



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

HÜDRAULIKASÜSTEEMID ÜHEMOTORILISE HELIKOPTERI PÕHIKÄIGUKASTI KATSESTENDILE

HYDRAULIC SYSTEMS FOR SINGLE ENGINE HELICOPTER MAIN GEARBOX TESTBENCH

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Aivar Väärtnõu

Üliõpilaskood 176659 MATM

Juhendaja: Kaimo Sonk, lektor

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.

(kuupäev digiallkirjas)

Autor: Aivar Väärtnõu

(allkirjastatud digitaalselt)

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

(kuupäev digiallkirjas)

Juhendaja: Kaimo Sonk

(allkirjastatud digitaalselt)

Kaitsmisele lubatud

".....".....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Aivar Väärtnõu (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 07.12.1990)

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

Hüdraulikasüsteemid ühemootorilise helikopteri põhikäigukasti katsestendile,

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on Kaimo Sonk

(juhendaja nimi)

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

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

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

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

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

(allkirjastatud digitaalselt)

(kuupäev digiallkirjas)

TalTech Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Aivar Väärtnõu, 176659 MATM (nimi, üliõpilaskood)

Õppekava, peeriala: MATM02/15 Tootearendus ja tootmistehnika(kood ja nimetus)

Juhendaja(d): Lektor, Kaimo Sonk, 56223112 (amet, nimi, telefon)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Hüdraulikasüsteemid ühemootorilise helikopteri põhikäigukasti katsestendile

(inglise keeles) Hydraulic systems for single engine helicopter main gearbox testbench

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Hüdro süsteemide projekteerimine ühemootorilise helikopteri põhikäigukasti katsestendile

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Turuanalüüs ja hüdro skeemide koostamine	01.03.2020
2.	Arvutused ja komponentide valik	01.05.2020
3.	Mudelite konstrueerimine	01.08.2020
4.	Jooniste koostamine	01.10.2020
5.	Töö vormistamine	15.05.2021

Töö keel: Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 26.05.2021 a

Üliõpilane: Aivar Väärtnõu (kuupäev digiallkirjas)
(allkirjastatud digitaalselt)

Juhendaja: Kaimo Sonk (kuupäev digiallkirjas)
(allkirjastatud digitaalselt)

Programmijuht: Martin Eerme (kuupäev digiallkirjas)
(allkirjastatud digitaalselt)

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	7
1. SISSEJUHATUS.....	8
2. TURUANALÜÜS	10
3. HÜDRAULIKASÜSTEEM ROOTORI MASTILE TEKKIVATE KOORMUSTE SIMULEERIMISEKS	12
3.1 Nõuded.....	12
3.2 Arvutused	13
3.3 Hüdraulikaskeem ja tööpõhimõte	16
3.4 Hüdroüsteemi konstruktsioon ja komponentide valik.....	17
4. HÜDRAULIKASÜSTEEM HÜDROPUMBA JA JAHUTUSVENTILAATORI SIMULEERIMISEKS	24
4.1 Nõuded.....	24
4.2 Arvutused	25
4.3 Hüdraulikaskeem ja tööpõhimõte	26
4.4 Hüdroüsteemi konstruktsioon ja komponentide valik.....	29
5. HÜDRAULIKASÜSTEEM KATSESTENDI ÜLEKANNETE MÄÄRIMISEKS	35
5.1 Nõuded.....	35
5.2 Arvutused	36
5.3 Hüdraulikaskeem ja tööpõhimõte	37
5.4 Hüdroüsteemi konstruktsioon ja komponentide valik.....	40
6. HÜDRAULIKASÜSTEEM PÕHIKÄIGUKASTI ÜLEKANNETE MÄÄRIMISEKS.....	46
6.1 Nõuded.....	47
6.2 Arvutused	48
6.3 Hüdraulikaskeem ja tööpõhimõte	49
6.4 Hüdroüsteemi konstruktsioon ja komponentide valik.....	54
7. KORPUSED HÜDROJAAMADELE	62
7.1 Korpuste konstruktsioon	62
7.2 Tugevusarvutused.....	64
KOKKUVÕTE	70
SUMMARY.....	71
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	73
LISAD	77
Lisa 1. Plaatjahuti TPL 00-K-4-12 spetsifikatsioon	78
Lisa 2. Plaatjahuti TPL 00-L-30-11 spetsifikatsioon.....	79
Lisa 3. Plaatjahuti TPL 00-L-8-21 spetsifikatsioon.....	80
Lisa 4. Testimisaruanne.....	81

GRAAFILINE OSA.....82

1. FLS kollektor
2. AUL kollektor
3. Hüdraulikasüsteemid koormuste simuleerimiseks koos korpusega
4. Hüdraulikasüsteem katsestendi ülekannete määrimiseks koos korpusega
5. Hüdraulikasüsteem põhikäigukasti ülekannete määrimiseks koos korpusega

EESSÕNA

Antud magistritöö teema on saadud ettevõttest Baltflex AS, mis tegeleb erinevate hüdraulikasüsteemide projekteerimise ja ehitamisega ning hüdraulikakomponentide müügiga. Magistritöös käsitletud projekt sai alguse 2019. aasta lõpus, kui ettevõtte poole pöördus aerotehnika katsetamisega tegelev Läti ettevõtte SIA Aviatest, kes soovis meilt tellida hüdraulikasüsteemide projekteerimise ja valmistamise nende loodud katsestendile. Mul avanes võimalus olla antud projekti projekteerija ning projektijuht.

Töö raames projekteeriti neli eraldiseisvat hüdraulikasüsteemi. Esimene hüdraulikasüsteem on rootori mastile kinnitatud silindrite liigutamiseks, et simuleerida koormuseid, mis tekivad rootori poolt lendamise ajal. Teise hüdraulikasüsteemi eesmärk on käigukasti õlipumba ja ventilaatori asemele paigaldatud hüdropumpade toitmine õliga ning pumpade võllidele mõjuva koormuse muutmine. Kolmas hüdraulikasüsteem on ette nähtud katsestendi hammasülekannete määrimiseks ning selleks kasutatava õli puhastamine ning jahutamine. Viimane hüdraulikasüsteem on erinevate katsete läbiviimiseks põhikäigukasti määrimisel. Süsteem võimaldab muuta määrimiseks kasutatava õli hulka ja temperatuuri. Iga süsteemi projekteerimisel on paika pandud esmalt nõuded ja vajalikud funktsioonid. Seejärel on tehtud vajalikud arvutused ja loodud hürdoskeem. Viimasena on tehtud komponentide valik ja loodud konstruktsioon.

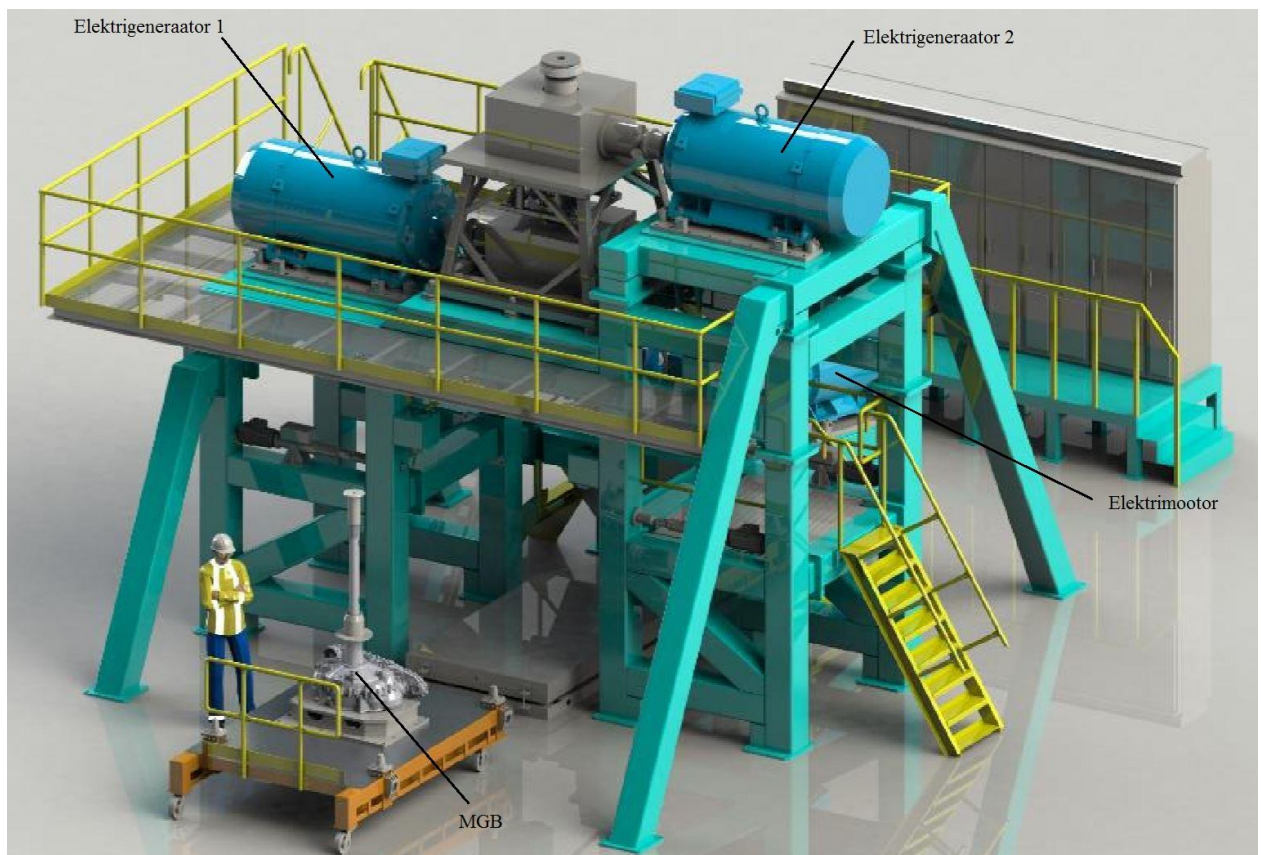
Soovin tänada Baltflex AS tegevjuhti Kristjan Laugenit ja SIA Aviatesti poolset kontakti Andrei Baranovskit, kes andsid oma nõusoleku antud teema kasutamiseks magistritööks. Samuti soovin tänada Madis Veiglit projekti täideviimise abistamisel ja lõputöö juhendajat Kaimo Sonka.

Märksõnad: hüdraulika, helikopteri põhikäigukast, katsestend, magistritöö

1. SISSEJUHATUS

Helikopteri põhikäigukasti (ingl. k. *Main Gearbox - MGB*) võib pidada üheks olulisemaks lüliks helikopteri ehituses. Selle kaudu muundatakse mootori võimsus suurelt pöörlemiskiiruselt ja väikeselt pöördemomendilt madalale pöörlemiskiirusele ja suurele pöördemomendile, et ajada ringi pea- ja sabarootorit. Selleks, et tootja saaks kindel olla MGB töökindluses, peab see enne helikopterile külge monteerimist läbima põhjalikud testid. Testide teostamiseks kasutatakse spetsiaalseid katsestande, kus on võimalik simuleerida käigukastile lendamisel mõjuvaid jõude ja võimaldab tekitada ka ohtlikke tingimusi nagu näiteks õli ülekuumenemist või õlipuudust, et kontrollida käigukasti vastupidavust antud tingimustes.

Katsestandi enda kontseptsioon põhineb suletud ahelal, kus energia sisestatakse süsteemi elektrimootori kaudu ja selle eemaldavad kaks elektrigeneraatorit. Põhiliikumine antakse elektrimootoriga, mis on läbi ülekande ühendatud käigukasti suunduva veovõlliga. Katsestand on mõeldud kahe mootoriga helikopteri jaoks ehk pöörlevale rootori mastile on liidestest kaudu ühendatud kaks elektrigeneraatorit, mis võimaldavad simuleerida labade pöörlemisel tekkivat pöördemomenti. (Sele 1.1)



Sele 1.1 MGB katsestand. Mudel Aviatesti loodud katsestandist, millele on vajalik projekteerida hüdraulikasüsteemid. [1]

Et katsestendi ühendatud käigukasti ülekandeid määrada nii nagu see toimub helikopteris, vajab katsestend sellist hüdraulikasüsteemi, mis seda võimaldaks. Lisaks on vaja eraldi hüdraulikasüsteemi silindrite liigutamiseks (rootori mastile mõjuvate koormuste tekitamiseks), generaatorite ja elektrimootori ülekannete määrimiseks ja hüdropumba ning jahutusventilaatori simuleerimiseks. Kokku on seega neli eraldiseisvat hüdraulikasüsteemi, mida on tarvis, et antud katsestend saaks toimida:

- 1) Hüdraulikasüsteem rootori mastile tekkivate koormuste simuleerimiseks
- 2) Hüdraulikasüsteem hüdropumba ja jahutusventilaatori simuleerimiseks
- 3) Hüdraulikasüsteem katsestendi ülekannete määrimiseks
- 4) Hüdraulikasüsteem põhikäigukasti ülekannete määrimiseks

Antud lõputöö eesmärk ongi antud nelja süsteemi väljatöötamine, alates hüdraulikaskeemide loomisest kuni lõpptoodete valmistamiseni ja testimiseni. Hüdraulikaskeemide, CAD mudelite ja FEM analüüsi teostamiseks on kasutatud Siemens SolidEdge tarkvara.

Töö on teostatud ettevõttes Baltflex AS. Ettevõtte tegevusvaldkonnaks on hüdraulikakomponentide müük, hüdraulikaseadmete hooldus ja remont, vastavate süsteemide projekteerimine ja ehitus. AS Baltflex asutati aastal 1994 ning algselt põhiliselt Eesti omanikele kuulunud ettevõtte kuulub tänaseks Soome ETOLA kontserni. [2] Ettevõttel on üle Eesti neli osakonda: Tallinnas, Tartus, Pärnus ja Rakveres ning töötajate arv kokku on 26.

Projekti tellijaks on Läti ettevõtte SIA Aviatest. Ettevõtte on spetsialiseerunud aerotehnika katsetamisele. Ettevõtte asub Riias, kus alustati helikopterite, lennukite ja nende komponentide testimisega juba 1972. aastal. Tänapäeval on SIA Aviatest ainus uurimis- ja testimiskeskus Baltimaades, millel on usaldusväärsed kogemused lennundustehnika valdkonnas. Ettevõtte on sertifitseeritud nii Euroopa Liidu (EASA) kui ka Venemaa Föderatsiooni (AR IAC) standardite järgi. [3]

2. TURUANALÜÜS

Olemasolevate lahenduste otsimise käigus leidsid ettevõtteid, kes pakuvad põhikäigukasti katsestendi terviklahendust, kuid eraldi valmis hüdraulikasüsteeme antud katsestendidele paraku keegi ei paku. Ilmselt on põhjuseks asjaolu, et üldjuhul on katsestendi hüdraulikasüsteemide puhul tegemist eriprojektidega, mis tehakse valmis kas katsestendi valmistaja poolt ise või tellitakse mõnelt hüdraulikasüsteemide valmistajalt tellija poolt paika pandud tingimustele, lähtuvalt katsestendi parameetritest. Seetõttu ei ole võimalik tutvuda mõne eelnevalt helikopteri käigukasti katsestendi jaoks valmis tehtud hüdraulikaprojektiga kuna sellised dokumendid ei ole avalikud ning ligipääs neile puudub. On olemas mõned pildid, kus on näha hüdrojaama katsestendi kõrval (sele 2.1), mis annab aimu, kuidas teised tootjad on hüdrojaama konstruktsiooni lahendanud (sele 2.2).



Sele 2.1 MGB katsestend [4]. Vasakul all nurgas on näha hüdrojaama konstruktsioon (punane). Konstruktsiooni puuduseks võib pidada seinade puudumist (müra levik). Konstruktsioon on väga kompaktne, kuid see võib raskendada ligipääsu vahetamisel vajavatele komponentidele.

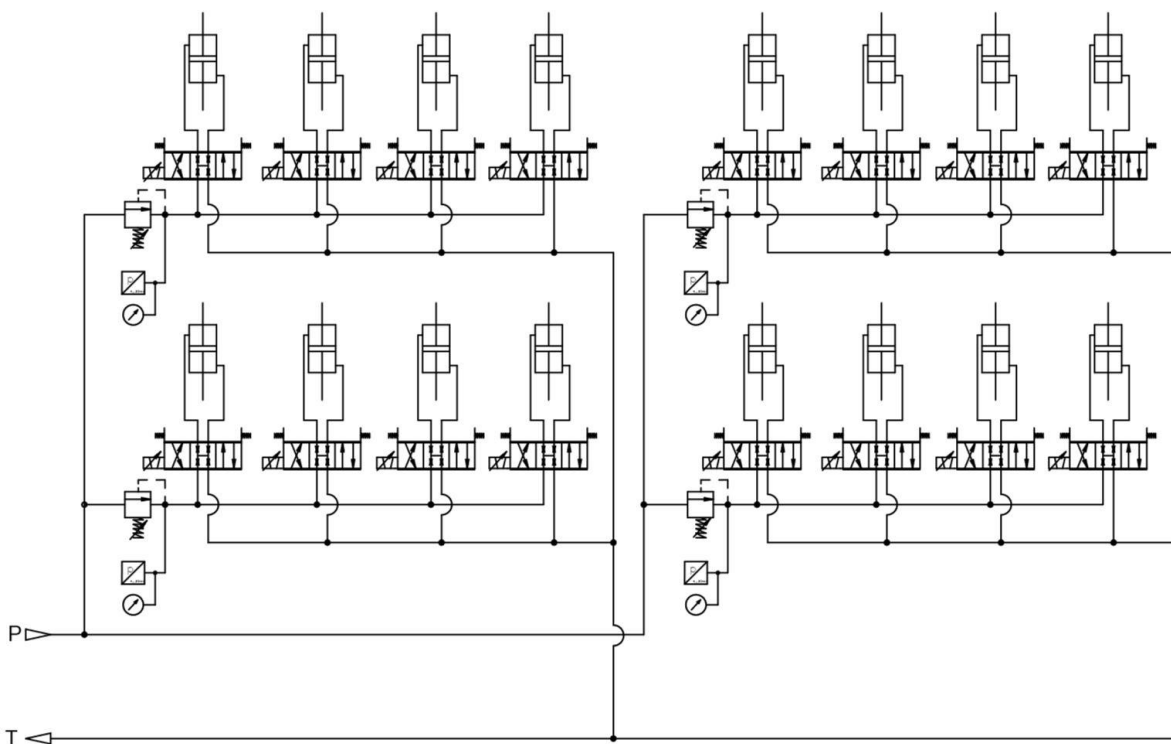


Sele 2.2 Näide hüdrojaama konstruktsioonist [1]. Puuduseks on samuti seinte puudumine. Plussiks on hea ligipääs komponentidele.

Kuna puudub võrdlus, kuidas on teistele katsestendidele hüdraulikasüsteemid projekteeritud (hüdroskeemide loogika ja komponentide valik), on lõputöös käsitletud hüdraulikasüsteemide projekteerimisel lähtunud eelkõige tellija nõudmistest, hüdraulika põhitõdedest ja varasemast kogemusest, mis hüdrojaamade projekteerimisega on tekkinud.

3. HÜDRAULIKASÜSTEEM ROOTORI MASTILE TEKKIVATE KOORMUSTE SIMULEERIMISEKS

Süsteemi eesmärk on simuleerida kõiki lendamise ajal rootori poolt tekkivaid jõude, sealhulgas ülekoormust. Projekteeritava hüdrojaama eesmärk on liigutada hüdrosilindrid, mis tekitavad rootori mastile vertikaalset ja horisontaalset koormust. MGB pearootori võllid koormatakse kahe sõltumatu süsteemiga, üks alumise ja teine ülemise rootori jaoks. Koormused rakendatakse iga rootori jaoks, kasutades vertikaalsete ja horisontaalsete koormuste jaoks piisavat arvu hüdraulilisi sümmeetrilisi läbiva kolvivarrega silindreid. Kokku on peab hüdrojaam olema võimeline liigutama 16 silindrit (Sele 3.1). Rakendatud jõu mõõtmiseks on igal hüdrosilindril koormusandur ja sisseehitatud või väline lineaarandur analoogväljundiga 0-10 VDC.



Sele 3.1 Täiturite hüdro skeem. Projekteeritav hüdrojaam peab tagama 16 silindri liigutamise. Iga silindri liigutamiseks on enne silindrit ühendatud suunaventiil. P – surve hüdrojaamast, T – tagasivool paaki.

3.1 Nõuded

Hüdrojaamale on esitatud järgmised nõuded:

- 1) Hüdrojaam peab olema võimalikult kompaktn.
- 2) Kõik hooldust/vahetamist vajavad komponendid (filtrid, paak, andurid, jahuti) peavad olema kergesti ligipääsetavad.

- 3) Kõik komponendid peavad olema markeeritud.
- 4) Süsteem peab sisaldama õlijahutust ning selleks peab kasutama plaatjahutit.
- 5) Jahuti veeahelas peab olema võimalus vee voolu kontrollida manuaalselt ja elektrooniliselt. Vaja on andurit, mis annab märku, et vesi torustikus voolab.
- 6) Süsteemis peab olema nii surve- kui tagasivoolufilter ummistusanduriga. Nõutud on filtritootja PALL toodang.
- 7) Hüdro süsteemi rõhu jälgimiseks peab süsteem olema varustatud rõhuanduriga. Anduri kalibreerimiseks peab olema võimalik andur süsteemist lahti ühendada ilma, et seda peaks füüsiliselt eemaldama.
- 8) Õli temperatuuri ja taseme jälgimiseks peavad süsteemis olema selleks vajalikud andurid.
- 9) Süsteemi tööõhk peab olema muudetav.
- 10) Hüdro süsteemis kasutatakse hüdroõli Fuchs Renolin HTF32 ning paak peab olema roostevabast terasest mahutavusega 30 liitrit.

3.2 Arvutused

Teadad on järgmised andmed: seadme maksimaalne tööõhk on ette nähtud 140 bar ja maksimaalne vooluhulk kuni 6 l/min. Nende andmete põhjal saab leida vajaliku tootlikusega pumba ja vajaliku võimsusega elektrimootori. Pumba valikuks on vaja teada pumba pöördejõudlust (cm^3/p), mis leitakse valemiga:

$$q = \frac{Q \cdot 1000}{n} = \frac{6 \cdot 1000}{1500} = 4 \text{ cm}^3/\text{p}, \quad (3.1) [5]$$

kus q – pumba pöördejõudlus, cm^3/p ,

Q – pumba teoreetiline tootlikkus, l/min,

n – pumba pöörlemissagedus, p/min (neljapooluselise elektrimootori puhul $n = \sim 1500$ p/min)

Pumbaks on valitud välishambumisega Brevini hammasratsapump OT200P04 pöördejõudlusega $4,1 \text{ cm}^3/\text{p}$ [6]. Valiku põhjuseks on pumba hind ja saadavus, samuti asjaolu, et vajalik on väike pumba tootlikkus ja keskmine tööõhk, mistõttu pole keerukama ehitusega pump otstarbekas. Võttes arvesse, et pumba pöördejõudlus on $4,1 \text{ cm}^3/\text{p}$, on leitud pumba tegelik tootlikkus:

$$Q_{\text{tegelik}} = \frac{q \cdot n \cdot \eta_v}{1000} = \frac{4,1 \cdot 1500 \cdot 0,91}{1000} = 5,6 \text{ l/min}, \quad (3.2) [5]$$

kus η_v – pumba mahuline kasutegur

Elektrimootori valimiseks tuleb leida pumba võimsustarve, mis leitakse valemiga:

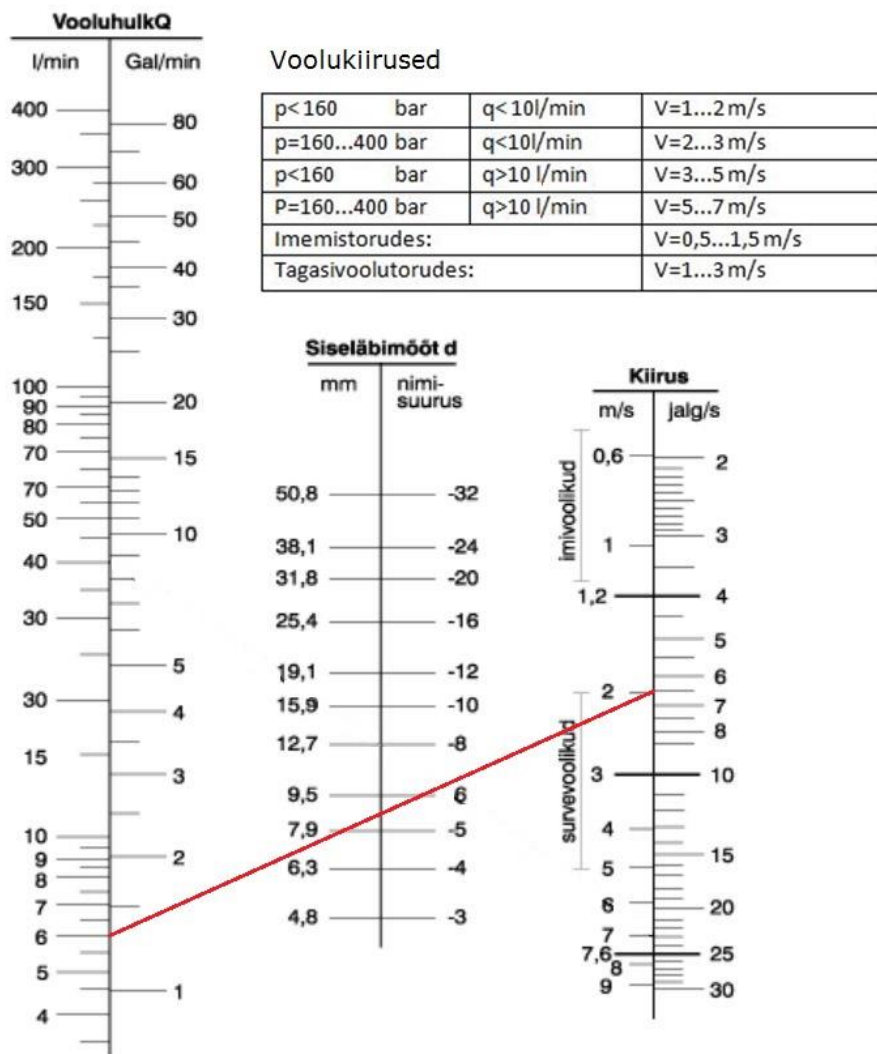
$$P = \frac{Q_{tegelik} * p}{600 * \eta_m} = \frac{5,6 * 140}{600 * 0,9} = 1,45 \text{ kW}, \quad (3.3) [5]$$

kus P – pumba võimsustarve, kW,

p – rõhk, bar

η_m – energiakadu

Torustiku diameetri määramisel on kasutatud vooluhulga nomogrammi. Arvestades surve pool vooluhulgaks 6 l/min ja voolukiiruseks 2 m/s, tõmmatakse nende kahe punkti vahele sirgjoon. Sirgjoone lõikepunkt keskmise graafikuga annab optimaalse toru siseläbimõõdu. Antud juhul on optimaalseks siseläbimõõduks ~ 9 mm. (Sele 3.2)

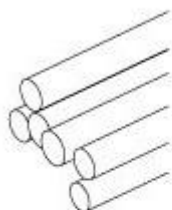


Sele 3.2 Vooluhulga nomogram. [6]

Surve poolele on valitud seega tsingitud terastoru 12x1,5 DIN2391. Toru valikul tuleb jälgida, et valitud toru maksimaalne töö rõhk ei oleks mitte mingil juhul väiksem kui süsteemi töö rõhk. Tõmmatud, õmblusteta terastorude mõõdud ja maksimaalne töö rõhk on välja toodud tabelis 3.1. Tagasivoolupoolele valitakse üldjuhul paar astet suurem toru. Antud süsteemil on tagasivoolule ja veeahelale valitud toru 15x1,5.

Tabel 3.1 Tõmmatud õmblusteta terastorud DIN2391 [7]. Punasega näidatud valitud torud.

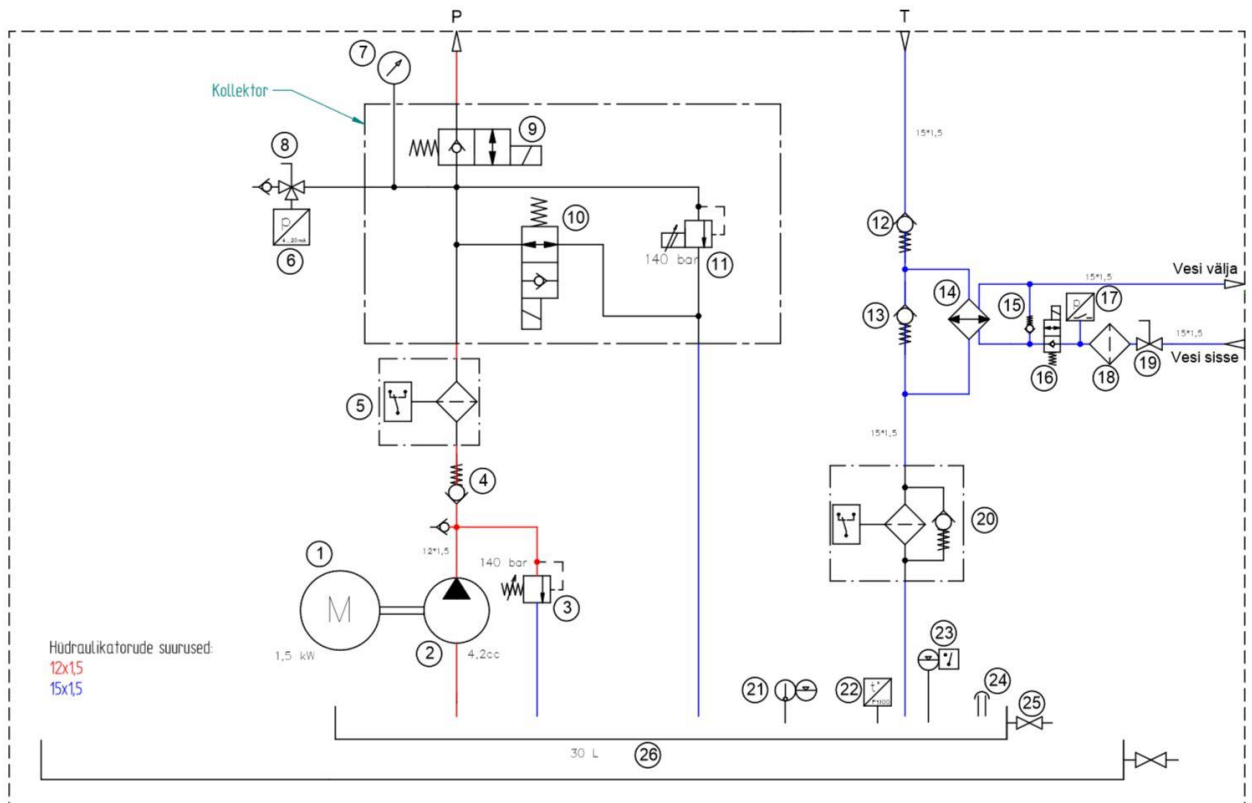
Tõmmatud, õmblusteta terastorud Tolerans: DIN2391 Materjal: St37,4 NB	Tsingitud terastorud Tüüp	Siseläbimõõt mm	Välisläbimõõt mm	Selnapaksus mm	Töö rõhk bar	Kaal kg/m
	4x1 ZN	2	4	1,0	555	0,074
	5x1 ZN	3	5	1,0	460	0,099
	6x1 ZN	4	6	1,0	395	0,123
	6x1,5 ZN	3	6	1,5	555	0,166
	8x1 ZN	6	8	1,0	305	0,222
	8x1,5 ZN	5	8	1,5	435	0,240
	10x1 ZN	8	10	1,0	250	0,222
	10x1,5 ZN	7	10	1,5	360	0,314
	10x2 ZN	6	10	2,0	380	0,395
	12x1 ZN	10	12	1,0	210	0,271
	12x1,5 ZN	9	12	1,5	305	0,388
	12x2 ZN	8	12	2,0	395	0,493
	14x1,5 ZN	11	14	1,5	265	0,462
	14x2 ZN	10	14	2,0	345	0,592
	15x1,5 ZN	12	15	1,5	250	0,499
	15x2 ZN	11	15	2,0	325	0,641
	16x1,5 ZN	13	16	1,5	235	0,536
	16x2 ZN	12	16	2,0	305	0,691
	16x2,5 ZN	11	16	2,5	375	0,832
	18x1,5 ZN	15	18	1,5	210	0,610
	18x2 ZN	14	18	2,0	275	0,789
	20x2 ZN	16	20	2,0	250	0,888
	20x2,5 ZN	15	20	2,5	305	1,079
	22x1,5 ZN	19	22	1,5	175	0,758
	22x2 ZN	18	22	2,0	225	0,986
	22x2,5 ZN	17	22	2,5	280	1,202
	25x2 ZN	21	25	2,0	205	1,134
	25x2,5 ZN	20	25	2,5	250	1,387
	25x3 ZN	19	25	3,0	295	1,628
	28x2 ZN	24	28	2,0	185	1,282
	28x2,5 ZN	23	28	2,5	225	1,572
	28x3 ZN	22	28	3,0	275	1,850
	30x2,5 ZN	25	30	2,5	210	1,695
	30x3 ZN	24	30	3,0	250	1,998
	30x4 ZN	22	30	4,0	325	2,565
	35x2 ZN	31	35	2,0	150	1,628
	35x3 ZN	29	35	3,0	215	2,367
	38x3 ZN	32	38	3,0	200	2,589
	38x4 ZN	30	38	4,0	260	0,354
	42x2 ZN	38	42	2,0	180	1,973
	42x3 ZN	36	42	3,0	240	2,885



3.3 Hüdraulikaskeem ja tööpõhimõte

Etteantud nõudmiste põhjal on loodud hüdroskeem, mis täidab vajalikke funktsioone.

(Sele 3.3)



Sele 3.3 Hüdrojaama skeem.

Skeemi tööpõhimõte on järgmine: elektrimootori (1) jõul pannakse pöörlema pump (2), mis tekitab vajaliku vooluhulga ja on võimeline töötama ka maksimaalse tööõhu juures. Edasi liigub õli läbi tagasilöögiklapi (4) ja survefiltri (5) kollektorisse. Eraldi kollektori projekteerimine lihtsustab jaama koostamist ja muudab selle kompaktsemaks. Kollektori sisse keeratakse magnetklapid (9 ja 10). Et õli jõuaks täituriteni, tuleb normaalselt suletud klapp (9) avada ja normaalselt avatud klapp (10) sulgeda. Klapp nr. 10 toimib skeemis vabajooksuklapina ehk kui pump töötab, ei pea koormama mootorit ja pressima õli läbi kaitseklapi, vaid õli saab vabalt paaki tagasi voolata. Kaitseklapp (3) tagab, et maksimaalne tööõhk ei ületaks 140 bar. Kollektori külge on veel kinnitatud manomeeter (7) rõhu jälgimiseks ja kolmikkraan (8), mille külge on keeratud rõhuandur (7) ja kiirliide. Antud lahendus võimaldab rõhuandurit kalibreerida ilma, et seda peaks küljest ära keerama. Tegemist on L-kraaniga ehk kraani keerates saab ühendada kas rõhuandur → kollektor või rõhuandur → kiirliide. Viimase klapina on kollektori külge keeratud proportsionaalne rõhu piiramise ventiil (11), mis võimaldab muuta tööõhku süsteemis.

Tagasivooluahelas liigub õli kõigepealt läbi tagasilöögiklapi (12), mis takistab tagasivoolutrassi tühjaks voolamist õlist. Edasi liigub õli läbi plaatjahuti (14). Jahutiga paralleelselt on lisatud jäigema vedruga tagasilöögiklapp (13), mis avaneb juhul kui jahutis peaks tekkima ummistus. Edasi liigub õli tagasivoolufiltrisse (20). Nii surve- kui tagasilöögifilter on varustatud ummistusanduriga, mis saadab välja signaali kui filter on umbes ning element vajab vahetamist. Tagasivoolufiltrist jõuab õli tagasi paaki (26). Paagi kaanele on kinnitatud õli tasemeandur (23), õli temperatuuri andur (22) ja õhutus/täitekork (24). Paagi seinal on veel visuaalne näidik (21), mis näitab õli taset ja temperatuuri paagis. Paagi alumises osas on kuulkraan (25) paagi tühjendamiseks õli vahetuse puhul.

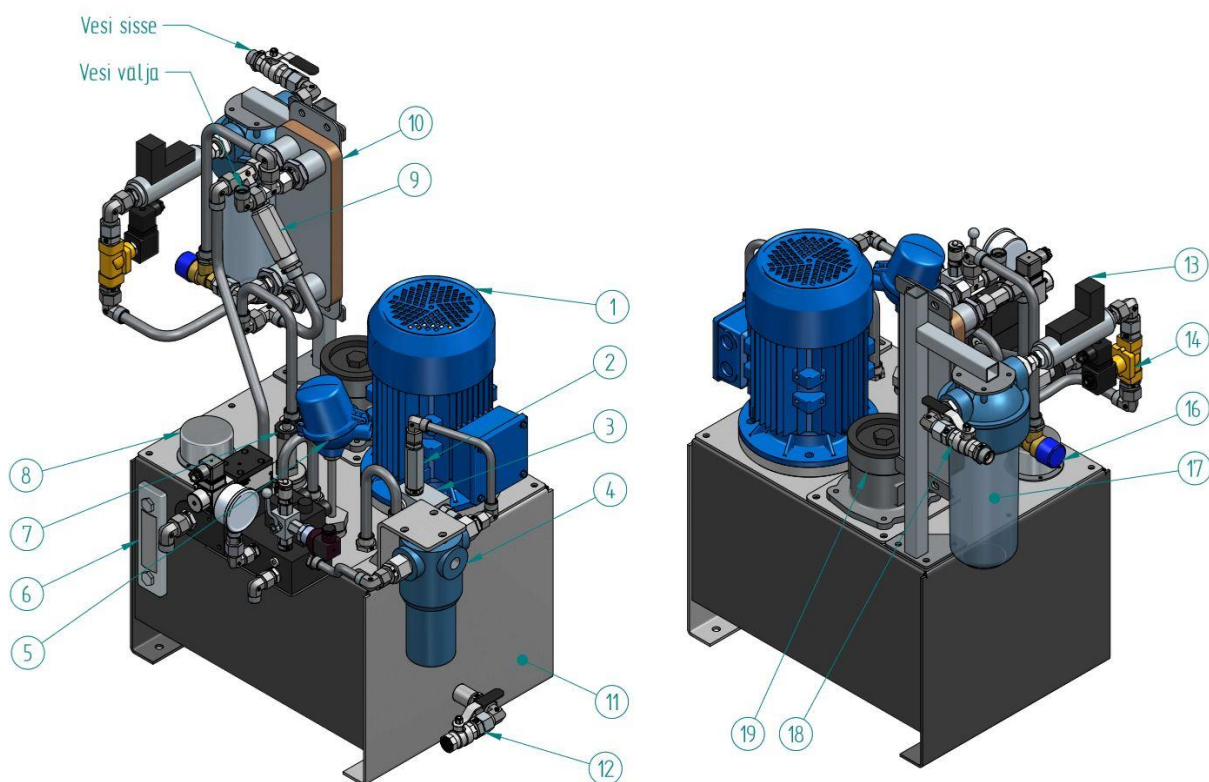
Plaatjahutile on vaja eraldi ahelat veele, mis õli jahutab. Veeahelas liigub vesi läbi järgmiste komponentide: kuulkraan (19) – vee manuaalseks sulgemiseks → veefilter (18) → vooluhulga mõõtja anduriga (17) – mõõdab vooluhulka ja saadab signaali, kui vooluhulk on liiga väike → normaalselt suletud magnetklapp (16) – vee sulgemine ja avamine elektrooniliselt → jahuti (14). Juhul, kui jahuti veetorudes peaks tekkima ummistus, on selleks paralleelselt ühendatud kaitseklapp veele (15).

3.4 Hüdrosüsteemi konstruktsioon ja komponentide valik

Hüdrojaama konstrueerimisel on eelkõige arvestatud asjaoluga, et jaam peab mahtuma ühte korpusesse koos teise jaamaga (hüdraulikasüsteem hüdropumba ja jahutusventilaatori simuleerimiseks). Seetõttu on mõlema jaama modelleerimine toimunud paralleelselt ning see on mõjutanud ka komponentide paigutuse valikut. Eelkõige on silmas peetud filtrite paigutust, et need oleksid kergesti ligipääsetavad. Kuna antud jaam on neljast kõige väiksem ning hüdraulikatorud väikese diameetriga, siis muudab see ka komponentide paigutamise paagi kaanel oluliselt lihtsamaks kui teistel jaamadel. Tuleb arvestada, et mida suurem on hüdraulikatoru, seda suuremaks muutuvad torude painderaadiused ning seda keerulisemaks muutub kompaktse hüdrojaama projekteerimine ja lõppkoostamine. Loodud konstruktsioon on näidatud seel 3.4 ning selle all on välja toodud valitud komponendid ja nende andmed.

Komponentide valikul on tähtsamateks kriteeriumiteks komponendi maksimaalne läbilastav vooluhulk ja maksimaalne töö rõhk. Seega tuleb komponendi valikul teha kindlaks, et selle läbilaskevõime on võrdne või suurem süsteemi maksimaalsest vooluhulgast ja maksimaalne töö rõhk suurem süsteemi maksimaalsest töö rõhust. Komponentide valikul on lähtutud eelkõige Baltflexi laos olemasolevast ja

tarnepartnerite pakutavast kaubast ning tellija nõudmistest. Seega on palju kasutatud näiteks tootjate Marchesini, Rexroth, Brevini, Bevi ja OMT toodangut kuna Baltflex on nende edasimüüja ja seega on paljud tooted laos olemas. Spetsiifiliste andurite ja vooluhulgamõõtjate valimisel on samuti ühendust võetud eelkõige koostööpartneritega, kes on selliseid tooteid varem tarninud ning kelle toodete valik on varasemalt ennast õigustanud. Seetõttu on valituks osutunud näiteks WIKA ja IFM tooted. Osad andurid on valitud ja tarnitud tellija poolt. Kõik valitud komponendid on kooskõlastatud tellijaga.

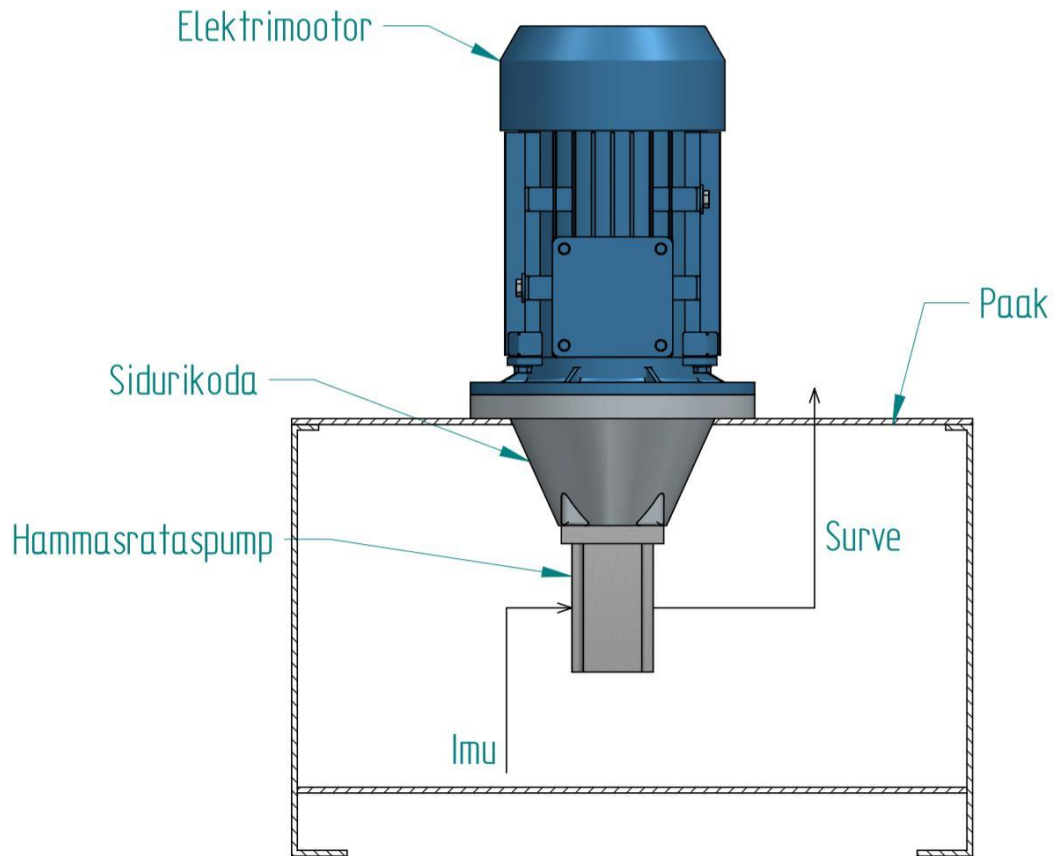


Sele 3.4 Hüdrojaama konstruktsioon. Vasakul pool vaade eest, paremal pool vaade tagant.

Hüdrojaama põhikomponendid on valitud järgmised (sulgudes on näidatud komponendi number hüdro skeemil):

- 1) Elektrimootori (1) ja pumba (2) koost. Kasutatud on BEVI elektrimootorit. Antud juhul on valitud 1,5 kW 1450 p/m mootor 4A2 90 L-4 [8]. Mootor on otsaflantsi ja liistvõlliga. Otsaflantsi on vaja sidurikoja kinnitamiseks ning koostu kinnitamiseks paagi kaanele. Sidurikojas on sidur mootoripoolele ja pumba poolele ning nende vahel on vahekumm, et pump mootori jõul pöörlema panna. Sidurikoda ja pump on uputaud paagi sisse (sele 3.5). Sedasi on mootori ja pumba kinnitamine lahendatud kõikides hüdrojaamdes, et hoida kokku ruumi (v.a. üks pumba ja mootori koost põhikäigukasti ülekannete määrimise hüdrojaamas, kus mootor on õlivanni küljes mootoripatjadel). Kasutatud on

Brevini hammasrataspumpa OT200P04D pöördejõudlusega 4,1 cm³/p [9]. Kõikidel hüdrojaamadel on pumpadeks valitud Brevini hammasrataspumbad kuna pumbad on laost kohe võtta ning puudub vajadus keerukamate pumpade kasutamiseks.



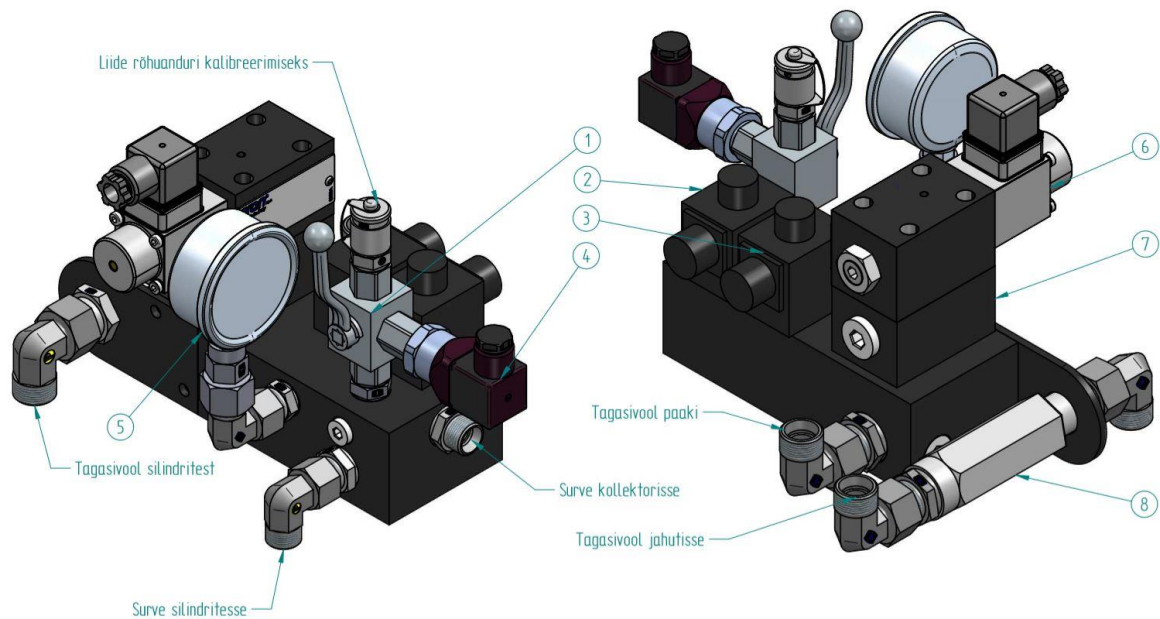
Sele 3.5 Mootori ja pumba koost. Mootor koos sidurikoja ja pumbaga kinnitatakse paagi kaanele.

- 2) Tagasilöögiklapp Marchesini V0600 (4). Maksimaalne vooluhulk 45 l/min. Maksimaalne töö rõhk 350 bar. Vedru 0,7 bar. Ühendused G 3/8" [10]
- 3) Kaitseklapp Marchesini V0700 (3). Maksimaalne vooluhulk 45 l/min. Maksimaalne töö rõhk 350 bar. Reguleeritav vahemikus 10-180 bar. Ühendused G 3/8" [11]
- 4) Survefilter PALL UH209HC1203ZGB (5) koos ummistusanduriga RC 861CZ 091 Z YM 24DC. Filtri elemendi tihedus 7 mikronit, ühendused korpusel G 3/4" [12]. Kõik PALLi filtrid on valitud kliendi nõudmisel.
- 5) Temperatuuriandur WIKA TR10-C (22). Paagi kaanele keeratav andur (keere G 1"), mis mõõdab õli temperatuuri paagis vahemikus 0...+150°C. Väljundsignaal 4...20 mA [13]. Anduri pikkus on valitud vastavalt paagi sügavusele. Antud juhul on paaki ulatuv pikkus 250 mm.

- 6) Visuaalne näidik õli taseme ja temperatuuri jälgimiseks OMT LG2T (21). Maksimaalne lubatud rõhk paagis 1 bar. Näitab temperatuuri vahemikus -20...+80°C. [14]
- 7) Õli tasemeandur WIKA RLT-1000 (23). Töötab potentsiomeetri põhimõttel – juhtvardal liikuv ujuk muudab takistust ning see võimaldab täpset õlitaseme jälgimist paagis. Keeratakse paagi kaanele keevitaud muhvi sisse (keere G 1 1/2"). Väljundsignaal 4...20 mA, mõõtetäpsus 6 mm [15]. Anduri pikkus on valitud vastavalt paagi sügavusele. Antud juhul on paaki ulatuv pikkus 250 mm.
- 8) Täite/õhutus kork OMT TR-2 (24). [14]
- 9) Tagasilöögiklapp Marchesini V0610 (13). Maksimaalne vooluhulk 70 l/min. Maksimaalne töö rõhk 350 bar. Vedru 5 bar. Ühendused G 1/2". [10]
- 10) Plaatjahuti FUNKE TPL 00-K-4-12 (14). Plaatjahutite valikul on kasutatud saksa plaatjahutite tootja FUNKE abi, kes etteantud parameetrite abil õige plaatjahuti projekteerisid ja valmistasid. Jahuti spetsifikatsioon on näidatud lisas 1.
- 11) Paak mahutavusega 30 liitrit (26). Paak on valmistatud eritellimusena. Paagi materjaliks on roostevaba teras AISI 316.
- 12) Kuulkraan Tiemme Raccorderie 2381R2804 (25). Kuulkraan paagi tühjendamiseks. Ühendused G 1/2". [16]
- 13) Vooluhulgamõõtja WIKA FWS-DUG-6 G3/8 VA SPDT (17). Visuaalne vooluhulgamõõtja, millele on lisatud andur, mis saadab välja signaali kui vooluhulk on väiksem kui seatud väärtus. Mõõdab vooluhulka vahemikus 0,5 – 6 l/min. Maksimaalne töö rõhk 10 bar. Ühendused G 3/8". [17]
- 14) Magnetklapp Sirai L182B01 (16). Normaalselt suletud klapp veele. Ühendused 1/2". Mähis 24 VDC. [18]
- 15) Kaitseklapp Flamco 27100 (15). Kaitseklapp veele. Vedru 6 bar. Ühendused 1/2". [19]
- 16) Veefilter Atlas RA111T411 (18) koos elemendiga RA5010114. Maksimaalne lubatud rõhk 8 bar. Ühendused 3/4". [20]
- 17) Kuulkraan Tiemme Raccorderie 2381R2804 (19). Kuulkraan vee manuaalseks sulgemiseks filtri vahetamise korral. Ühendused G 1/2". [16]
- 18) Tagasivoolufilter PALL UT210C1604ZA (20) koos ummistusanduriga HCA132-24. Filtri elemendi tihedus 7 mikronit, ühendused korpusel G 1". [21]

Konstruksiooni lihtsustamiseks on projekteeritud kollektor (sele 3.6). Kollektor on valmistatud terasest S235 ning on peale lõiketöölust mustaks oksüdeeritud, et anda korrosioonivastane kaitsekiht ning sile pind.

Kollektori koost koos klappide ja anduritega on näidatud seel 3.8.



Sele 3.8 Kollektor koos klappide ja anduritega. Vasakul pool vaade eest, paremal pool vaade tagant.

Kollektori külge on kinnitatud järgmised klapid ja andurid (sulgudes on näidatud komponendi number hüdro skeemil):

- 1) Kolmikkraan Marchesini V0832 (8). L-skeemiga kolmikkraan rõhuanduri lahti ühendamiseks süsteemist. Maksimaalne lubatud rõhk 500 bar. Ühendused G 1/4". [23]
- 2) Magnetklapp Rexroth OD.15.05.18 (9). Normaalselt suletud magnetklapp. Maksimaalne vooluhulk 40 l/min. Maksimaalne töö rõhk 350 bar [24]. Mähis on valitud tööpingega 24VDC.
- 3) Magnetklapp Rexroth OD.15.06.18 (10). Normaalselt avatud magnetklapp. Maksimaalne vooluhulk 40 l/min. Maksimaalne töö rõhk 350 bar [25]. Mähis on valitud tööpingega 24VDC.
- 4) Rõhuandur WIKA A-10 (6). Mõõdab rõhku vahemikus 0...400 bar. Väljundsignaal 4...20 mA. Keere G 1/4". [26]
- 5) Manomeeter Trale MFI6304250V (7). Altühendusega (1/4" NPT) manometer, mis mõõdab rõhku vahemikus 0...250 bar. [27]
- 6) Proportsionaalne rõhu piiramise ventiil Brevini XP33EGS11 (11). Maksimaalne vooluhulk 2,5 l/min. Maksimaalne lubatud töö rõhk 320 bar. Mähis 24 VDC. [28]
- 7) Hüdrauliline võimendusklapp AM3XMP20I001. Kuna klapi XP33EGS11 maksimaalne läbilaskevõime on 2,5 l/min, tuleb klapp ühendada hüdraulilise

võimendusklapiga. Antud klapp võimaldab vooluhulka kuni 30 l/min ja maksimaalselt töö rõhku 320 bar. [29]

- 8) Tagasilöögiklapp Marchesini V0610 (12). Maksimaalne vooluhulk 70 l/min. Maksimaalne töö rõhk 350 bar. Vedru 1 bar. Ühendused G 1/2". [10]

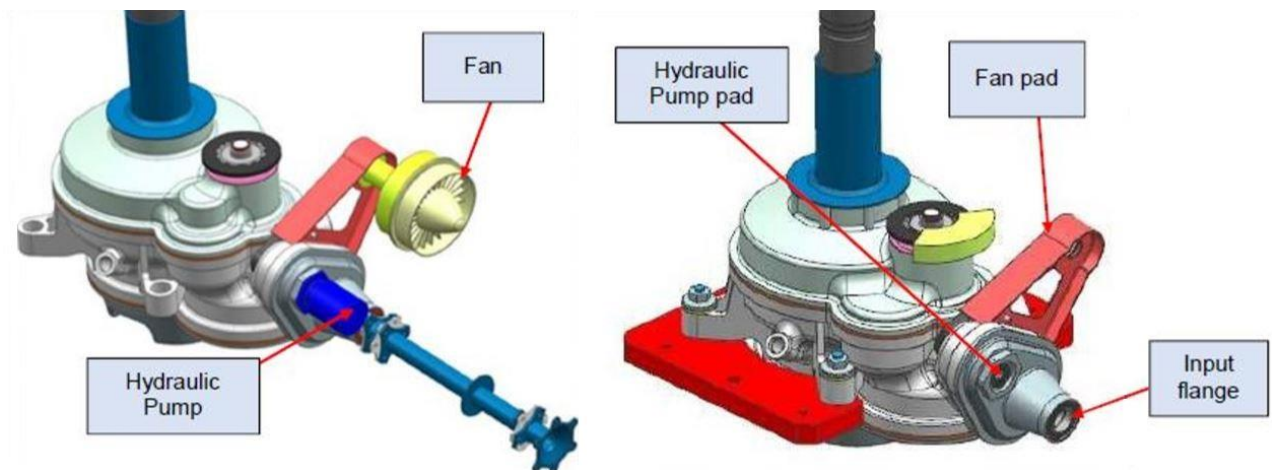
Liitmike valimisel on lähtutud tabelist 3.2. Arvestades, et kõigis neljas süsteemis on töö rõhk alla 200 bari, on kõikidel jaamad valitud L-seeria liitmikud.

Tabel 3.2. Toruliited [30]. Antud töös käsitletud hüdrojaamadele on valitud L-seeria liitmikud (näidatud punasega).

Seeria	Toru välis- läbimõõt (mm)	Rõhu- klass PN (bar)	Keermetüüp		Mutrikeere	Toru lubatud lühim sirge lõik H(mm)	Toru lubatud lühim montaazi pikkus L(mm)	Toru min. seina- paksus lima tugihültsita Z(mm)
			Meeter	Toll R või NPT				
LL (eriti kerge)	4	100	M8x1	1/8	M8x1	24	30	0,5
	5	100	M8x1	1/8	M10x1	25	32	0,5
	6	100	M10x1	1/8	M10x1	25	32	1
	8	100	M10x1	1/8	M12x1	26	33	1
L (kerge)	6	400	M10x1	1/8	M12x1,5	31	36	1
	8	400	M12x1,5	1/4	M14x1,5	31	36	1
	10	400	M14x1,5	1/4	M16x1,5	33	42	1
	12	400	M16x1,5	3/8	M18x1,5	33	42	1,5
	15	400	M18x1,5	1/2	M22x1,5	36	45	2
	18	315	M22x1,5	1/2	M26x1,5	38	48	2
	22	315	M26x1,5	3/4	M30x2	42	53	2,5
	28	250	M33x2	1	M36x2	42	53	2,5
	35	250	M42x2	1¼	M45x2	48	60	2,5
42	250	M48x2	1½	M52x2	48	60	3	
S (raske)	6	630	M12x1,5	1/4	M14x1,5	35	44	1
	8	630	M14x1,5	1/4	M16x1,5	35	44	1
	10	630	M16x1,5	3/8	M18x1,5	37	47	1
	12	630	M18x1,5	3/8	M20x1,5	37	47	1,5
	14	630	M20x1,5	1/2	M22x1,5	43	54	2
	16	400	M22x1,5	1/2	M24x1,5	43	54	1,5
	20	400	M27x2	3/4	M30x2	50	63	2
	25	400	M33x2	1	M36x2	54	68	2
	30	400	M42x2	1¼	M42x2	58	73	2,5
38	315	M48x2	1½	M52x2	65	82	3	

4. HÜDRAULIKASÜSTEEM HÜDROPUMBA JA JAHUTUSVENTILAATORI SIMULEERIMISEKS

Käigukasti suunduv veovõll paneb lisaks rootorile pöörlema ka hüdropumba ja jahutusventilaatori. Hüdropump on mõeldud käigukastis oleva õli tsirkuleerimiseks ja ventilaator õli jahutamiseks. MGB arenduskatsete ajal on ette nähtud mõned testid, kus on vaja muuta õlipumba ja ventilaatori võllide pöörlemiskiirust ja neile mõjuvat koormust. Koormuse muutmiseks on ventilaatori ja hüdropumba asemel paigaldatud kaks pidurdavat hüdropumpa (sele 4.1). Projekteeritava hüdroüsteemi eesmärk on süsteemi pidev täitmine õliga, selleks et hüdropumpadel oleks mida pumbata ning hüdropumpade jahutamine ehk õli jahutamine.



Sele 4.1 Vasakul on näidatud ventilaatori (*fan*) ja hüdropumba (*hydraulic pump*) asukoht. Paremalt pildil on need eemaldatud et võimaldada pidurdavate pumpade kinnitamist. [1]

4.1 Nõuded

Hüdrojaamale on esitatud järgmised nõuded:

- 1) Mõlemal pumbal peab olema üksteisest sõltumatu pöördemomendi muutmise võimalus.
- 2) Süsteemis peab olema õli jahutamise võimalus. Kasutada tuleb plaatjahutit.
- 3) Jahuti veeahelas peab olema võimalus vee voolu kontrollida manuaalselt ja elektrooniliselt. Vaja on andurit, mis annab märku et vesi torustikus voolab.
- 4) Süsteemis peab olema nii surve- kui tagasivoolufilter ummistusanduriga. Nõutud on filtritootja PALL toodang.
- 5) Kõik rõhuandurid peavad kalibreerimiseks olema võimalik süsteemist lahti ühendada ilma, et neid peaks füüsiliselt eemaldama.
- 6) Õli temperatuuri ja taseme jälgimiseks peavad süsteemis olema selleks vajalikud andurid.

- 7) Hüdrosüsteemis kasutatakse hüdroõli Fuchs Renolin HTF32 ning paak peab olema roostevabast terasest mahutavusega 200 liitrit.
- 8) Kõik komponendid peaval olema markeeritud.
- 9) Hüdrojaam peab olema võimalikult kompaktne.
- 10) Kõik hooldust/vahetamist vajavad komponendid (filtrid, paak, andurid, jahuti) peavad olema kergesti ligipääsetavad. Samuti peab olema hea ligipääs andurite kalibreerimispunktidele.

4.2 Arvutused

Ette on antud järgmised andmed (tabel 4.1):

Tabel 4.1 Pidurdavate pumpade pöörlemiskiirused ja maksimaalsed tööõhud.

Pump	Pöörlemiskiirus nominaalne	Pöörlemiskiirus maksimaalne (120%)	Maksimaalne rõhk
Tsirkulatsioonipump	10114 p/min	12137 p/min	58 bar
Ventilaator	6000 p/min	7200 p/min	110 bar

Pumpadeks on tellija valinud Parker F11-5 seeria pumbad, mille pöördemahutavus on $4,9 \text{ cm}^3/\text{p}$ [31]. Torude diameetri ja komponentide valikuks tuleb leida pumpade tootlikus maksimaalse pöörlemiskiiruse juures.

$$Q_1 = \frac{q \cdot n \cdot \eta_v}{1000} = \frac{4,9 \cdot 12137 \cdot 0,91}{1000} = 54,1 \text{ l/min}, \quad (4.1)$$

$$Q_2 = \frac{q \cdot n \cdot \eta_v}{1000} = \frac{4,9 \cdot 7200 \cdot 0,91}{1000} = 32,1 \text{ l/min}, \quad (4.2)$$

kus Q_1 – I pumba (tsirkulatsiooni pumba asemel) maksimaalne tootlikus, l/min,
 Q_2 – II pumba (ventilaatori asemel) maksimaalne tootlikus, l/min,

Kokku on kahe pumba maksimaalne tootlikus $54,1 + 32,1 = 86,2 \text{ l/min}$. Kuna imutrassi täitmine toimub eraldi pumbaga, peab antud täitepump sama suurt tootlikust võimaldama. Vajalik pumba pöördejõudlus leitakse valemiga:

$$q = \frac{Q \cdot 1000}{n} = \frac{86,2 \cdot 1000}{1500} = 57,5 \text{ cm}^3/\text{p} \quad (4.3)$$

Saadud tulemuse põhjal on pumbaks valitud välishambumisega Brevini hammasratsapump OT300P63 pöördejõudlusega $63 \text{ cm}^3/\text{p}$ [32]. Pumba tegelik tootlikus on seega:

$$Q_{tegelik} = \frac{q \cdot n \cdot \eta_v}{1000} = \frac{63 \cdot 1500 \cdot 0,91}{1000} = 86 \text{ l/min} \quad (4.4)$$

Saadud tulemus näitab, et valitud pump on piisav imutrassi täitmiseks kahele pidurdavale pumbale.

Elektrimootori valimiseks tuleb leida pumba võimsustarve. Arvestades maksimaalseks tööõhuks 25 bar on tulemus:

$$P = \frac{Q_{tegelik} * p}{600 * \eta_m} = \frac{86 * 25}{600 * 0,9} = 3,98 \text{ kW} \quad (4.5)$$

Torustiku valikul on kasutada peatükis 3.2 välja toodud nomogrammi (sele 3.2). Valitud torude suurused on näidatud hüdrooskeemil (sele 4.2).

4.3 Hüdraulikaskeem ja tööpõhimõte

Peatükis 4.1 ette antud nõudmiste täitmiseks on loodud hüdrooskeem (sele 4.2).

Hüdraulikatorude suurused:

12x1,5

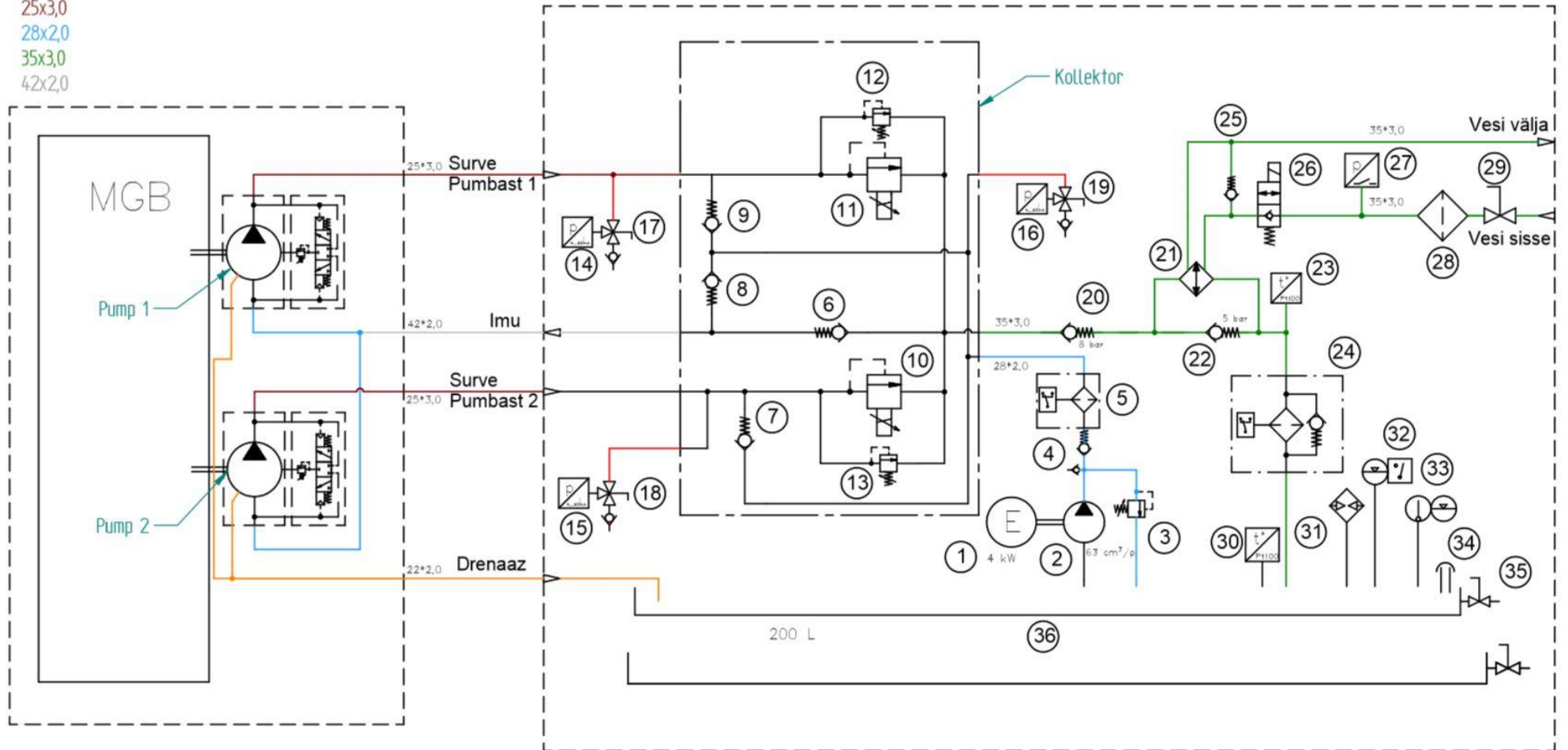
22x2,0

25x3,0

28x2,0

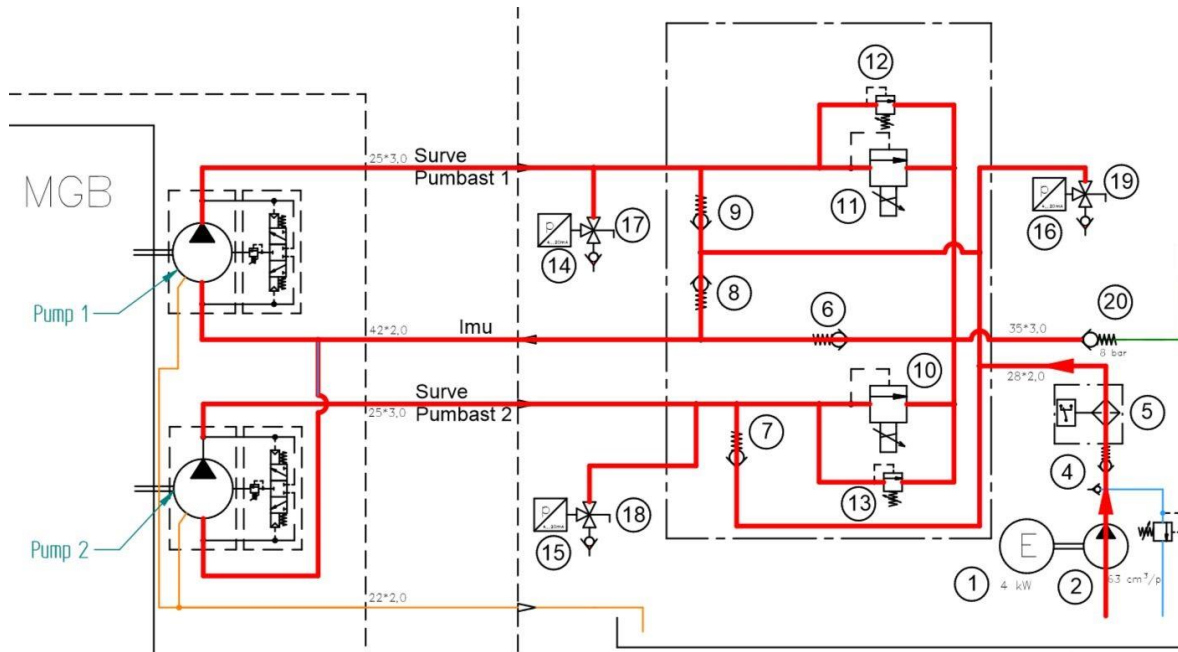
35x3,0

42x2,0



Sele 4.2 Hüdroseem hüdropumba ja jahutusventilaatori simuleerimiseks.

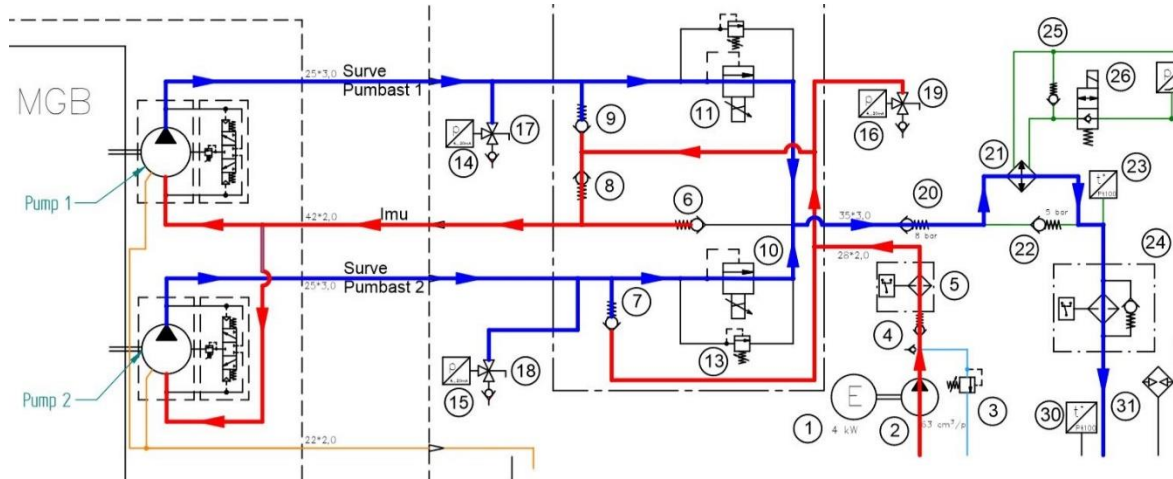
Skeemi tööpõhimõte on järgmine: esmalt täidetakse õliga kogu süsteem (sele 4.3). Selleks kasutatakse hüdrojaama pumpa (2). Õliga täidetakse nii kollektor kui ka pumpadeni minevad trassid. Täitepumba ahelas on nii survefilter (5) kui ka kaitseklapp (3). Süsteemi täitmise tagab tagasilöögi klapp 8 bar vedruga (20). Tagasilöögiklapp ei lase õlil enne paaki tagasi voolama hakata kuni rõhk on tõusnud 8 bar peale ehk kogu süsteem on õliga täidetud.



Sele 4.3 Süsteemi täitmine õliga.

Kui süsteem täidetud peab hüdrojaama pump tagama imutrassi täitmise kahele käigukasti küljes olevale pumbale. Hüdrojaama küljes oleva elektrimootori (1) pöörlemiskiirus on sagedusmuunduriga muudetav ehk pumba tootlikust on võimalik muuta. Vajalik tootlikus oleneb sellest, kui kiiresti käigukasti küljes olevad pumbad pöörlema pannakse ehk kui suur on vajalik õlihulk imutrassis. Hüdrojaamast pumbatud õli saab liikuda ainult imutrassi kuna tagasilöögiklapp nr. 6 takistab selle liikumist tagasi paaki ja tagasilöögiklappidel nr. 9 ja nr. 7 on vedru pool rõhk suurem ehk klappid ei saa avaneda. Imutrassi täiteliinis on rõhu lugemiseks rõhuandur (16), mille kalibreerimine toimub läbi kolmikkraani (19). Käigukasti küljes olevate pumpade surveeliinides on rõhu muutmiseks proportsionaalsed rõhu piiramise ventiilid (11 ja 10). Mida suuremaks tõsta rõhku pumpade surveeliinides, seda enam see koormab ülekandeid, mis pumba pöörlema panevad. Antud lahendus täidab kõige tähtsama nõude ehk mõlemal pumbal on olemas üksteisest sõltumatu pöördemomendi muutmise võimalus. Rõhu lugemiseks on mõlemas surveeliinis rõhuandurid (14 ja 15), mis kalibreeritavad läbi kolmikkraanide (17 ja 18). Kui mingil põhjusel peaks testimise ajal rõhu piiramise ventiilid täielikult sulguma, siis on pumpade kaitsmiseks surveahelates kaitseklapid (12 ja 13).

Proportsionaalsed rõhu piiramise ventiilid läbinud õli voolab läbi plaatjahuti (21) ja tagasivoolfiltrit (24) tagasi paaki. Kuna imutrass on õliga kogu aeg täidetud, siis liigub õli sinna, kus takistus väiksem ehk tagasivooluahelasse. Jahuti läbinud õli temperatuuri mõõtmiseks on süsteemis temperatuuriandur (23). (Sele 4.4)



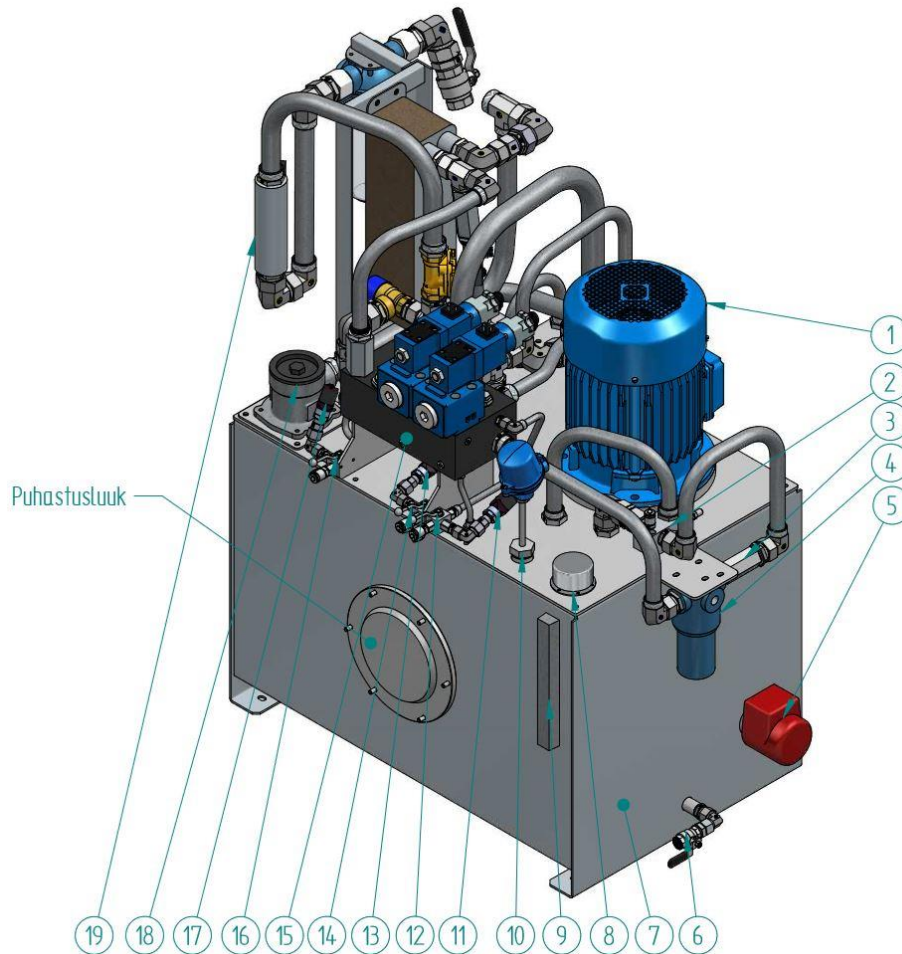
Sele 4.4 Õli ringlus süsteemis.

Plaatjahuti veeahelas on samad komponendid, mis esimeses hüdrojaamas ehk vesi liigub läbi järgmiste komponentide: kuulkraan (29) → veefilter (28) → vooluhulga mõõtja anduriga (27) → normaalselt suletud magnetklapp (26) → jahuti (21). Paralleelselt jahutiga on ühendatud kaitseklapp veele (25).

Paagi kaanele on kinnitatud õli tasemeandur (32), õli temperatuuriandur (30) ja õhutus/täitekork (34). Paagi seinal on visuaalne näidik õli taseme ja temperatuuri jälgimiseks (33). Paagi alumises osas on kuulkraan (35) paagi tühjendamiseks õli vahetuse puhul. Õli soojendamiseks on paagis küttekeha (31).

4.4 Hüdro süsteemi konstruktsioon ja komponentide valik

Nagu mainitud peatükis 3.4 on esimesed kaks hüdrojaama projekteeritud paralleelselt kuna jaamad paigutatakse samasse korpusesse ning see mõjutab komponentide paigutust hüdrojaamal. Sarnaselt esimese hüdrojaamaga on ka siin projekteeritud eraldi kollektor kuhu osad klapid kinnitada, et vähendada koostu suurust. Kuna klapid ja vooluhulgad on suuremad kui esimeses jaamas, tuleb arvestada ka suurema kollektoriga. Lisaks tuleb arvestada torude suuremate painderaadiustega kuna torude läbimõõdud on üsna suured. Kuna süsteemis on kolm rõhuandurit, mis vajavad aegajalt kalibreerimist on kalibreerimispunktid mõistlik tuua jaama esiküljele, kuhu ligipääs on parem. Loodud konstruktsioon on näidatud seledel 4.5, 4.6 ja 4.7. Seledel all on välja toodud valitud komponendid ja nende andmed.

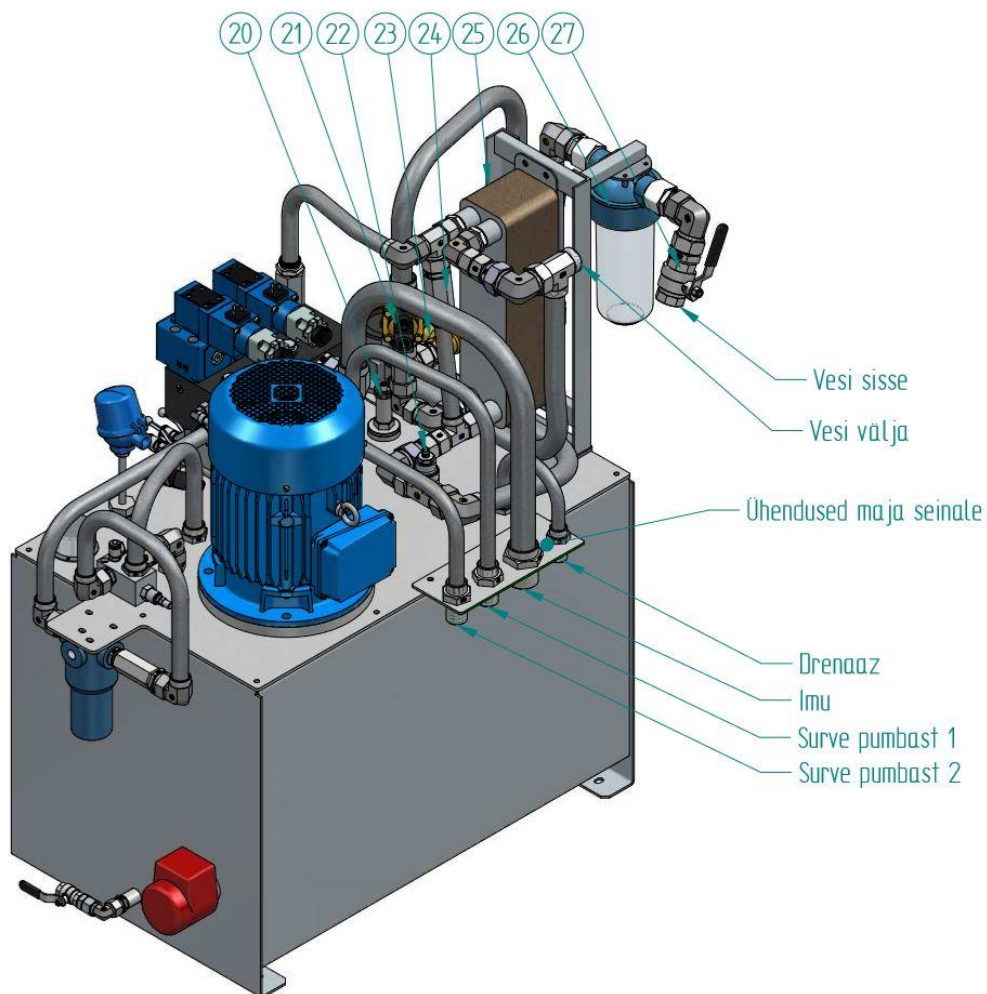


Sele 4.5 Hüdrojaama konstruktsioon vaade eest.

Hüdrojaama põhikomponendid on valitud järgmised (sulgudes on näidatud komponendi number hüdro skeemil):

- 1) Elektrimootori BEVI 4A2 112 M-4 (1) ja hammasrataspumba Brevini OT300P63D (2) koost. Elektrimootori võimsus on 4 kW, pöörlemiskiirus 50 Hz juures 1450 p/min [8]. Pumba pöördejõudlus on 63 cm³/p, maksimaalne lubatud töö rõhk 200 bar [32].
- 2) Kaitseklaapp Marchesini V0720. Maksimaalne vooluhulk 90 l/min. Maksimaalne töö rõhk 350 bar. Reguleeritav vahemikus 10-180 bar. Ühendused G 3/4" [11]
- 3) Tagasilöögiklaapp Marchesini V0620 (4). Maksimaalne vooluhulk 110 l/min. Maksimaalne töö rõhk 350 bar. Vedru 0,7 bar. Ühendused G 3/4". [10]
- 4) Survefilter PALL UH209HC1203ZGB (5) koos ummistusanduriga RC 861CZ 091 Z YM 24DC. Filtri elemendi tihedus 7 mikronit, ühendused korpusel G 3/4" [12].
- 5) Kütteelement Backer OM 30 (31) koos termostaadiga Relek TSDH 0720. Kütteelemendi võimsus on 1500 W. Kütteekeha keeratakse paagi seinale

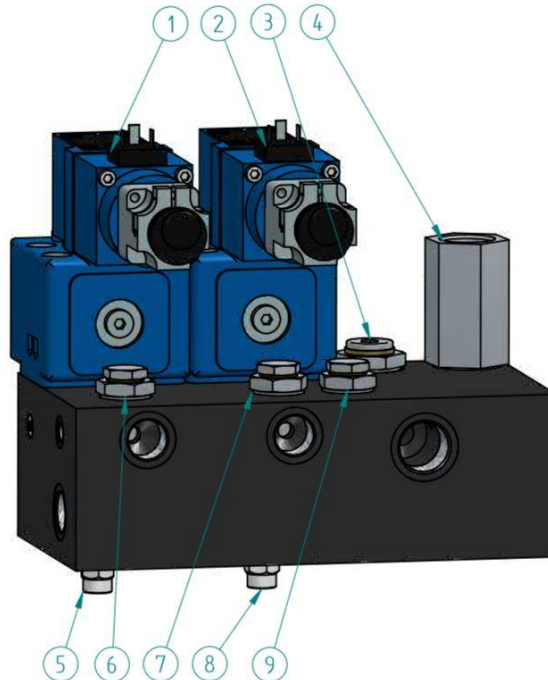
- keevitatud muhvi sisse (keere G 2"). Paigalduspikkus on 570 mm, toitepinge 400V [33]. Termostaat on reguleeritav vahemikus 10...90 °C [34].
- 6) Kuulkraan Tiemme Raccorderie 2381R2804 (35). Kuulkraan paagi tühjendamiseks. Ühendused G 1/2". [16]
 - 7) Paak mahutavusega 200 liitrit (36). Paak on eritellimusena valmistatud. Paagi materjaliks on roostevaba teras AISI 316.
 - 8) Täite/õhutus kork OMT TR-2 (24). [14]
 - 9) Visuaalne näidik õli taseme ja temperatuuri jälgimiseks OMT LV3T (33). LV3T on poole pikem kui esimeses hüdrojaamas kasutatud LG2T ehk mõeldud suurematele paakidele. Maksimaalne lubatud rõhk paagis 1 bar. Näitab temperatuuri vahemikus -20...+80°C. [14]
 - 10) Temperatuuriandur WIKA TR10-C (30). Paagi kaanele keeratav andur (keere G 1"), mis mõõdab õli temperatuuri paagis vahemikus 0...+150°C. Väljundsignaal 4...20 mA [13]. Anduri pikkus on valitud vastavalt paagi sügavusele. Antud juhul on paaki ulatuv pikkus 550 mm.
 - 11) Rõhuandur GE PTX5072 (15). Mõõdab rõhku vahemikus 0,7...700 bar. Väljundsignaal 4...20 mA [35]. Valitud ja tarnitud tellija poolt.
 - 12) Kolmikkraan Marchesini V0832 (18). L-skeemiga kolmikkraan rõhuanduri lahti ühendamiseks süsteemist. Maksimaalne lubatud rõhk 500 bar. Ühendused G 1/4". [23]
 - 13) Rõhuandur GE PTX5072 (14). Mõõdab rõhku vahemikus 0,7...700 bar. Väljundsignaal 4...20 mA [35]. Valitud ja tarnitud tellija poolt.
 - 14) Kolmikkraan Marchesini V0832 (17). L-skeemiga kolmikkraan rõhuanduri lahti ühendamiseks süsteemist. Maksimaalne lubatud rõhk 500 bar. Ühendused G 1/4". [23]
 - 15) Kollektori koost (sele 4.7). Kollektor on valmistatud terasest S235 ning peale lõiketöötlust mustaks oksüdeeritud.
 - 16) Kolmikkraan Marchesini V0832 (19). L-skeemiga kolmikkraan rõhuanduri lahti ühendamiseks süsteemist. Maksimaalne lubatud rõhk 500 bar. Ühendused G 1/4". [23]
 - 17) Rõhuandur GE PTX5072 (16). Mõõdab rõhku vahemikus 0,7...700 bar. Väljundsignaal 4...20 mA [35]. Valitud ja tarnitud tellija poolt.
 - 18) Tagasivoolufilter PALL UT210C2008ZA (24) koos ummistusanduriga HCA132-24. Filtri elemendi tihedus 7 mikronit, ühendused korpusel G 1 1/4". [21]
 - 19) Vooluhulgamõõtja WIKA FWS-DUG-150 (27). Visuaalne vooluhulgamõõtja, millele on lisatud andur, mis saadab välja signaali kui vooluhulk on väiksem kui seatud väärtus. Mõõdab vooluhulka vahemikus 15 – 150 l/min. Maksimaalne töö rõhk 10 bar. Ühendused G 1 1/4". [17]



Sele 4.6 Hüdrojaama konstruktsioon vaade tagant.

- 20) Õli tasemeandur WIKA RLT-1000 (32). Keeratakse paagi kaanele keevitatud muhvi sisse (keere G 1 1/2"). Väljundsignaal 4...20 mA, mõõtetäpsus 6 mm [15]. Anduri pikkus on valitud vastavalt paagi sügavusele. Antud juhul on paaki ulatav pikkus 550 mm.
- 21) Magnetklapp Sirai L133B06 (26). Normaalselt suletud klapp veele. Maksimaalne töö rõhk 16 bar, maksimaalne vooluhulk 150 l/min, ühendused G 1". Toitepinge 24 VDC. [36]
- 22) Temperatuuriandur IFM TM4411 (23). Maksimaalne lubatud rõhk 250 bar. Mõõdab temperatuuri vahemikus -40...+150°C. Keere G 1/2" [37]. Valitud ja tarnitud tellija poolt.
- 23) Kaitseklapp Flamco 29005 (25). Kaitseklapp veele. Vedru 6 bar. Ühendused 1" ja 1 1/4". [38]
- 24) Tagasilöögiklapp Marchesini V0620 (22). Maksimaalne vooluhulk 110 l/min. Maksimaalne töö rõhk 350 bar. Vedru 5 bar. Ühendused G 3/4". [10]
- 25) Plaatjahuti FUNKE TPL 00-L-30-11 (21). Jahuti spetsifikatsioon ja parameetrid on näidatud lisa 2.

- 26) Veefilter Atlas RA111T411 (28) koos elemendiga RA5010114. Maksimaalne lubatud rõhk 8 bar. Ühendused 3/4". [20]
- 27) Kuulkraan Onnline ALR270 (29). Kuulkraan vee manuaalseks sulgemiseks filtri vahetamise korral. Ühendused 1 1/4". [39]



Sele 4.7 Kollektor koos klappidega.

Kollektori küljes on järgmised komponendid (sulgudes on näidatud komponendi number hüdroseemil):

- 1) Proportsionaalne rõhu piiramise ventiil Rexroth DBEB10Z-1X/315XYG24-37Z4M (13). Maksimaalne töö rõhk 315 bar. Maksimaalne vooluhulk 120 l/min. Toitepinge 24 VDC. [40]
- 2) Proportsionaalne rõhu piiramise ventiil Rexroth DBEB10Z-1X/315XYG24-37Z4M (11).
- 3) Tagasilöögiklapp (padrun) Luen VNR-C-34-100-003-155-0-J-0 (8). Maksimaalne vooluhulk 150 l/min. Maksimaalne töö rõhk 350 bar. Vedru 1 bar. [41]
- 4) Tagasilöögiklapp Rexroth 04.31.17.00-05-01 (20). Maksimaalne vooluhulk 250 l/min. Maksimaalne töö rõhk 350 bar. Vedru 8 bar. [42]
- 5) Kaitseklapp Luen VMP-45-002-268-0-X-0-SN (10). Maksimaalne vooluhulk 45 l/min. Reguleeritav vahemikus 10-210 bar. [43]
- 6) Tagasilöögiklapp (padrun) Luen VNR-C-12-34-003-035-0-J-0 (7). Maksimaalne vooluhulk 80 l/min. Maksimaalne töö rõhk 350 bar. Vedru 1 bar. [41]
- 7) Tagasilöögiklapp (padrun) Luen VNR-C-12-34-003-035-0-J-0 (9).
- 8) Kaitseklapp Luen VMP-45-002-268-0-X-0-SN (12).

9) Tagasilöögiklapp (padrun) Luen VNR-C-12-34-003-035-0-J-0 (8).

Käesolev hüdrojaam ja hüdrojaam rootori mastile tekkivate koormuste simuleerimiseks kinnitatakse samale õlivannile, mis siis omakorda paigaldatakse jaamadele mõeldud korpusesse. Jaamade asetus korpuses on näidatud seel 4.8.



Sele 4.8 Kõrvuti paigutatud hüdrojaamad korpuses.

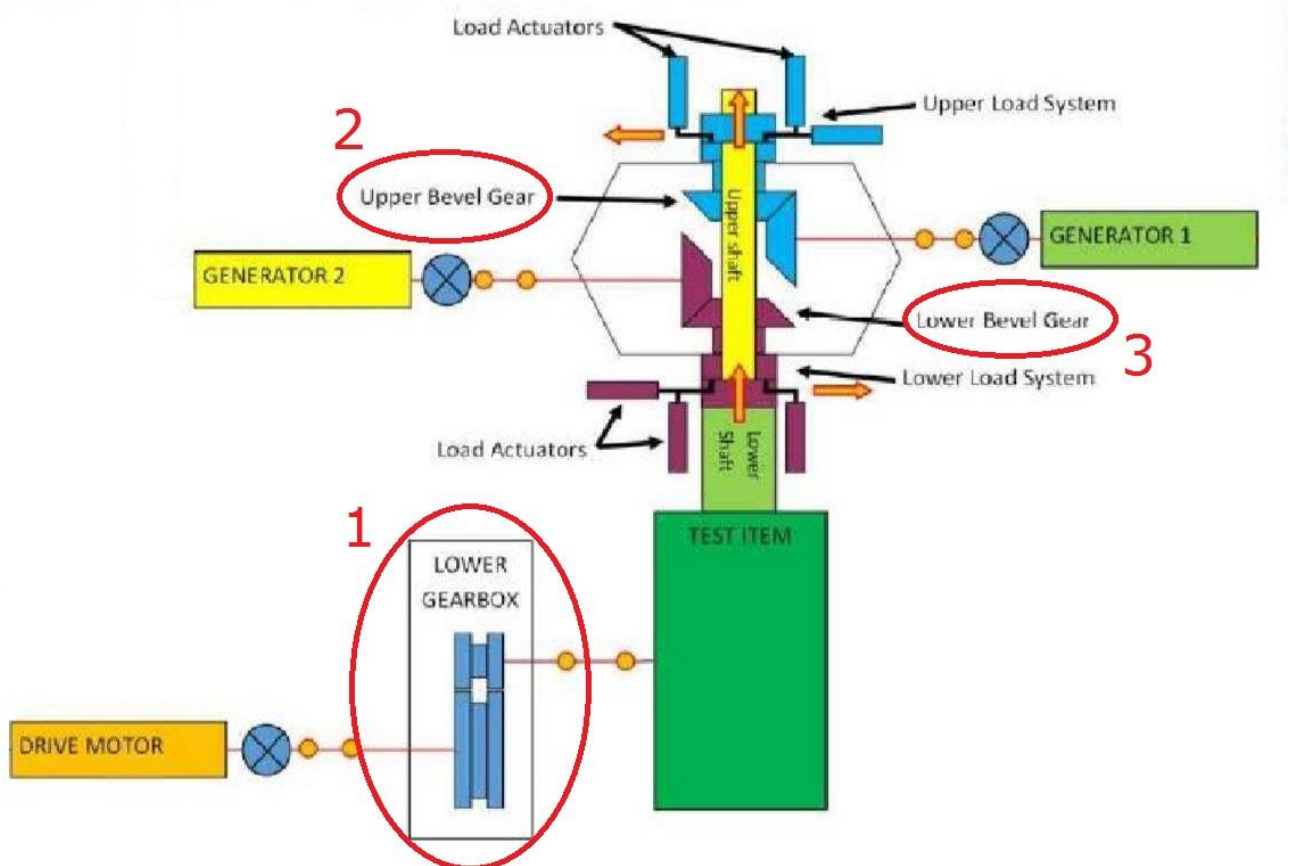
Kõikidel jaamadel peavad komponendid olema markeeritud. Selleks on kasutatud roostevabasid märkeplaatse (sele 4.9), kuhu peale on löödud vastava komponendi kood. Märkeplaat on komponendi külge seotud traadiga. Komponentide märgistamine võimaldab kiirelt leida selle andmed hüdrojaama spetsifikatsioonist ning see on kasulik kui komponent vajab vahetamist. Kood on tuletatud komponendi inglise keelse nimetuse esitähtedest ning järjekorra numbrist. Näiteks tagasilöögi klapp (ingl. k *check valve*) nr. 4 esimese hüdrojaama skeemilt (sele 3.3) on koodiga CV-01.



Sele 4.9 Roostevaba märkeplaat läbimõõduga 32 mm komponentide märgistamiseks. [44]

5. HÜDRAULIKASÜSTEEM KATSESTENDI ÜLEKANNETE MÄÄRIMISEKS

Katsestendil on kolm hammasratasülekanne, mida on tarvis määrada ja jahutada. Süsteem peab olema eraldatud ja sõltumatu MGB määrimissüsteemist. Esimene ülekanne on elektrimootori ja käigukasti mineva veovõlli vahel, et tõsta veovõlli pöörlemiskiirust. Teine ja kolmas ülekanne on ülemise rootori masti küljes, kus kaldhammasülekannetega pannakse pöörlema generaatorite võllid (sele 5.1). Projekteeritav hüdrojaam peab tootma määrimiseks vajaliku vooluhulga igale ülekanndele ja tagama õli jahutuse.



Sele 5.1 1 – *Lower gearbox* ehk alumine ülekanne elektrimootori ja veovõlli vahel. *Upper Bevel Gear* ehk ülemine kaldhammasülekanne rootori masti ja generaatori vahel. 3 – *Lower bevel gear* ehk alumine kaldhammasülekanne rootori masti ja generaatori vahel. [1]

5.1 Nõuded

Hüdrojaamale on esitatud järgmised nõuded:

- 1) Süsteem peab sisaldama eraldi tsirkulatsioonipumpa õli puhastamiseks ja jahutamiseks. Jahutamiseks on nõutud plaatjahuti.
- 2) Jahuti veeahelas peab olema võimalus vee voolu kontrollida manuaalselt ja elektrooniliselt. Vaja on andurit, mis annab märku et vesi torustikus voolab.

- 3) Enne ülekannetesse jõudmist peab õli olema filtreeritud. Samuti peab filter olema õli jahutusahelas. Nõutud on filtritootja PALL toodang. Filtrid peavad olema ummistuanduriga.
- 4) Ülekannete määrimiseks mõeldud ahelas peab rõhu jälgimiseks süsteem olema varustatud rõhuanduriga. Anduri kalibreerimiseks peab olema võimalik andur süsteemist lahti ühendada ilma et seda peaks füüsiliselt eemaldama.
- 5) Igasse ülekandesse minevat õli vooluhulka peab olema võimalik vajadusel reguleerida. Õli vooluhulga lugemiseks on iga ülekande jaoks oma visuaalne ja elektrooniline vooluhulgamõõtja.
- 6) Igasse ülekandesse minevas ahelas peab olema valmidus ahela ümberlülitamiseks, et suunata õli voolamine läbi ahelasse ühendatud seadme.
- 7) Õli temperatuuri ja taseme jälgimiseks peavad süsteemis olema selleks vajalikud andurid.
- 8) Paagi sisse on nõutud küttekeha, et enne käivitamist õli soojendada töötemperatuurini.
- 9) Hüdro süsteemis kasutatakse hüdroõli ISO VG 68 ning paak peab olema roostevabast terasest mahutavusega 150 liitrit.
- 10) Hüdrojaam peab olema võimalikult kompaktn.
- 11) Kõik hooldust/vahetamist vajavad komponendid (filtrid, paak, andurid, jahuti) peavad olema kergesti ligipääsetavad.
- 12) Kõik komponendid peaval olema markeeritud.

5.2 Arvutused

Iga ülekanne vajab määrimiseks õli vooluhulgaga 18-20 l/min. Kokku on kolm ülekannet, seega peab pumba tootlikus olema maksimaalselt 60 l/min. Maksimaalne töö rõhk süsteemis on 30 bar. Pumba valikuks on vaja teada pumba pöördejõudlust (cm^3/p), mis leitakse valemiga

$$q = \frac{Q \cdot 1000}{n} = \frac{60 \cdot 1000}{1500} = 40 \text{ cm}^3/\text{p} \quad (5.1)$$

Pumbaks on valitud välishambumisega Brevini hammasrataspump OT300P42 pöördejõudlusega $42 \text{ cm}^3/\text{p}$ [32]. Võttes arvesse, et pumba pöördejõudlus on $42 \text{ cm}^3/\text{p}$, on leitud pumba tegelik tootlikkus:

$$Q_{\text{tegelik}} = \frac{q \cdot n \cdot \eta_v}{1000} = \frac{42 \cdot 1500 \cdot 0,91}{1000} = 57,3 \text{ l/min} \quad (5.2)$$

Iga ülekanne saab seega $57,3/3=19,1 \text{ l/min}$ õli, mis täidab etteantud tingimused.

Pumba vajalik võimsustarve:

$$P = \frac{Q_{tegelik} * p}{600 * \eta_m} = \frac{57,3 * 30}{600 * 0,9} = 3,2 \text{ kW} \quad (5.3)$$

Õli jahutusepooles osas peab õli vooluhulk olema 100 l/min. Maksimaalne tööõhk süsteemis on 15 bar. Vajalik pumba pöördejõudlus on seega:

$$q = \frac{Q * 1000}{n} = \frac{100 * 1000}{1500} = 66,7 \text{ cm}^3/\text{p} \quad (5.4)$$

Lähim valik on hammasrataspump OT300P73 pöördejõudlusega 73 cm³/p. Pumba tegelik tootlikkus:

$$Q_{tegelik} = \frac{q * n * \eta_v}{1000} = \frac{73 * 1500 * 0,91}{1000} = 98,6 \text{ l/min} \quad (5.5)$$

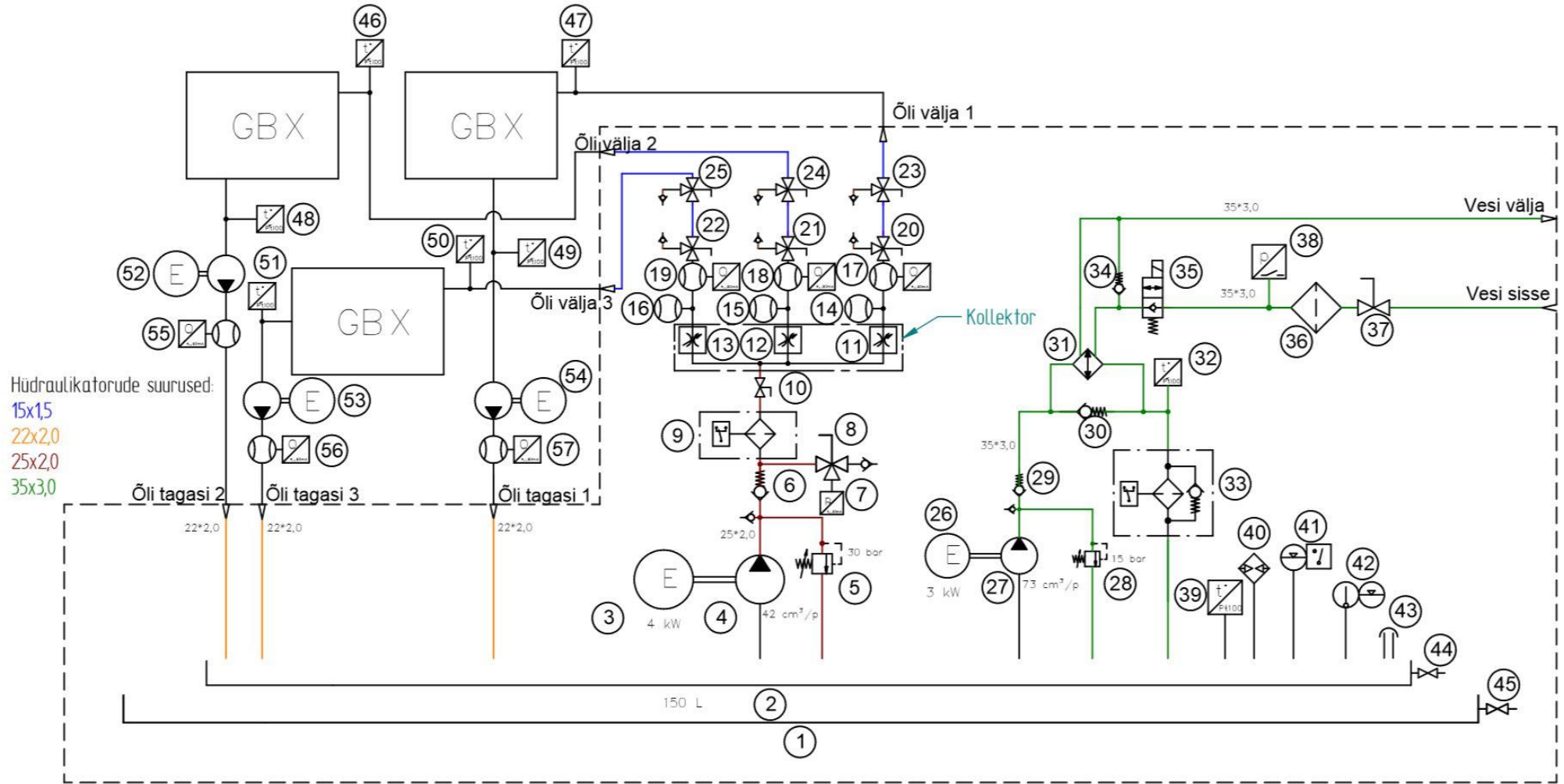
Pumba vajalik võimsustarve:

$$P = \frac{Q_{tegelik} * p}{600 * \eta_m} = \frac{98,6 * 15}{600 * 0,9} = 2,7 \text{ kW} \quad (5.6)$$

Torustiku valikul on kasutatud peatükis 3.2 välja toodud nomogrammi (sele 3.2). Valitud torude suurused on näidatud hüdro skeemil (sele 5.2).

5.3 Hüdraulikaskeem ja tööpõhimõte

Peatükis 5.1 ette antud nõudmiste täitmiseks on loodud hüdro skeem (sele 5.2).



Sele 5.2 Hüdroseem katsesendi ülekannete määrimiseks.

Antud süsteemis on kaks eraldiseisvat ahelat. Esimene ahel (skeemil vasakpoolne) on ülekannete määrimiseks ja teine (skeemil parempoolne) õli jahutamiseks. Skeemide tööpõhimõtted on järgmised:

I ahel

Elektrimootori (3) jõul pannakse pöörlema pump (4), mis tekitab vajaliku vooluhulga. Ülerõhu tekke vältimiseks on ahelas kaitseklapp (5), mis seadistatud 30 bari peale. Edasi liigub õli läbi tagasilöögiklapi (6) survefiltrisse (9) ja sealt edasi kollektorisse. Tagasilöögiklapi ja survefiltri vahele on ühendatud rõhuandur (7) rõhu jälgimiseks. Rõhuandurit on võimalik kalibreerida läbi kolmikkraani (8). Kollektoris jagatakse õli vool võrdselt kolmeks. Kollektoris liigub õli kõigepealt läbi drosselite (11, 12, 13), mis võimaldavad igas ahelas vooluhulka vajadusel muuta. Seejärel on igas ahelas visuaalne vooluhulgamõõtja (14, 15, 16) ja elektriline vooluhulgamõõtja (17, 18, 19). Edasi liigub õli majast välja katsestendi käigukastidesse. Vooluhulgamõõtjate järel on tehtud võimalus veel kolmanda seadme jadas ühendamiseks. Seda võimaldab kolmikkraanide (20-25) ümberlülitamine. Sedasi on võimalik kontrollida vooluhulgamõõtjate õigsust või mõõta näiteks õli puhtust.

Vahetult enne ja pärast käigukaste on paigaldatud temperatuuriandurid (46-51), et saada tagasisidet õli temperatuuri kohta. Kui algul oli nõutud, et õli tagasivool paaki (2) peaks toimima gravitatsiooni mõjul, siis tegelikkuses oli tagasivool kõrguste väikese vahe ja õli suure viskoosuse tõttu liiga aeglane. See põhjustas olukorra, kus ülekannetes kerkis õlitase üle lubatud taseme ja hüdrojaama paagis tekkis seevastu õlipuudus. Seetõttu tuli tagasivoolu ahelatesse lisada impellerpumbad (52, 53 54), mis õli ringluses hoiaks. Et kontrollida, kas vooluhulk on tagasivoolul sama mis täitmisel, on ka tagasivoolule lisatud elektrilised vooluhulgamõõtjad (55, 56, 57).

II ahel

Elektrimootori (26) jõul pannakse pöörlema pump (27), mis tekitab vajaliku vooluhulga ja rõhu. Õli liigub läbi tagasilöögiklapi (29) jahutisse (31) ja sealt läbi tagasivoolufiltri (33) tagasi paaki (2). Plaatjahutiga paralleelselt on tagasilöögiklapp, mis avaneb kui õli mingil põhjusel enam läbi jahuti liikuda ei saa. Õli temperatuuri mõõtmiseks on vahetult peale jahutit paigaldatud temperatuuri andur (32), mis annab märku kui õli temperatuur jahutist tulles ületab lubatud piiri.

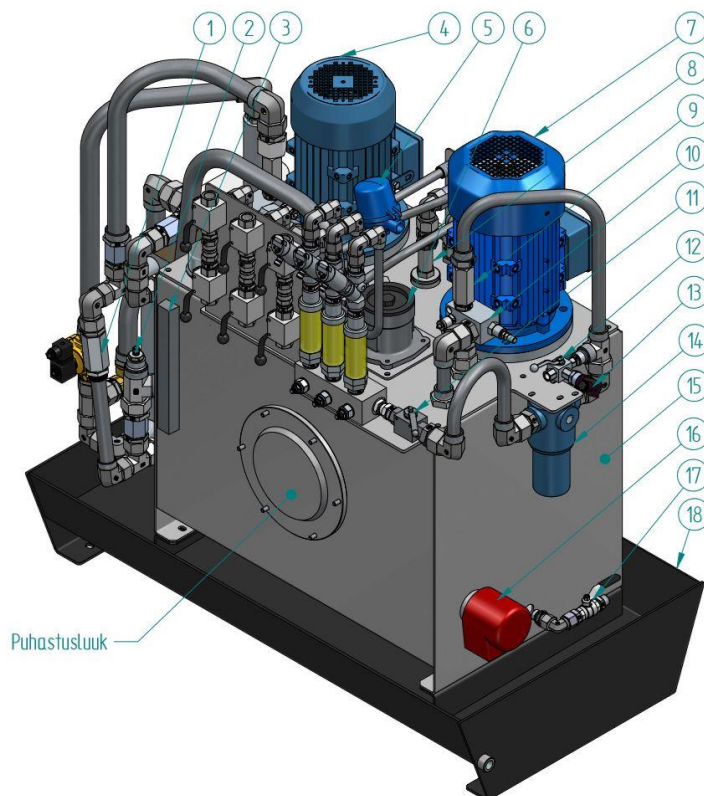
Veeahelas liigub vesi läbi järgmiste komponentide: kuulkraan (37) – vee manuaalseks sulgemiseks → veefilter (36) → vooluhulga mõõtja anduriga (38) – mõõdab vooluhulka ja saadab signaali kui vooluhulk on liiga väike → normaalselt suletud magnetklapp (35)

– vee sulgemine ja avamine elektrooniliselt → jahuti (31). Juhul kui jahuti veetorudes peaks tekkima ummistus, on selleks paraleelselt ühendatud kaitseklapp veele (34).

Paagi kaanele on kinnitatud õli tasemeandur (41), õli temperatuuri andur (39) ja õhutus/täitekork (43). Paagi seinal on visuaalne näidik (42), mis näitab õli taset ja temperatuuri paagis. Paagi alumises osas on kuulkraan (44) paagi tühjendamiseks õli vahetuse puhul. Paagi sisse on paigaldatud elektriline küttekeha (40) kui vaja õli soojendada töötemperatuurini. Õlipaagi all on eraldi õlivann (1) koos tühjenduskraaniga (45). Õlivanni olemasolu aitab vältida õli ja vee laiali valgumist põrandale lekete korral ja on oluline tööohutuse seisukohast, sest libe põrand võib tekitada inimestele raskeid vigastusi.

5.4 Hüdrosüsteemi konstruktsioon ja komponentide valik

Antud hüdrojaama projekteerimisel tuleb arvesse võtta eelkõige kasutusmugavust. Kuna süsteemis on drosselid ja vooluhulgamõõtjad, mida kasutajal on vaja reguleerida/jälgida, peab nende asukoht olema kasutajale mugav ja hea ligipääsetavusega. Samuti tuleb mugavaks teha kasutaja oma seadme ühendamine, mis antud juhul on lahendatud kolmikkraanide ümberlülitamisega. Projekteeritud hüdrojaama konstruktsioon on näidatud seel 5.3 ja 5.4.

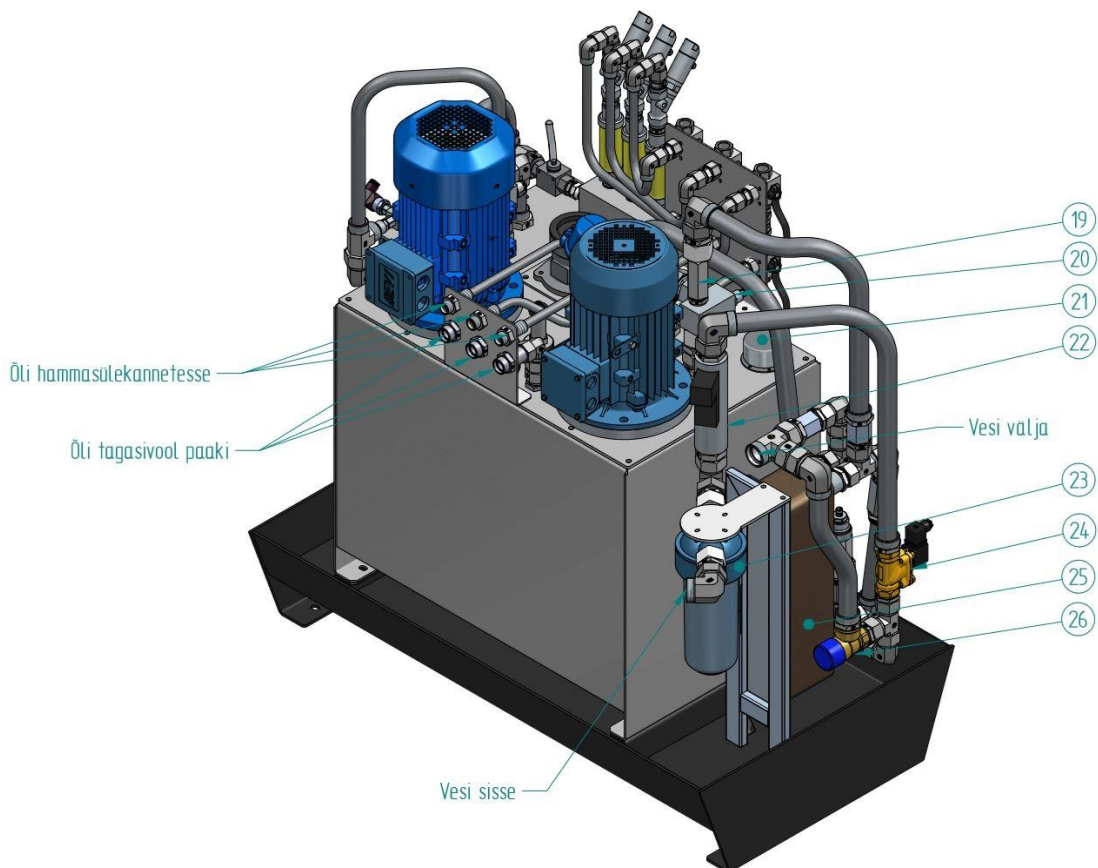


Sele 5.3 Hüdrojaama konstruktsiooni vaade eest.

Hüdrojaama põhikomponendid on valitud järgmised (sulgudes on näidatud komponendi number hüdrooskeemil):

- 1) Tagasilöögiklapp Marchesini V0620 (30). Maksimaalne vooluhulk 110 l/min. Maksimaalne töö rõhk 350 bar. Vedru 5 bar. Ühendused G 3/4". [10]
- 2) Temperatuuriandur IFM TM4411 (32). Maksimaalne lubatud rõhk 250 bar. Mõõdab temperatuuri vahemikus -40...+150°C. Keere G 1/2" [37]. Valitud ja tarnitud tellija poolt.
- 3) Visuaalne näidik õli taseme ja temperatuuri jälgimiseks OMT LV3T (42). Maksimaalne lubatud rõhk paagis 1 bar. Näitab temperatuuri vahemikus -20...+80°C. [14]
- 4) Elektrimootori ja pumba koost paagis oleva õli tsirkuleerimiseks. Jahutab ja puhastab paagis olevat õli. Pumbaks on Brevini 3. seeria hammasrataspump OT300P73D (27) pöördejõudlusega 73 cm³/p. Maksimaalne lubatud töö rõhk 180 bar [32]. Pumba võimsustarve on arvutuse tulemusel 2,7 kW, seega on elektrimootoriks valitud on BEVI 4A2 100 L2-4 (26). Mootori võimsus on 3 kW ja pöörlemiskiirus 50 Hz juures 1450 p/min. [8]
- 5) Temperatuuriandur WIKA TR10-C (39). Paagi kaanele keeratav andur (keere G 1"), mis mõõdab õli temperatuuri paagis vahemikus 0...+150°C. Väljundsignaal 4...20 mA [13]. Anduri pikkus on valitud vastavalt paagi sügavusele. Antud juhul on paaki ulatuv pikkus 500 mm.
- 6) Tagasivoolufilter PALL UT210C2008ZA (33) koos ummistusanduriga HCA132-24. Filtri elemendi tihedus 7 mikronit, ühendused korpusel G 1 1/4". [21]
- 7) Elektrimootori ja pumba koost ülekannete määrimiseks. Pumbaks on Brevini 3. seeria hammasrataspump OT300P42D (4) pöördejõudlusega 42 cm³/p. Maksimaalne lubatud töö rõhk 240 bar [32]. Pumba võimsustarve on arvutuse tulemusel 3,2 kW, seega on elektrimootoriks valitud on BEVI 4A2 112 M-4 (3). Mootori võimsus on 4 kW ja pöörlemiskiirus 50 Hz juures 1450 p/min [8].
- 8) Õli tasemeandur WIKA RLT-1000 (41). Keeratakse paagi kaanele keevitatud muhvi sisse (keere G 1 1/2"). Väljundsignaal 4...20 mA, mõõtetäpsus 6 mm [15]. Anduri pikkus on valitud vastavalt paagi sügavusele. Antud juhul on paaki ulatuv pikkus 500 mm.
- 9) Tagasilöögiklapp Marchesini V0620 (30). Maksimaalne vooluhulk 110 l/min. Maksimaalne töö rõhk 350 bar. Vedru 5 bar. Ühendused G 3/4". [10]
- 10) Kaitseklapp Marchesini V0720 (5). Maksimaalne vooluhulk 90 l/min. Maksimaalne töö rõhk 350 bar. Reguleeritav vahemikus 10-180 bar. Ühendused G 3/4". [11]

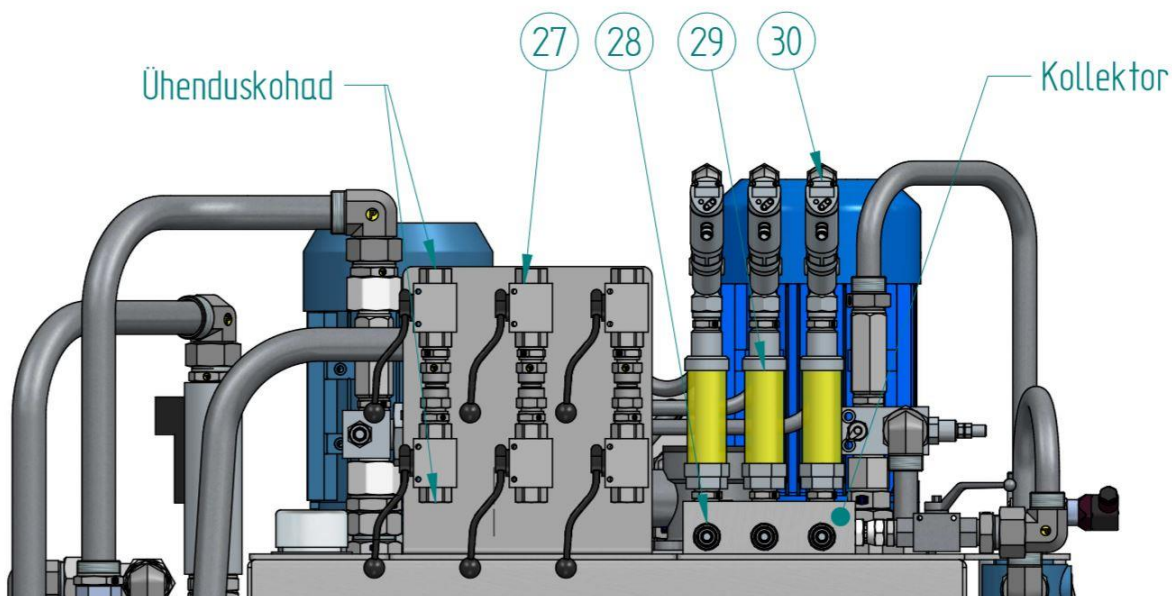
- 11) Kuulkraan Marchesini V0850/FF (10). Maksimaalne vooluhulk 70 l/min. Maksimaalne rõhk 500 bar. Ühendused G 1/2". [45]
- 12) Kolmikkraan Marchesini V0832 (8). L-skeemiga kolmikkraan rõhuanduri lahti ühendamiseks süsteemist. Maksimaalne lubatud rõhk 500 bar. Ühendused G 1/4". [23]
- 13) Rõhuandur WIKA A-10 (7). Mõõdab rõhku vahemikus 0...400 bar. Väljundsignaal 4...20 mA. Keere G 1/4". [26]
- 14) Survefilter PALL UH209HC1203ZGB (9) koos ummistusanduriga RC 861CZ 091 Z YM 24DC. Filtri elemendi tihedus 7 mikronit, ühendused korpusel G 3/4" [12].
- 15) Paak mahutavusega 150 liitrit (2). Paak on eritellimusena valmistatud. Paagi materjaliks on roostevaba teras AISI 316.
- 16) Kütteelement Backer OM 30 (40) koos termostaadiga Relek TSDH 0720. Kütteelemendi võimsus on 1500 W. Küttekeha keeratakse paagi seinale keevitatud muhvi sisse (keere G 2"). Paigalduspikkus on 570 mm, toitepinge 400V [33]. Termostaat on reguleeritav vahemikus 10...90 °C [34].
- 17) Kuulkraan Tiemme Raccorderie 2381R2804 (44). Kuulkraan paagi tühjendamiseks. Ühendused G 1/2". [16]
- 18) Ölivann (1). Isevalmistatud vann õli ja vee lekete kogumiseks. Valmistatud terasest S355.



Sele 5.4 Hüdrojaama konstruktsiooni vaade tagant.

- 19) Tagasilöögiklapp Marchesini V0620 (29). Maksimaalne vooluhulk 110 l/min. Maksimaalne töö rõhk 350 bar. Vedru 5 bar. Ühendused G 3/4". [10]
- 20) Kaitseklapp Marchesini V0720 (28). Maksimaalne vooluhulk 90 l/min. Maksimaalne töö rõhk 350 bar. Reguleeritav vahemikus 10-180 bar. Ühendused G 3/4". [11]
- 21) Täite/õhutuskork OMT TR-2 (43). [14]
- 22) Vooluhulgamõõtja WIKA FWS-DUG-150 (38). Visuaalne vooluhulgamõõtja, millele on lisatud andur, mis saadab välja signaali kui vooluhulk on väiksem kui seatud väärtus. Mõõdab vooluhulka vahemikus 15 – 150 l/min. Maksimaalne töö rõhk 10 bar. Ühendused G 1 1/4". [17]
- 23) Veefilter Atlas RA111T411 (36) koos elemendiga RA5010114. Maksimaalne lubatud rõhk 8 bar. Ühendused 3/4". [20]
- 24) Magnetklapp Sirai L133B06 (35). Normaalselt suletud klapp veele. Maksimaalne töö rõhk 16 bar, maksimaalne vooluhulk 150 l/min, ühendused G 1". Toitepinge 24 VDC. [36]
- 25) Plaatjahuti FUNKE TPL 00-L-30-11 (31). Jahuti spetsifikatsioon ja parameetrid on näidatud lisas 2.
- 26) Kaitseklapp Flamco 29005 (34). Kaitseklapp veele. Vedru 6 bar. Ühendused 1" ja 1 1/4". [38]

Hüdrojaama esiküljele on toodud kõik kasutajale vajalikud näidikud ja klapid. Kollektori alumises osas on drosselid (28) iga ülekandesse mineva ahela vooluhulga määramiseks. Vooluhulka saab muuta pöörates klapi otsas reguleerimiskruvi kas päri- või vastupäeva. Vooluhulga lugemiseks on igal ahelal nii visuaalne vooluhulgamõõtja (29) kui ka elektriline vooluhulgamõõtja (30), mis võimaldab saata signaali juhtimiskeskusesse. Kasutaja enda seadme ühendamiseks ahelasse tuleb voolikute abil seade kinnitada kolmikkraanide (27) ühenduskohtade vahele. Kolmikkraanide ümber lülitamisel hakkab õli voolama läbi ahelasse ühendatud seadme. (Sele 5.5)

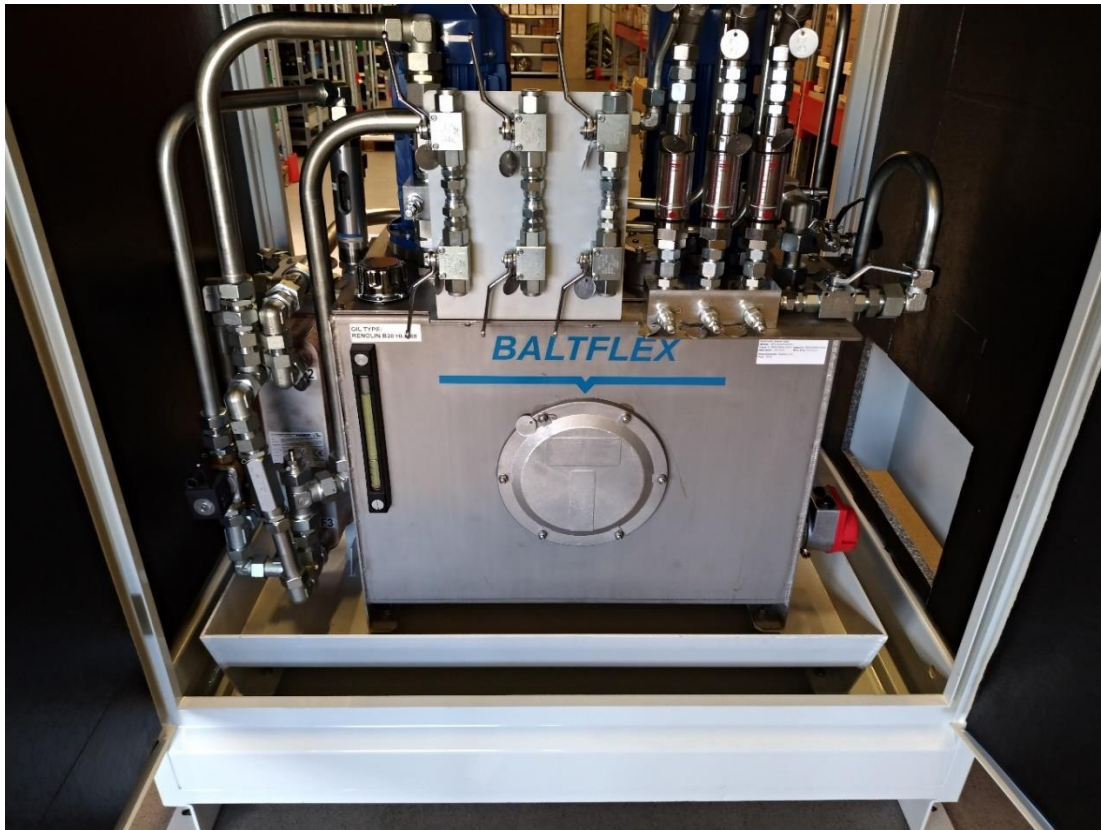


Sele 5.5 Hüdrojaama esikülg. 27 – kolmikkraan L-skeemiga Marchesini V0852/FF (ühendused 1/2", maksimaalne lubatud rõhk 500 bar) [23]. 28 – drossel Sun Hydraulic FD8A-LAN (maksimaalne vooluhulk 23 l/min, maksimaalne rõhk 345 bar) [46]. 29 – Parker FM26222112 (möödab vooluhulka vahemikus 2-20 l/min, maksimaalne rõhk 350 bar) [47]. 30 – IFM SBG 234 (möödab vooluhulka 1-50 l/min, maksimaalne lubatud rõhk 40 bar) [48].

Hüdrojaamast eraldi paiknevad komponendid (hüdroskeemil komponendid 46-57 vt. sele 5.2) on valitud järgmised:

- 46-51) Temperatuuriandur Pyrocapt PT100. Valitud ja tarnitud tellija poolt
- 52-54) Impellerpump ZUWA Combistar 2000-A. 0,37 kW elektrimootoriga impellerpump maksimaalse tootlikusega 30 l/min. Toitepinge 230V. [49]
- 55-57) Vooluhulgamõõtja IFM SBG 234. Möödab vooluhulka vahemikus 1-50 l/min, maksimaalne rõhk 40 bar. [48]

Hüdrojaama lõplik valmis ja testitud koost koos korpusega on näidatud seel 5.6 ja 5.7.



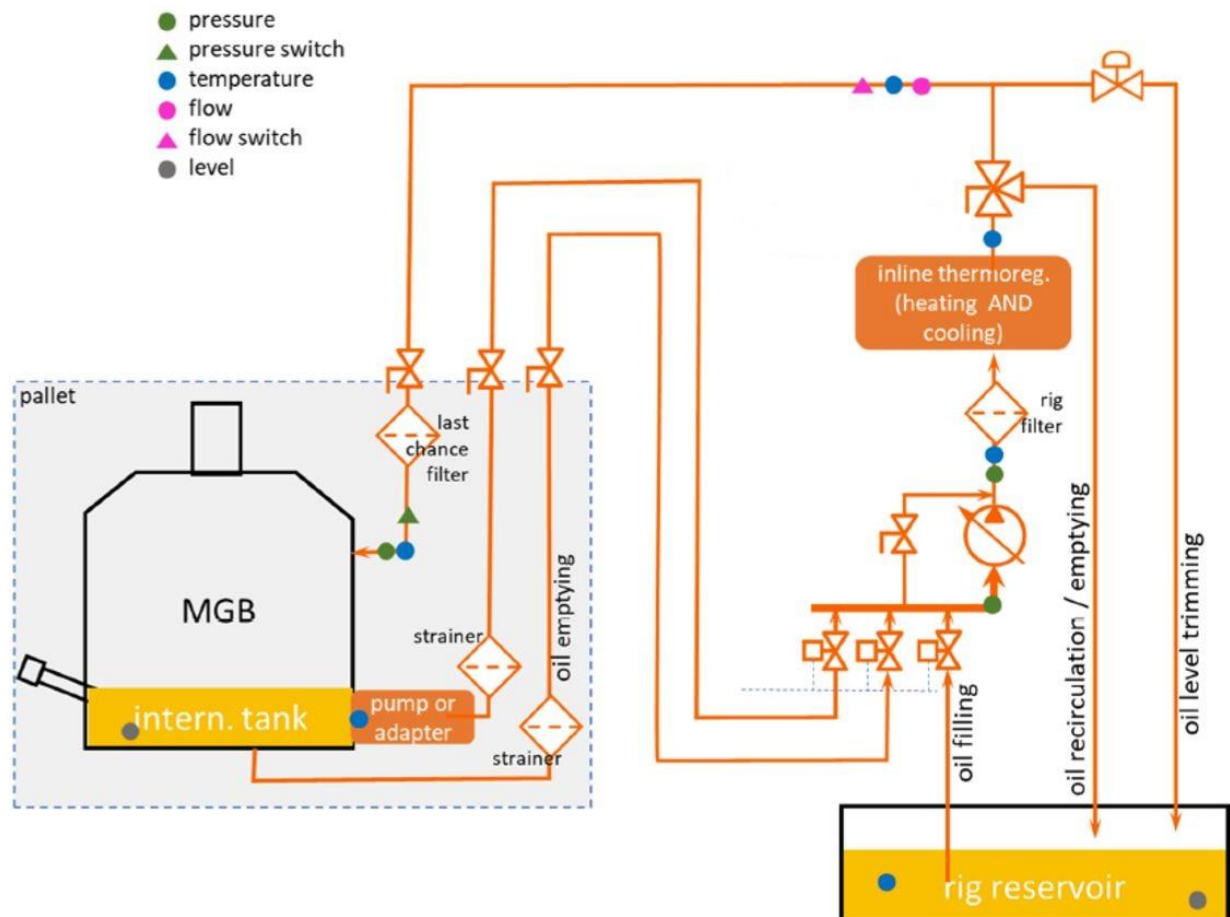
Sele 5.6 Hüdrojaama eestvaade. Iga komponendi küljes on metallplaat, kuhu peale on löödud komponendi kood.



Sele 5.7 Hüdrojaama tagantvaade. Kõik ühendused on viidud korpuse tagumise seina alumisele osale.

6. HÜDRAULIKASÜSTEEM PÕHIKÄIGUKASTI ÜLEKANNETE MÄÄRIMISEKS

Põhikäigukasti sees on hammasülekannete ja hooratta määrimiseks eraldi määrimissüsteem. Õli ringleva panemine ja jahutamine toimub peatükis 4 näidatud õlipumba ja jahutusventilaatori abil. Õlimahuti on käigukasti sisene. Olenevalt testimise eesmärgist kasutatakse kas käigukasti küljes olevat õlipumpa või välist pumpa. Projekteeritava hüdrojaama eesmärk on võimaldada nii MGB sisese kui ka MGB välise pumba kasutamist ning läbi viia erinevaid teste. Näiteks peab hüdrojaam võimaldama õli koguse ja temperatuuri muutmist, et simuleerida olukordi, kus näiteks õlitase on liiga madal või õli ei saa piisavat jahutamist õlipumba või ventilaatori rikke tõttu. Skemaatiline tööpõhimõte, kuidas katsestendis süsteem peaks toimima on näidatud seel 6.1.



Sele 6.1 MGB ülekannete määrimise skeem [1]. Vasakul pool on käigukast koos õlipumba ja erinevate anduritega. Parem pool on hüdrojaama osa, mis peab võimaldama süsteemi täitmist õliga, õli tsirkuleerimist ja õli jahutamist/kuumutamist ning õli taseme muutmist.

6.1 Nõuded

Hüdrojaamale on esitatud järgmised nõuded:

- 1) Hüdrojaam peab võimaldama tootlikust 13,7 kuni 40 l/min. Tootlikuse muutmiseks kasutatakse sagedusmuundurit.
- 2) Süsteem peab võimaldama süsteemi torustiku ja MGB täitmist teatud tasemeni ning seejärel õli tsirkuleerimist.
- 3) Süsteem peab võimaldama MGB tühjendamist õlist.
- 4) Süsteem peab võimaldama õli tsirkuleerimise võimalust MGB küljes oleva pumba kaudu, kusjuures peab olema võimalus vooluhulka piirata.
- 5) Hüdrojaamal tuleb õli temperatuuri mõõta kolmes kohas – enne õli väljundit, enne õli jahutamist/kuumutamist ning pärast külma ja kuumu õli seguklappi.
- 6) Õlitemperatuur peab olema valitav vahemikus +30 kuni +120 °C. Selleks peab süsteemis olema nii jahuti kui ka küttekeha.
- 7) Jahuti veeahelas peab olema võimalus vee voolu kontrollida manuaalselt ja elektrooniliselt. Vaja on andurit, mis annab märku, et vesi torustikus voolab.
- 8) Enne hüdrojaama õliväljundit peab olema andur, mis annab märku kui torustikus õli pole ning võimaldab rootori pöörlemise kohe peatada.
- 9) Enne väljundit peab süsteemis olema turbiintüüpi vooluhulgamõõtja koos kalibreerimisvõimalusega.
- 10) Süsteemis peab olema eraldi ahel tsirkulatsioonis oleva õli koguse suurendamiseks. Ahel peab sisaldama survefiltrit.
- 11) Paagis oleva õli temperatuuri ja taseme jälgimiseks peavad paagi küljes olema selleks vajalikud andurid.
- 12) Enne hüdrojaamast väljumist peab õli läbima filtri. Nõutud on filtritootja PALL toodang. Filtrid peavad olema ummistusanduriga.
- 13) Tühjendusliinil peab olema võimalus ühendada kolmikkraanide abil ahelasse lisafilter.
- 14) Süsteemis kasutatavad kolmikkraanid peavad kõik olema elektrilised, välja arvatud kalibreerimiseks paigaldatud kraanid.
- 15) Hüdrosüsteem peab töötama kolme erineva õliga: Mobil Jet Oil 254 MIL-PRF-23699F-HTS, Mobil AGL, Turbonycoil 98 DEF STAN 91-98. Paak peab olema roostevabast terasest mahutavusega 50 liitrit.
- 16) Kõik komponendid peaval olema markeeritud.
- 17) Hüdrojaam peab olema võimalikult kompaktne.
- 18) Kõik hooldust/vahetamist vajavad komponendid (filtrid, paak, andurid, jahuti) peavad olema kergesti ligipääsetavad. Samuti peab olema hea ligipääs andurite kalibreerimispunktiledele.

6.2 Arvutused

Täite ja tsirkulatsioonipump peab olema tootlikusega kuni 40 l/min. Vajalik pumba pöördejõudlus:

$$q = \frac{Q \cdot 1000}{n} = \frac{40 \cdot 1000}{1500} = 26,7 \text{ cm}^3/\text{p} \quad (6.1)$$

Pumbaks on valitud välishambumisega Brevini hammasrataspump OT300P28D pöördejõudlusega 28 cm³/p. Võttes arvesse, et pumba pöördejõudlus on 28 cm³/p, on leitud pumba tegelik tootlikkus:

$$Q_{tegelik} = \frac{q \cdot n \cdot \eta_v}{1000} = \frac{28 \cdot 1500 \cdot 0,91}{1000} = 38,2 \text{ l/min} \quad (6.2)$$

Tegelik tootlikus ei täida ette antud nõuet 40 l/min. Arvestades, et elektrimootori pöördeid kontrollitakse sagedusmuunduriga, tuleb leida mootori pöörete arv minutis, mis on vajalik pumbast 40 l/min vooluhulga saamiseks:

$$n = \frac{Q \cdot 1000}{q \cdot \eta_v} = \frac{40 \cdot 1000}{28 \cdot 0,91} \approx 1570 \text{ p/min} \quad (6.3)$$

Kuna 40 l/min vajatakse lühiajaliselt vähestel katsetel, siis võib elektrimootorit sagedusmuunduriga vähesel määral üle koormata, et saada vajalik pöördekiirus 1570 p/min. Seetõttu jääb valikuks esialgselt valitud pump OT300P28D. Maksimaalseks tööõhuks on arvestatud 30 bar. Pumba vajalik võimsustarve:

$$P = \frac{Q_{tegelik} \cdot p}{600 \cdot \eta_m} = \frac{40 \cdot 30}{600 \cdot 0,9} = 2,22 \text{ kW} \quad (6.4)$$

Tsirkulatsioonis oleva õli taseme tõstmiseks on vajalik pump tootlikusega 15 l/min. Pumba vajalik pöördejõudlus:

$$q = \frac{Q \cdot 1000}{n} = \frac{15 \cdot 1000}{1500} = 10 \text{ cm}^3/\text{p} \quad (6.5)$$

Lähim valik on hammasrataspump OT200P11D pöördejõudlusega 11,2 cm³/p. Pumba tegelik tootlikkus:

$$Q_{tegelik} = \frac{q \cdot n \cdot \eta_v}{1000} = \frac{11,2 \cdot 1500 \cdot 0,91}{1000} = 15,3 \text{ l/min} \quad (6.6)$$

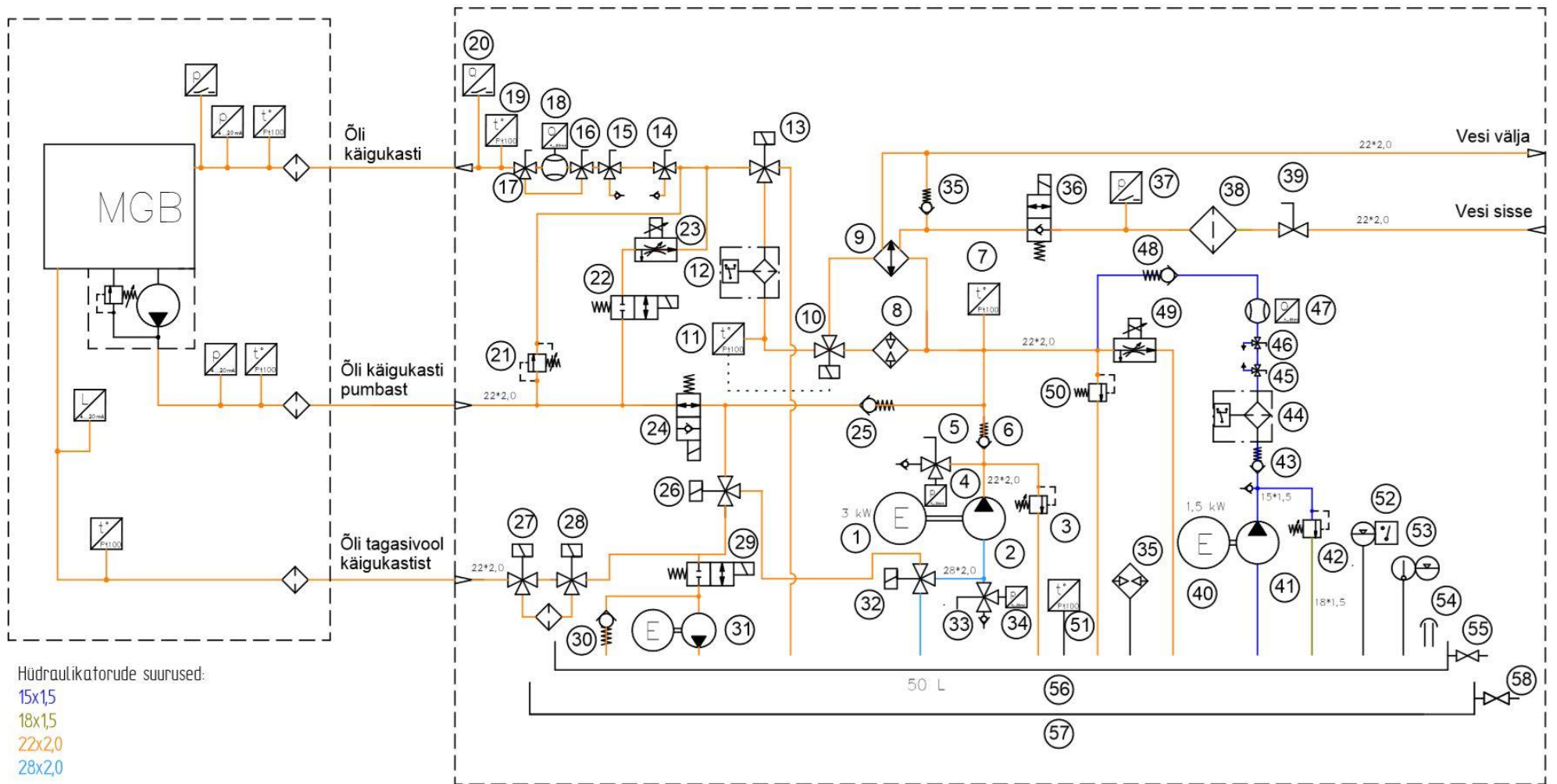
Pumba vajalik võimsustarve:

$$P = \frac{Q_{tegelik} * p}{600 * \eta_m} = \frac{15,3 * 30}{600 * 0,9} = 0,85 \text{ kW} \quad (6.7)$$

Torustiku valikul on kasutatud peatükis 3.2 välja toodud nomogrammi (sele 3.2). Valitud torude suurused on näidatud hüdro skeemil (sele 6.2).

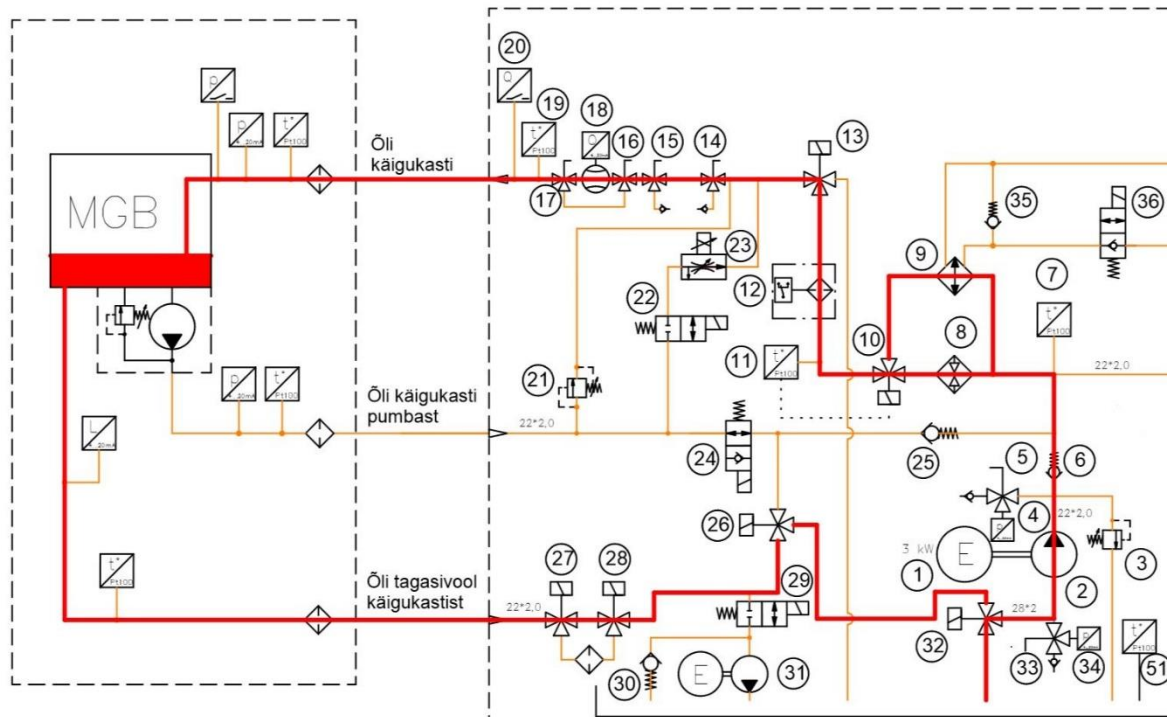
6.3 Hüdraulikaskeem ja tööpõhimõte

Peatükis 6.1 ette antud nõudmiste põhjal on loodud hüdro skeem (sele 6.2). Sarnaselt teiste hüdrojaamade skeemidega on ka antud skeemil paagile ette nähtud õli tasemeandur (52), õli temperatuuriandur (51) ja õhutus/täitekork (54). Paagi seinal on visuaalne näidik õli taseme ja temperatuuri jälgimiseks (53). Tühjendamiseks on paagi all kuulkraan (55). Paagi sisse on paigaldatud elektriline küttekeha (35) õli kuumutamiseks kuna mõnel testil on vaja õli enne käigukasti täitmist teatud temperatuurini kuumutada. Hüdrojaama all on õlivann (57) koos tühjenduskraaniga (58). Samasugune nagu teistel jaamadel on ka jahuti veeahel, kus vesi voolab läbi järgmiste komponentide: kuulkraan (39) → veefilter (38) → vooluhulga mõõtja anduriga (37) → normaalselt suletud magnetklapp (36) → jahuti (9). Paralleelselt jahutiga on ühendatud kaitseklapp veele (35).



Sele 6.2 Hüdroseem põhikäigukasti ülekannete määrimiseks.

Enne igat testimist tuleb käigukasti teatud tasemeni õliga täita (sele 6.3). Täitmine toimub hüdrojaama pumbaga (2). Tagasilöögiklapp (6) tagab, et õli ei valgus torustikust paaki tagasi kui pump ei tööta. Elektrooniline kolmikraan (13) võimaldab lülitamise vabajooksule ehk õli saab suunata tagasi hüdrojaama paaki.



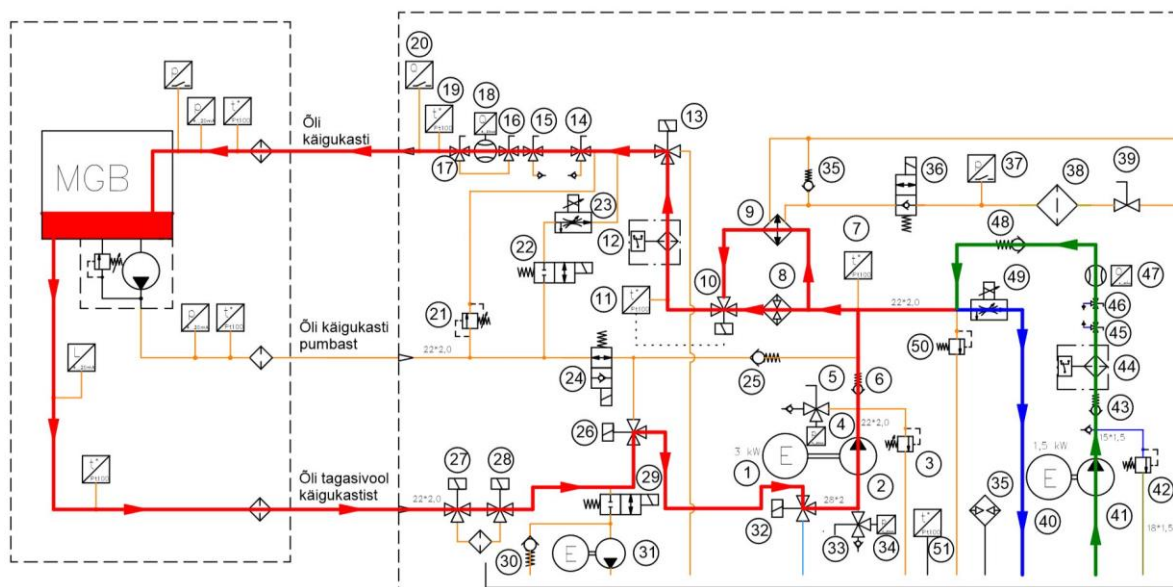
Sele 6.3 Käigukasti täitmine õliga. Punasega näidatud osa mis õliga täidetakse.

Kui käigukast on õliga vajaliku tasemeni täidetud, saab testimisi teostada kas käigukastis oleva pumbaga või välise pumbaga ehk hüdrojaamas oleva pumba kaudu. Välise pumbaga testimine on näidatud seel 6.4. Elektriline kolmikraan (32) lülitatakse ümber, et pump (4) ei võtaks õli enam hüdrojaama paagist vaid käigukasti õlimahutist. Tekib suletud ring ning õli hakkab tsirkuleerima. Vahepeal enne ja pärast pumpa on rõhuandurid (34 ja 4) rõhu kontrollimiseks. Andurite kalibreerimine toimub läbi kolmikraanide (33 ja 5). Edasi liigub õli jahutisse (9) ja mahutisse, kus on küttekeha (8) õli kuumutamiseks. Vajaliku temperatuuriga õli pannakse paika segamisklapis, mis vastavalt vajadusele laseb läbi voolata kas rohkem kuumat õli või jahedat õli. Segamisklapp saab info õli temperatuuri kohta temperatuurianduritest (7 ja 11). Seejärel läbib õli survefiltri (12), mis on väga oluline turbiin vooluhulgamõõtja (18) kaitsmiseks. Antud vooluhulgamõõtja on väga tundlik ja filtreerimata õli võib seda tugevalt kahjustada. Enne vooluhulgamõõtjat on kolmikraanidega (14 ja 15) tehtud võimalus ühendada ahelasse kalibreerimiseseade mõõtjale. Samuti on kolmikraanidega (16 ja 17) tehtud võimalus vooluhulgamõõtjast mööda minna, et vältida anduri kasutamist kui sellel puudub vajadus. Enne hüdrojaama väljundit on veel ahelas

temperatuuriandur (19) ja andur (20), mis lülitab pumba välja kui see õli liikumist torustikus ei tuvasta. See aitab vältida olukorda, kus käigukast jääks täielikult kuivale.

Käigukastist tagasivoolav õli läbib hüdrojaama tagasi jõudes kõigepealt elektroonilised kolmikkraanid (27 ja 28). Kliendi nõudmisel on tehtud võimalus kliendi enda filtri ühendamine ahelasse. Läbi elektrooniliste kolmikkraanide 26 ja 32 jõuab õli uuesti pumbani.

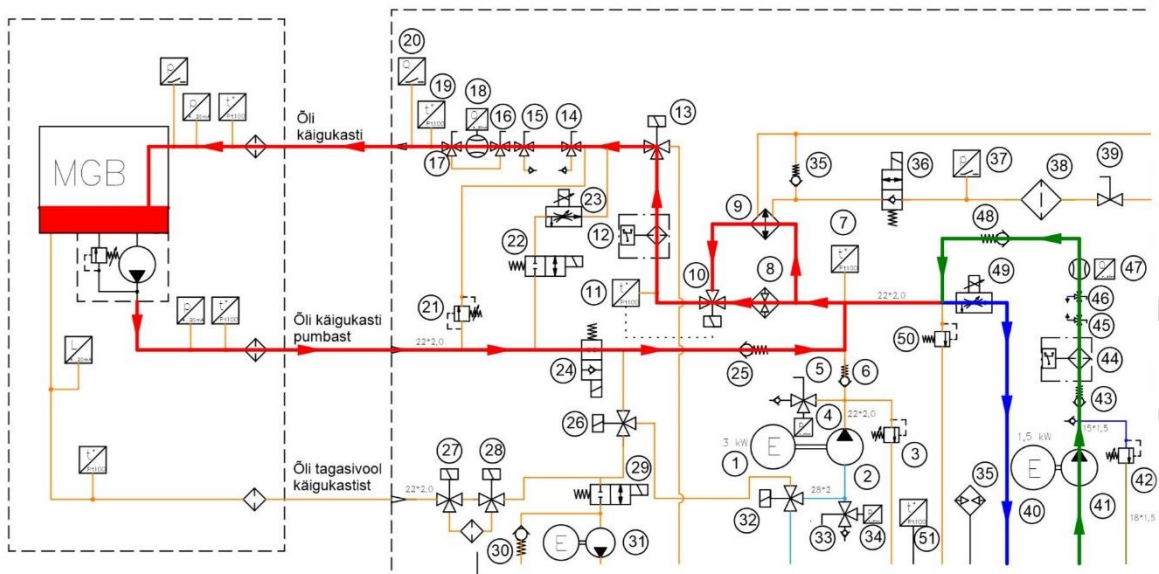
Ringluses oleva õli hulga reguleerimine toimub järgnevalt – õli vähendamiseks kasutatakse proportsionaalset vooluregulaatorit (49) ehk klapi avanemise ulatus sõltub elektrisignaali tugevusest. Mida rohkem klappi avatakse, seda rohkem voolab õli hüdrojaama paaki tagasi. Õli hulka suurendatakse eraldiseisva pumbaga (41). Antud ahelas on veel kaitseklapp (42), tagasilöögiklapp, mis ei lase õlil (43) torustikust välja valguda kui pump seisab, survefilter (44) ja vooluhulga lugeja (47), mis mõõdab täpse õli hulga mis ringlusesse juurde pumbati. Enne vooluhulgalugejat on kolmikkraanid (45 ja 46) seadme kalibreerimise jaoks. Tagasilöögiklapp (48) on vajalik et tsirkulatsioonis olev õli mööda seda ahelat paaki ei hakkaks pressima.



Sele 6.4 Õli tsirkuleerimine hüdrojaama pumbaga. Punasega näidatud õli liikumine. Rohelisega näidatud õli lisamine. Sinisega näidatud õli vähendamine süsteemist.

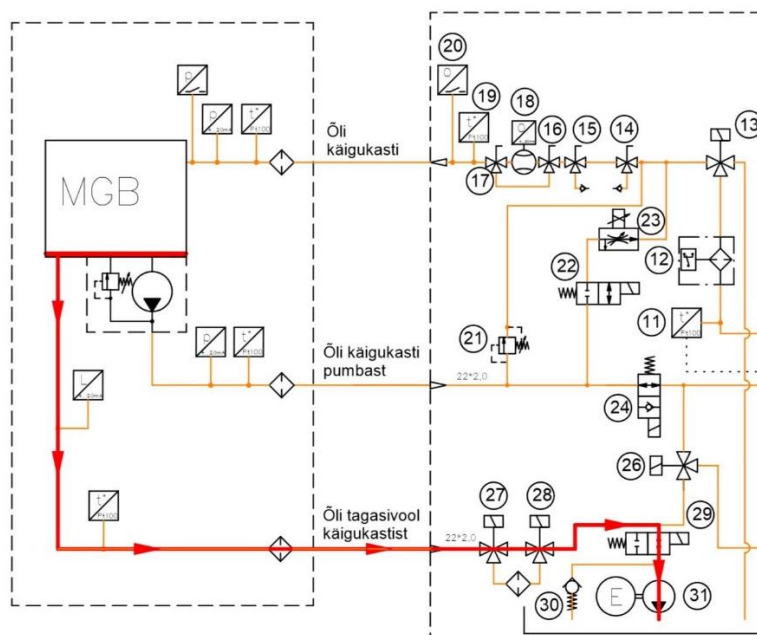
Juhul kui testimiseks kasutatakse käigukasti pumpa on hüdrojaamal selleks eraldi sisend kuhu antud pumbast tulev trass ühendatakse. Õli käigukasti pumbast läbib normaalselt avatud magnetklapi, tagasilöögiklapi ja sealt edasi liigub õli mööda sama ahelat, mis välise pumba kasutamise puhul. Samuti on õli koguse muutmise põhimõtte analoogne (sele 6.5). Osad testid näevad ette, kus käigukasti pumba koormust tuleb tõsta. Selle saavutamise on lahendatud järgmiselt – suletakse klapp 24 ning avatakse klapp 22 mille tagajärjel hakkab õli voolama läbi proportsionaalse vooluregulaatori. Mida rohkem

vooluregulaatorit sulgeda, seda suuremaks muutub rõhk liinis ja koormus pumbale kasvab. Et rõhk ei tõuseks üle pumba maksimaalse lubatud tööõhu on paralleelselt paigaldatud kaitseklapp (21).



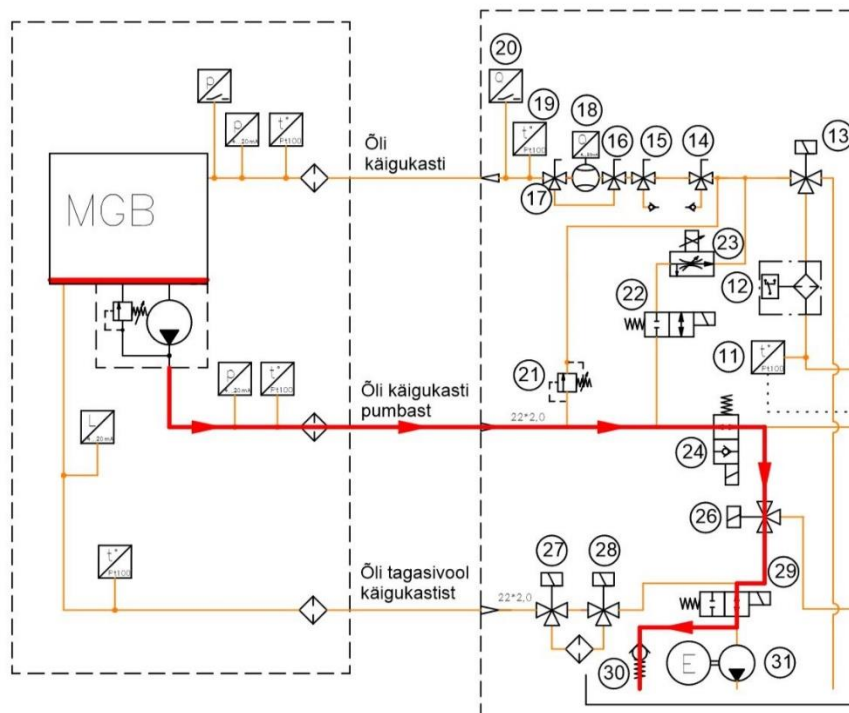
Sele 6.5 Õli tsirkuleerimine käigukasti küljes oleva pumbaga. Punasega näidatud õli liikumine. Rohelisega näidatud õli lisamine. Sinisega näidatud õli vähendamine süsteemist.

MGB tühjendamine õlist toimub impellerpumbaga (31). Teoreetiliselt saaks tühjendamist teostada sama pumbaga, mis käigukasti täidab, kuid tühjendamisel satub torustiku paratamatult ka õhku ning see võib pumba kahjustada. Impellerpump on õhu suhtes õlis tunduvalt vastupidavam. Tühjendamiseks suletakse kraan (26) ja avatakse magnetklapp (29), mis kaudu impellerpump imeb õli hüdrojaama paaki (sele 6.5).



Sele 6.6 Käigukasti tühjendamine impellerpumbaga.

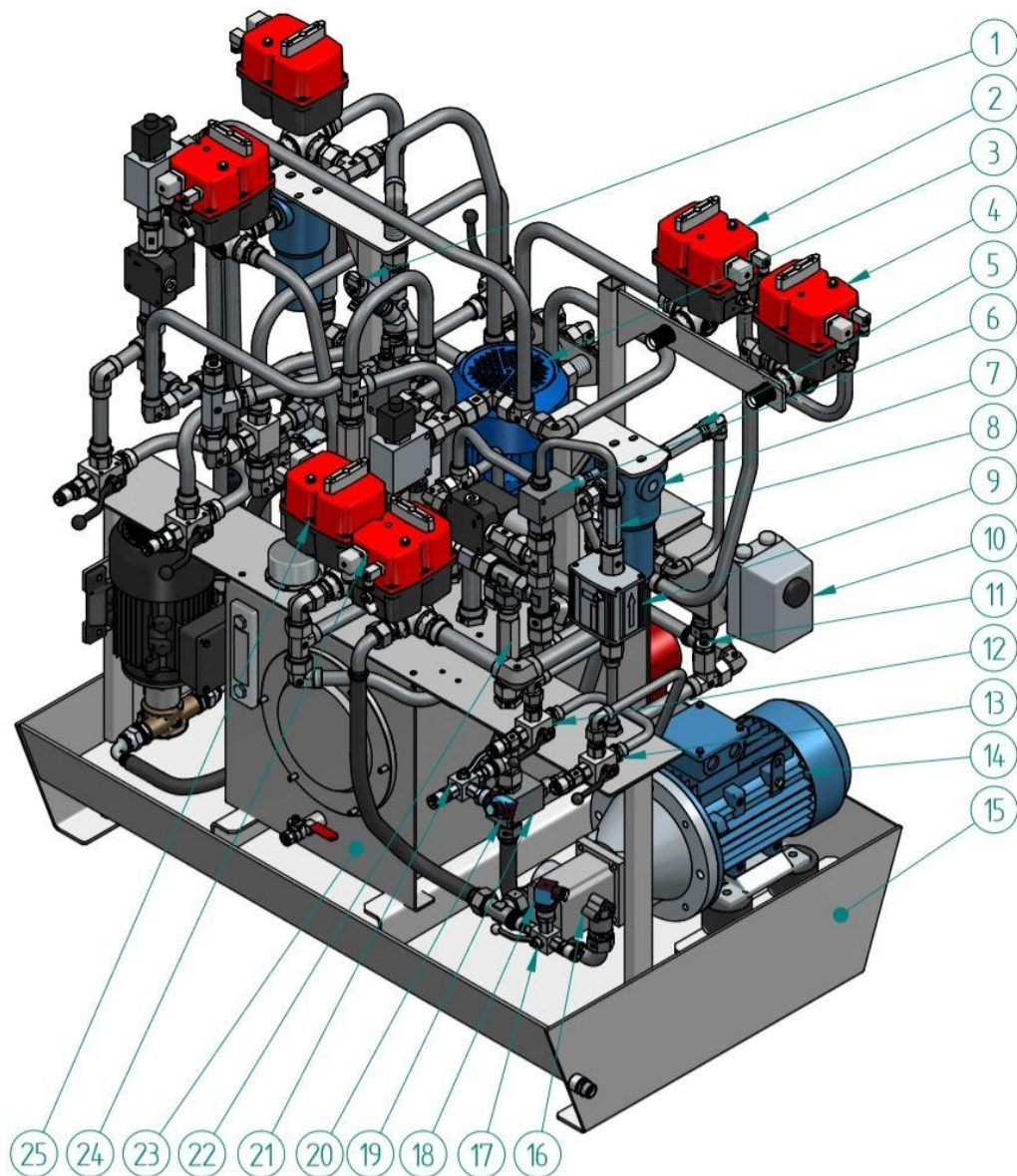
Siiski on mõnel testil vajalik, et tühjendamine toimuks käigukasti pumbaga. Selleks lülitatakse kolmikkraan (26) asendisse kus õli saab voolata läbi avatud magnetklapi (29) ja tagasilöögiklapi (30) hüdrojaama paaki (sele 6.6).



Sele 6.7 Käigukasti tühjendamine MGB pumbaga.

6.4 Hüdrosüsteemi konstruktsioon ja komponentide valik

Kuna antud süsteemis on üsna palju komponente, on suurimaks väljakutseks konstrueerimisel etteantud piiridesse mahtumine. Samas peab konstruktsioon jääma kasutajasõbralikuks ehk kasutaja jaoks vajalikud kalibreerimispunktid ja näidikud peavad olema hea ligipääsetavusega ning hästi nähtavad. Seega peaks need olema hüdrojaama esiküljel. Samuti ei tohi liiga keerukaks teha ligipääsu hooldust ja vahetamist vajavatele komponentidele. Osad komponendid antud hüdrojaamas peavad peavad aegajalt töötama õliga, mis on kuumutatud temperatuurini 120 °C. Seetõttu on äärmiselt oluline valida komponendid, mis on suutelised antud temperatuuril töötama. Osade komponentide puhul piisab, kui vahetada komponentides laialt kasutatud nitrilühendid kõrgemat temperatuuri taluvate Viton tihendite vastu. Loodud konstruktsioon on näidatud seel 6.8, 6.9 ja 6.10. Seled all on välja toodud valitud komponendid ja nende andmed.



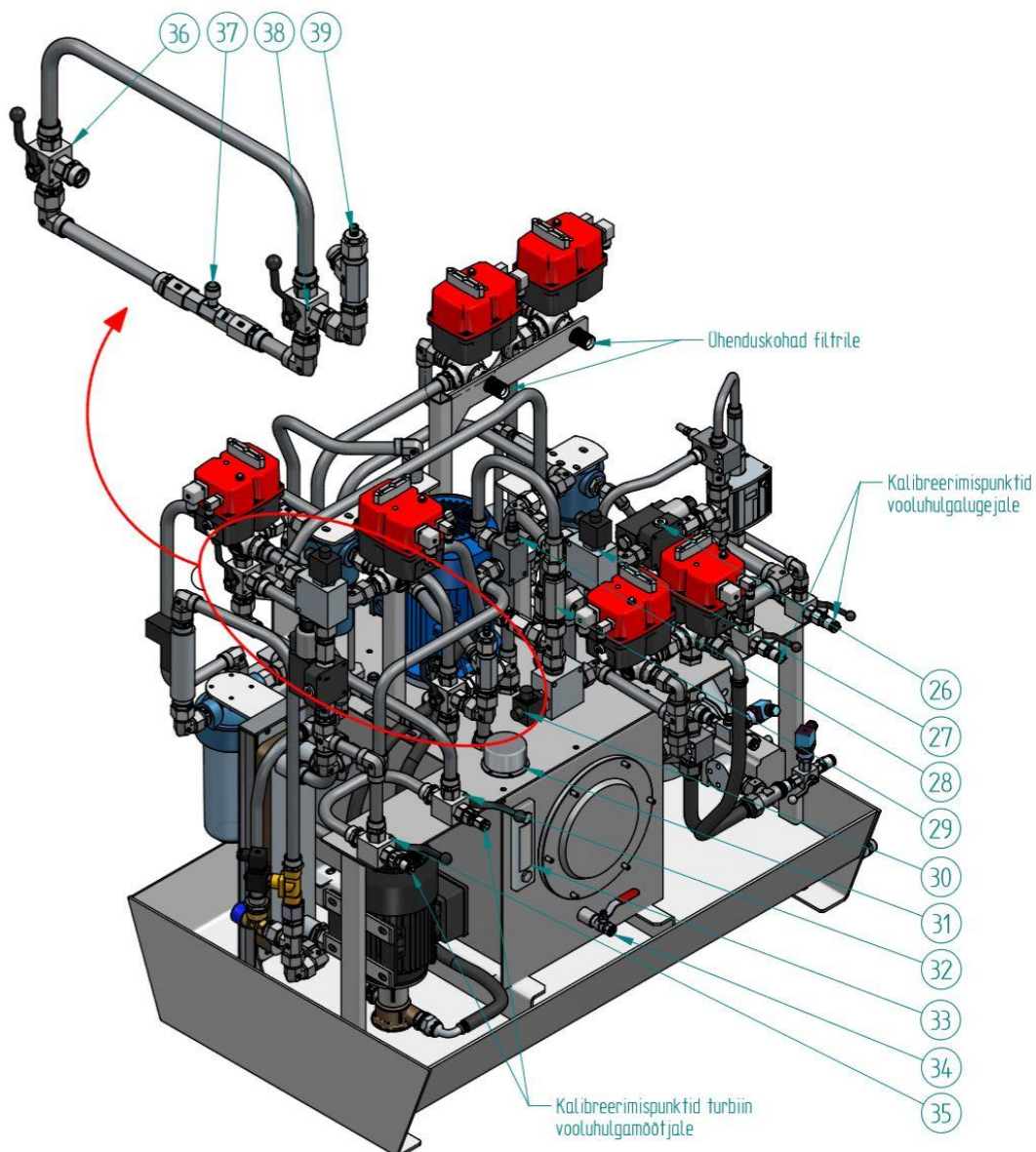
Sele 6.8 Hüdrojaama konstruktsiooni vaade eest paremast nurgast.

Hüdrojaama põhikomponendid on valitud järgmised (sulgudes on näidatud komponendi number hüdro skeemil):

- 1) Vooluhulgamõõtja IFM SBG 234 (20). Mõõdab vooluhulka 1-50 l/min, maksimaalne lubatud rõhk 40 bar. Väljundsignaal 4...20 mA. [48]
- 2) Elektriline kolmikkraan Landefeld KH 3/34 L ELI230 (27). L-skeemiga elektriline kolmikkraan optilise positsioonianduriga. Maksimaalne töö rõhk 63 bar. Sisendvooluks saab kasutada kas 24 – 240 V vahelduvvoolu või 24 – 135 V alalisvoolu. Ühendused G 3/4". [50]
- 3) Elektrimootori ja pumba koost. Pumbaks on valitud Brevini 2. seeria hammasrataspump OT200P11D (41) pöördejõudlusega 11,2 cm³/p. Maksimaalne lubatud töö rõhk on 250 bar [9]. Elektrimootoriks on valitud BEVI

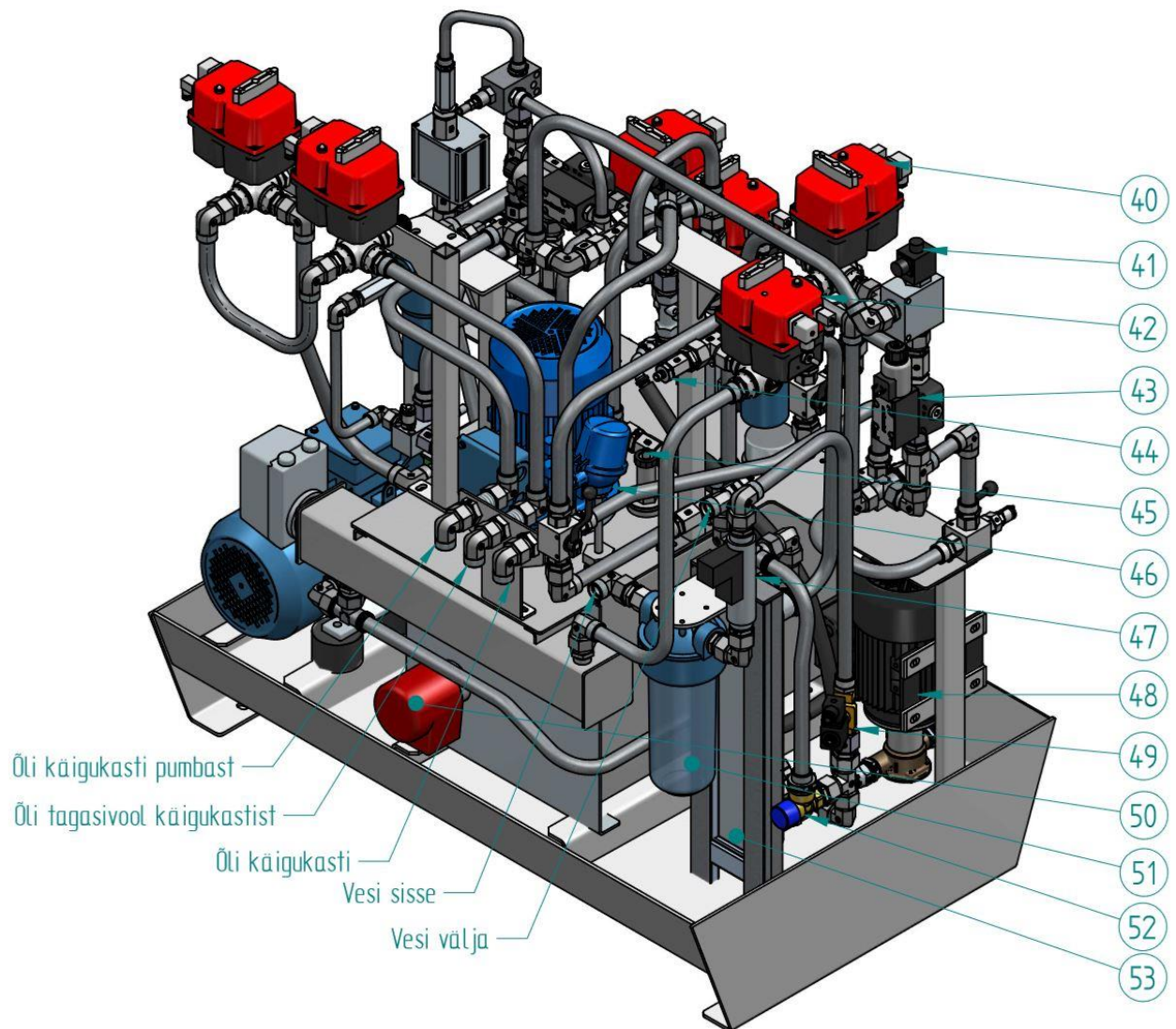
- 4A2 90 L-4 (40). Mootori võimsus on 1,5 kW ja pöörlemiskiirus 50 Hz juures 1450 p/min [8].
- 4) Elektriline kolmikkraan Landefeld KH 3/34 L ELI230 (28).
 - 5) Tagasilöögiklapp Marchesini V0610 (43). Maksimaalne vooluhulk 70 l/min. Maksimaalne töö rõhk 350 bar. Vedru 0,7 bar. Ühendused G 1/2". [10]
 - 6) Kaitseklapp Marchesini V0710 (50). Maksimaalne vooluhulk 70 l/min. Maksimaalne rõhk 350 bar. Reguleeritav vahemikus 10-180 bar. Ühendused G 1/2". [11]
 - 7) Survefilter PALL UH209HC1203ZGB (44) koos ummistusanduriga RC 861CZ 091 Z YM 24DC. Filtri elemendi tihedus 7 mikronit, ühendused korpusel G 3/4" [12].
 - 8) Tagasilöögiklapp Marchesini V0610 (48). Maksimaalne vooluhulk 70 l/min. Maksimaalne töö rõhk 350 bar. Vedru 0,7 bar. Ühendused G 1/2". [10]
 - 9) Vooluhulgalugeja IFM SU7000 (47). Loeb täpselt läbi lastud õli liitrite kogust. Samas mõõdab ka õli voolamiskiirust ja temperatuuri. Maksimaalne vooluhulk 60 l/min. Ühendused G 3/4". [51]
 - 10) Kütteelement Backer EO 31 (8) koos termostaadiga IMIT TR2 540160. Kütteelemendi võimsus on 2000 W. Küttekeha on paigaldatud eraldi mahutisse, kust õli läbi voolab ning toimub õli kuumutamine. Mahuti on valmistatud roostevabast 90x90x4 nelikanttorust, mille otsad on kinni keevitatud. Ühte otsa on keevitatud muhv (keere G 2"), kuhu küttekeha sisse keeratakse. Soojuskadu vähendamiseks on mahuti kaetud kivivillaga. Küttekeha paigalduspikkus on 620 mm, toitepinge 400V [33]. Termostaat on reguleeritav vahemikus 0...120 °C [52].
 - 11) Temperatuuriandur IFM TM4411 (7). Maksimaalne lubatud rõhk 250 bar. Mõõdab temperatuuri vahemikus -40...+150°C. Keere G 1/2" [37]. Valitud ja tarnitud tellija poolt.
 - 12) Kolmikkraan Marchesini V0842 (45). L-skeemiga kolmikkraan. Maksimaalne rõhk 500 bar. Ühendused G 3/8". [23]
 - 13) Kolmikkraan Marchesini V0842 (46).
 - 14) Elektrimootor BEVI 4A2 100 L2-4 (1). Mootori võimsus on 3 kW ja pöörlemiskiirus 50 Hz juures 1450 p/min. [8]
 - 15) Õlivann (57). Valmistatud eritellimusel. Materjaliks 5 mm lehtmetsall S235.
 - 16) Hammasrataspump Brevini OT300P28D (2). Pumba pöördejõudlus on 28 cm³/p. Maksimaalne töö rõhk 260 bar. [32]
 - 17) Kolmikkraan Marchesini V0832 (33). L-skeemiga kolmikkraan rõhuanduri lahti ühendamiseks süsteemist. Maksimaalne lubatud rõhk 500 bar. Ühendused G 1/4". [23]

- 18) Rõhuandur GE PTX5072 (34). Mõõdab rõhku vahemikus 0,7...700 bar. Väljundsignaal 4...20 mA [35]. Valitud ja tarnitud tellija poolt.
- 19) Kaitseklapp Marchesini V0710 (3).
- 20) Rõhuandur GE PTX5072 (4). Valitud ja tarnitud tellija poolt.
- 21) Kolmikkraan Marchesini V0832 (5). L-skeemiga kolmikkraan rõhuanduri lahti ühendamiseks süsteemist.
- 22) Tagasilöögiklapp Marchesini V0610 (6). Vedru 0,7 bar.
- 23) Paak mahutavusega 50 liitrit (56). Paak on valmistatud eritellimusena. Paagi materjaliks on roostevaba teras AISI 316.
- 24) Elektriline kolmikkraan Landefeld KH 3/34 L ELI230 (32).
- 25) Elektriline kolmikkraan Landefeld KH 3/34 L ELI230 (26).



Sele 6.9 Hüdrojaama konstruktsiooni vaade eest vasakust nurgast. Punasega on näidatud turbiin vooluhulgamõõtja asukoht ja sellele tehtud moodapääs hüdrojaamas.

- 26) Proportsionaalne vooluregulaator Brevini XQP3C3HDGS12 koos alusplaadiga. (49). Läbilastav vooluhulk sõltub klapile rakendatavast voolutugevusest. Maksimaalne vooluhulk 22 l/min. Maksimaalne töö rõhk 250 bar [53]. Alusplaadi ühendused G 3/8".
- 27) Magnetklapp Rexroth OD.15.32.17 (24). Normaalselt avatud magnetklapp. Maksimaalne vooluhulk 70 l/min. Maksimaalne töö rõhk 350 bar [54]. Mähis on valitud tööpingega 24VDC.
- 28) Kaitseklapp Marchesini V0710 (21).
- 29) Tagasilöögiklapp Marchesini V0620 (30). Maksimaalne vooluhulk 110 l/min. Maksimaalne töö rõhk 350 bar. Vedru 1 bar. Ühendused G 3/4". [10]
- 30) Magnetklapp Rexroth OD.15.31.17 (29). Normaalselt suletud magnetklapp. Maksimaalne vooluhulk 70 l/min. Maksimaalne töö rõhk 350 bar [55]. Mähis on valitud tööpingega 24VDC.
- 31) Täite/õhutuskork OMT TR-2 (54).
- 32) Kolmikkraan Marchesini V0852/FF (15). L-skeemiga, ühendused G 1/2", maksimaalne lubatud rõhk 500 bar. [23]
- 33) Visuaalne näidik õli taseme ja temperatuuri jälgimiseks OMT LG2T (53). Maksimaalne lubatud rõhk paagis 1 bar. Näitab temperatuuri vahemikus -20...+80°C. [14]
- 34) Kuulkraan Tiemme Raccorderie 2381R2804 (55). Kuulkraan paagi tühjendamiseks. Ühendused G 1/2". [16]
- 35) Kolmikkraan Marchesini V0852/FF (14).
- 36) Kolmikkraan Marchesini V0852/FF (16).
- 37) Turbiintüüpi vooluhulgamõõtja Flow Technology FFT6-8 (18). Maksimaalne vooluhulk 19 l/min. Ühendused G 1/2" [56]. Valitud ja tarnitud tellija poolt.
- 38) Kolmikkraan Marchesini V0852/FF (17).
- 39) Temperatuuriandur IFM TM4411 (19). Valitud ja tarnitud tellija poolt.



Sele 6.10 Hüdrojaama konstruktsiooni vaade tagant.

- 40) Elektriline kolmikkraan Landefeld KH 3/34 L ELI230 (13).
- 41) Magnetklapp Rexroth OD.15.05.18 (22). Normalselt suletud magnetklapp. Maksimaalne vooluhulk 40 l/min. Maksimaalne tööõhk 350 bar [24]. Mähis on valitud tööpingega 24VDC.
- 42) Elektriline kolmikkraan Landefeld KH 3/34 L ELI230 (10).
- 43) Proportsionaalne vooluregulaator Brevini XQP3C3LDGS12 koos alusplaadiga (23). Läbilastav vooluhulk sõltub klapi rakendatavast voolutugevusest. Maksimaalne vooluhulk 40 l/min. Maksimaalne tööõhk 250 bar [53]. Alusplaadi ühendused G 3/8".
- 44) Temperatuuriandur IFM TM4411 (11). Valitud ja tarnitud tellija poolt.
- 45) Õli tasemeandur WIKA RLT-1000 (52). Keeratakse paagi kaanale keevitatud muhvi sisse (keere G 1 1/2"). Väljundsignaal 4...20 mA, mõõtetäpsus 6 mm [15].

Anduri pikkus on valitud vastavalt paagi sügavusele. Antud juhul on paaki ulatuv pikkus 350 mm.

- 46) Temperatuuriandur WIKA TR10-C (51). Paagi kaanele keeratav andur (keere G 1"), mis mõõdab õli temperatuuri paagis vahemikus 0...+150°C. Väljundsignaal 4...20 mA [13]. Anduri pikkus on valitud vastavalt paagi sügavusele. Antud juhul on paaki ulatuv pikkus 350 mm.
- 47) Vooluhulgamõõtja WIKA FWS-DUG-45 G3/4 VA SPDT (37). Visuaalne vooluhulgamõõtja, millele on lisatud andur, mis saadab välja signaali kui vooluhulk on väiksem kui seatud väärtus. Mõõdab vooluhulka vahemikus 1 – 45 l/min. Maksimaalne töö rõhk 10 bar. Ühendused G 3/4". [17]
- 48) Impellerpump ZUWA Combistar 2000-A (31). 0,37 kW elektrimootoriga impellerpump maksimaalse tootlikusega 30 l/min. Toitepinge 230V. [49]
- 49) Magnetklapp Sirai L133B07 (36). Normaalselt suletud klapp veele. Maksimaalne töö rõhk 16 bar, maksimaalne vooluhulk 75 l/min, ühendused G 3/4". Toitepinge 24 VDC. [36]
- 50) Kütteelement Backer EO 30 (35) koos termostaadiga Relek TSDH 0720. Kütteelemendi võimsus on 1500 W. Küttekeha keeratakse paagi seinale keevitatud muhvi sisse (keere G 2"). Paigalduspikkus on 480 mm, toitepinge 400V [33]. Termostaat on reguleeritav vahemikus 10...90 °C [34].
- 51) Veefilter Atlas RA111T411 (38) koos elemendiga RA5010114. Maksimaalne lubatud rõhk 8 bar. Ühendused G 3/4". [20]
- 52) Kaitseklapp Flamco 27110 (35). Kaitseklapp veele. Vedru 6 bar. Ühendused G 3/4" ja G 1". [57]
- 53) Plaatjahuti FUNKE TPL 00-L-8-21 (9). Jahuti spetsifikatsioon ja parameetrid on näidatud lisas 3.

Antud hüdrojaama puhul on nõutud, et lõppkoostule (sele 6.10) teostatakse peale testimist torustiku läbipesu kuni saavutatakse NAS 1638 standardi järgi puhtusklass 7. Selle teostamiseks pannakse õli skeemil pumba nr. 2 abil torustikus tsirkuleerima. Õli filtreerimiseks saab kasutada skeemil filtrit nr. 12. Õli puhtuse mõõtmiseks on kasutada seade Parker CM 20, mis ühendatakse tsirkuleerivasse ahelasse ning mis mõõdab kahe minuti jooksul õlis sisalduvate osakeste suurust ja hulka. Testi lõpus annab seade teada, mis puhtusklassile õli vastab. Testimisaruanne on näidatud lisas 4.



Sele 6.11 Vaade valmis hüdrojaamale vasakult küljelt.

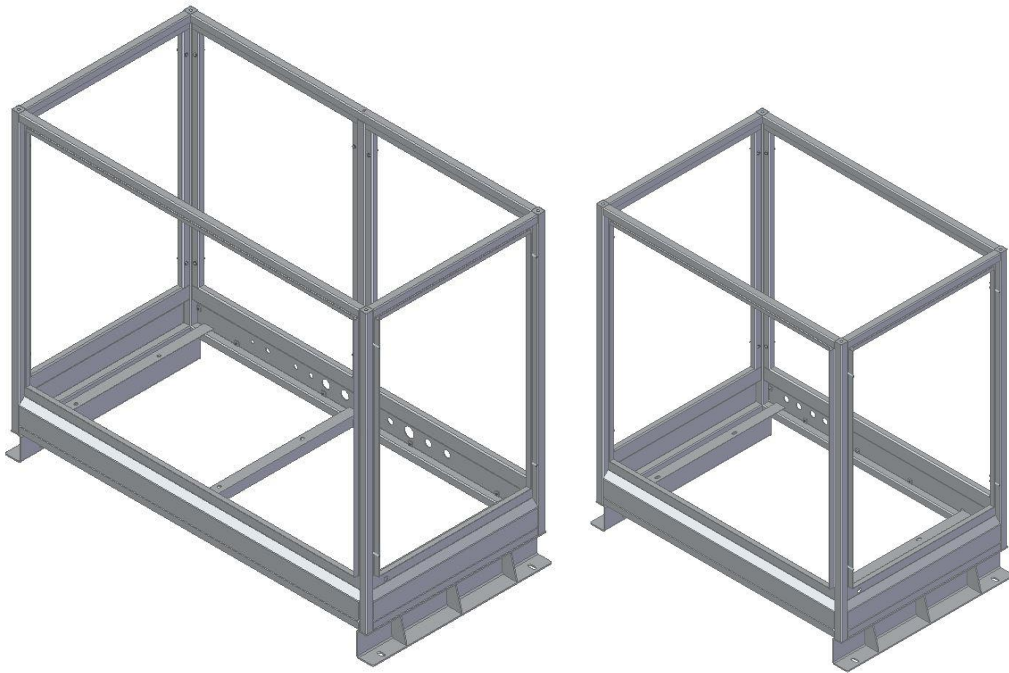
7. KORPUSED HÜDROJAAMADELE

Kõik hüdrojaamad peavad olema paigutatud nii-öelda korpustesse. Korpuste seinad peavad olema lihtsalt eemaldatavad, et pääseda ligi hüdrojaamade komponentidele. Eriti oluline on hea ligipääsetavus filtritele kuna need vajavad vahetamist kõige tihedamini. Kõik hüdraulilised väljundid ja sisendid peavad olema välja toodud korpuse seinale, et lihtsustada ühendamist trassidega. Korpused peavad olema lihtsalt transporditavad ning konstruktsioon peab olema võimalikult kompaktne ja kerge. Välja kostuvat hüdrojaamade müra tuleb võimalusel vähendada. Korpuste katusele on ette nähtud ventilatsioonitoru diameetriga 200 mm, et vältida ohtlikke hüdrõli aurude levimist ruumis.

7.1 Korpuste konstruktsioon

Kokku on vaja projekteerida kaks korpust. Hüdroüsteem rootori mastile tekkivate koormuste simuleerimiseks ja hüdroüsteem hüdropumba ning jahutusventilaatori simuleerimiseks paigutatakse tellija nõudmisel ühte korpusesse. Hüdroüsteemid katsestendi ülekannete määrimiseks ja peamise käigukasti määrimiseks on gabariititelt umbes sama suured ning seega võib neile samasuguse korpuse projekteerida. Ainult väljundite ja sisendite arv on majadel erinevad.

Mõlema projekteeritava korpuse konstruktsioon on sama. Põhiraam on tehtud 40x40x2 mm S355 nelikanttorust. Alumiste nelikanttorude vahele on keevitatud 50x50x5 mm S355 nurkraud, kuhu kinnitakse õlivanni jalad. Alumised painutatud seinaosad on valmistatud S355 3 mm lehtmetailist ja on raami vahele keevitatud, välja arvatud tagumise seina alumised osad kuna hiljem koostamise seisukohast on oluline, et tagumine alumine väljundite paneel oleks eemaldatav. Samuti on toruraami sisekülgedele keevitatud lehtmetailist painutatud detailid kuhu kinnitatakse seinad. Kõik raamile keevitatud detailid on olulised ka jäikuse suurendamisel. Raam toetub jalgadele, mis on painutatud 6 mm S355 lehtmetailist. Jalgadel on vajalikud avad põrandale kinnitamiseks. (Sele 7.1)



Sele 7.1 Suurema ja väiksema korpuse terasraamid ilma seinte ka katusteta.

Seinad, ukсед ja katus on valmistatud 3 mm S355 lehtmestallist. Kuna majas olevale hüdrojaamale tuleb eespoolt pidevalt ligi pääseda on eesmised ukсед pandud keevishingedele. Külje poolt ja tagant on vaja juurde pääseda harvemini ning seega on tagumised ja külgmised seinapaneelid kinnitatud DIN 315 M8 liblikmutritega mis tagab vajadusel siiski ligipääsu. Samuti on vajadusel võimalik eemaldada katus. Sellekse tuleb välja keerata tõsteaasad. Müra ja vibratsiooni summutamiseks on uste, katuse ja seinade kokkupuutekohtadele toruraamiga liimitud tihendid. Lisaks on seinadele ja katusele liimitud 20mm paksune mürasummutus matt. Korpust on võimalik transportida kahvelkäru või tõstukiga või kasutada tõsteaasid.



Sele 7.2 Korpuse transportimine kahvelkäruuga.

Kuna ventilatsiooni jaoks on ette nähtud katusele 200mm diameetriga ava, tuleb ava teha ka korpuse seinale kuna korpus on kõikjalt suletud. Selleks on ühele külgsuunalisele teatud õhuvõtuava suurusega 100x500 mm. Kõik väljundid ja sisendid hüdrojaama ühendamiseks on toodud korpuse tagumise seina alumisele osale ja tähistatud, et hilisem ühendamine trassidega oleks võimalikult lihtne ja loogiline (sele 7.3). Tagumise seina alumisse vasakule nurka on tehtud ava, mis on mõeldud kaablite läbiviiguks elektrimootoritele, küttekehadele ja anduritele.



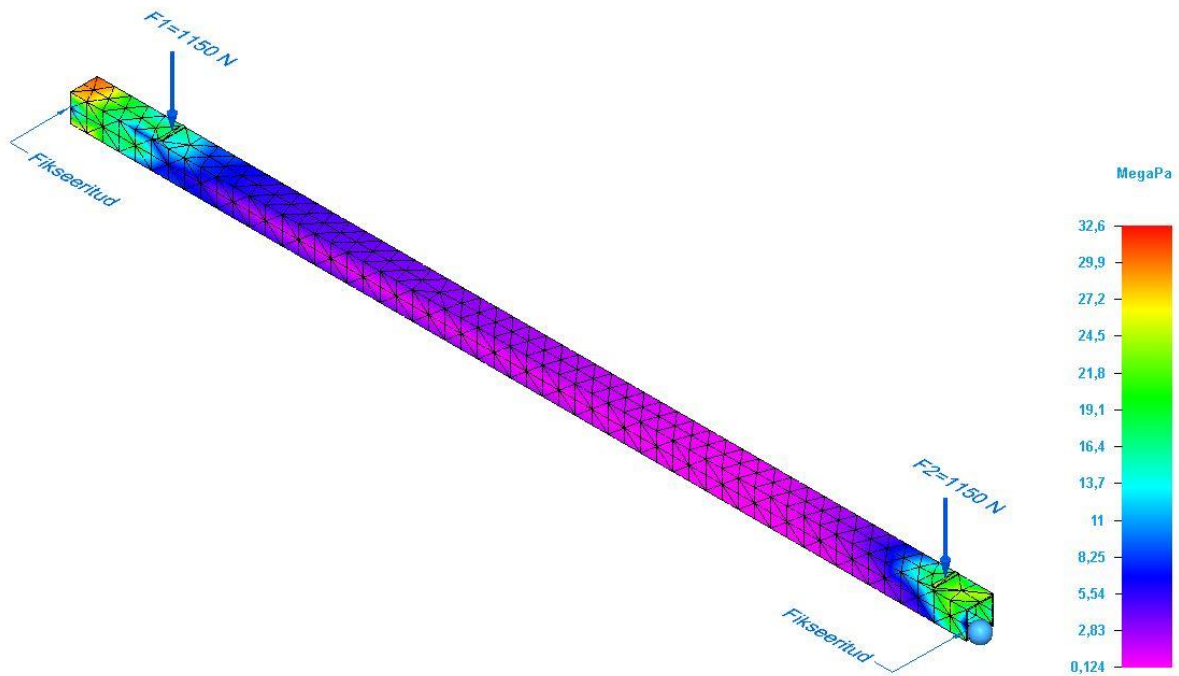
Sele 7.3 Väljundid ja sisendid maja tagumise seina alumises osas.

7.2 Tugevusarvutused

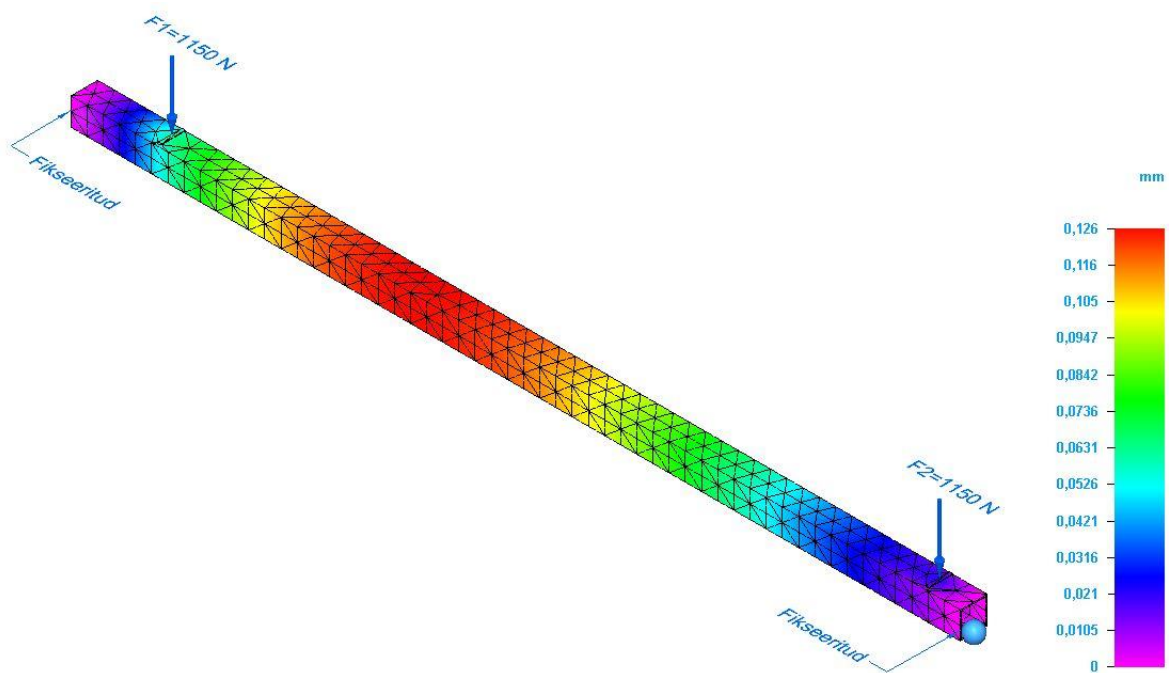
Korpuse konstruktsioonis on kaks kriitilist punkti, mis vajavad tugevusarvutusi. Esiteks tuleb kontrollida, kas raami kaks alumist nelikanttoru suudavad vastu võtta terve hüdrojaama koormuse koos õlivanniga. Teiseks tuleb kontrollida püstiste nelikanttorude vastupidavust tõmbele, juhul kui koostu tõstetakse tõsteaasadest. Samuti tuleb valida koormusele vastavad tõsteaasad.

Alustalade tugevuse kontrolliks on kasutatud SolidEdge programmis lõplike elementide meetodit. Kahe väiksema korpuse puhul on vaatluse alla võetud korpus kuhu paigutatakse katsestendi ülekannate määrimiseks mõeldud jaam kuna antud jaama mass on suurem. Kõik jaamad on kaalutud telfrile paigaldatud rippkaaluga ehk kõikide jaamade kaal on täpselt teada. Katsestendi ülekannete määrimise hüdrojaama kaal koos alusvanni ja paagitäie õliga on 460 kg ehk ümmarguselt on arvestatud kogu koormuseks

4600 N, mis jagatakse kahe nelikanttoru vahele paigutatud kahele nurkrauale. Kummalegi nurkrauale langeb seega koormus 2300 N ning nelikanttorule ühenduskohtades nurkrauaga 1150 N. LEM simulatsiooni tulemused on näidatud sel 7.4 ja 7.5.

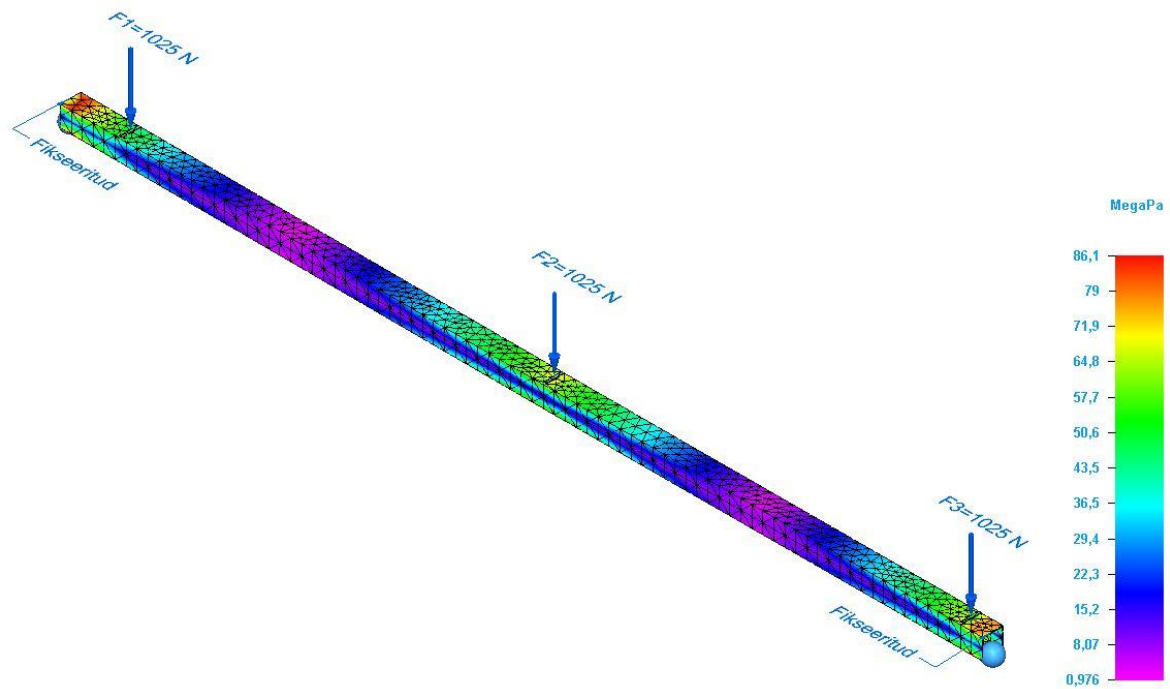


Sele 7.4 Painepinged väiksema korpuse alustalas. Nelikanttoru on mõlemast otsast kogu ristlõike ulatuses fikseeritud ning ühenduskohtades nurkraudadega mõjub talale koormus 1150 N. Tulemused näitavad, et maksimaalsed pinged nelikanttorudes on maksimaalselt 32,6 N/mm².

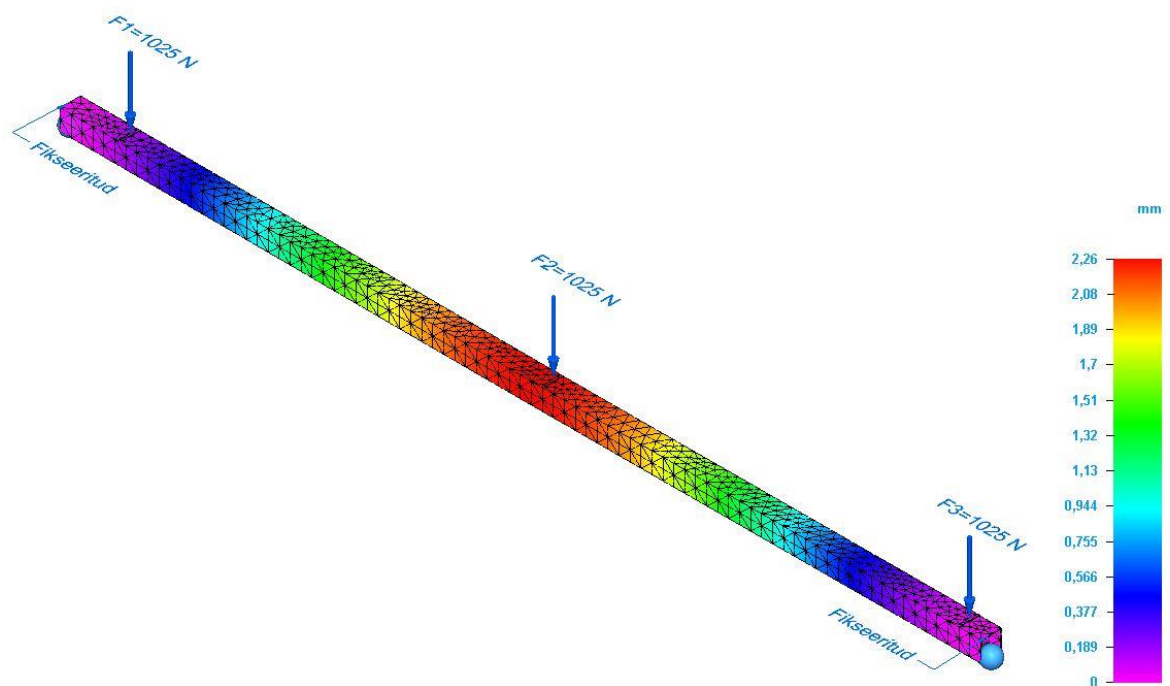


Sele 7.5 Läbipaine väiksema korpuse alustalas. Simulatsiooni tulemused näitavad maksimaalseks läbipaindeks nelikanttorus 0,126 mm.

Suuremas korpuses oleval õlivannil on kolm jalga ehk koormus langeb kolmele nelikanttorude vahele keevitatud nurkrauale. Hüdrojaama kogukaal koos õlivanni ja täis õlipaakidega on 615 kg ehk igale nurkrauale langevaks koormuseks on arvestatud ümmarguselt 2050 N. Nurkraudade ja nelikanttorude ühenduskohtades on seega koormus 1025 N. Simulatsiooni tulemused on näidatud seel 7.6 ja 7.7.

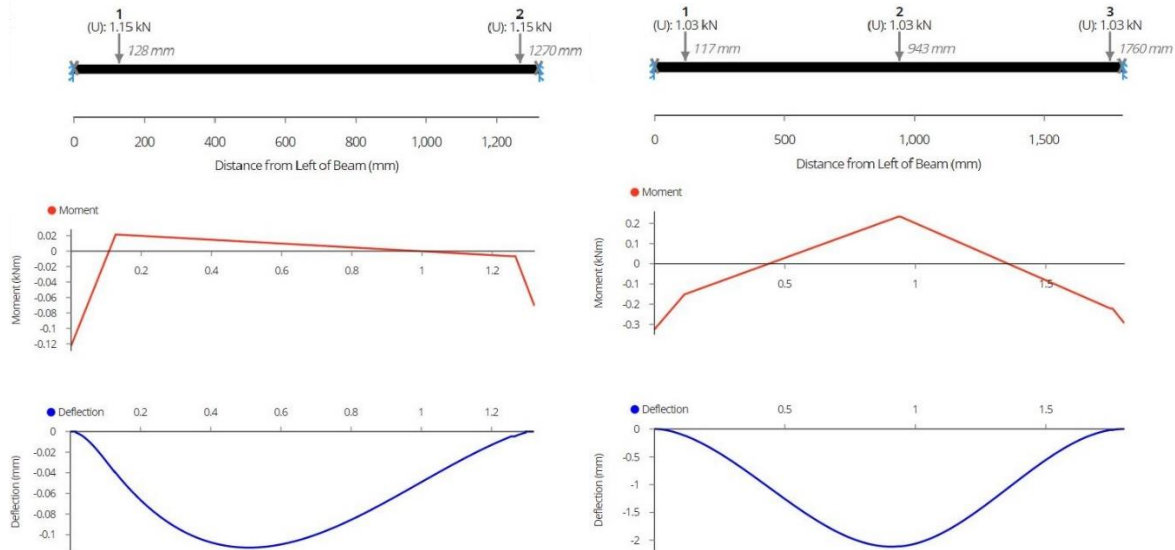


Sele 7.6. Paindepinged suurema korpuse alustalas. Nelikanttoru on mõlemast otsast kogu ristlõike ulatuses fikseeritud ning ühenduskohtades nurkraudadega mõjub talale koormus 1025 N. Tulemused näitavad, et maksimaalsed pinged nelikanttorudes on maksimaalselt 86,1 N/mm².



Sele 7.7 Läbipaine suurema korpuse alustalas. Simulatsiooni tulemused näitavad maksimaalseks läbipaindeks nelikanttorus 2,26 mm.

Simulatsiooni tulemused näitavad, et alustalad suudavad vastu võtta neile suunatud koormusi ja läbipained on lubatud piirides. Selleks, et olla kindel simulatsiooni tulemustes, tuleb teostada kontroll. Selleks on kasutatud tala kalkulaatorit [58] (sele 7.8) ja käsiarvutusi.



Sele 7.8 Tala kalkulaatori tulemused. Vasakul pool on väikse korpuse raami alustala pikkusega 1320 mm. Tala on mõlemast otsast kinnitatud ning talale mõjuvad kaks punktkoormust (kumbki 1150 N). Saadud maksimaalne läbipaine (*deflection*) 0,12 mm kinnitab LEM simulatsiooni tulemust. Maksimaalne paindemoment on graafikul 0,12 kNm. Paremal pool on suure korpuse alustala pikkusega 1800 mm. Tala on mõlemast otsast kinnitatud ning talale mõjuvad kolm punktkoormust (igaüks 1025 N). Graafikul näidatud maksimaalne läbipaine 2,12 mm on sarnane tulemus mis LEM simulatsioonis. Maksimaalne paindemoment talas on 0,33 kNm.

Tala kalkulaatorist saadud maksimaalsete paindemomentide põhjal tuleb leida talades maksimaalsed paindepinged. Paindepinge leitakse valemiga:

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W}, \quad (7.1) [59]$$

kus σ_b – paindepinge, N/mm²,
 M_b – paindemoment, Nmm,
 W – ristlõike telgvastupanumoment, mm³

$$W = \frac{B \cdot H^3 - w \cdot h^3}{6 \cdot H}, \quad (7.2) [59]$$

kus H – nelikanttoru kõrgus, mm,
 B – nelikanttoru laius, mm,
 w – nelikanttoru siselaius, mm
 h – nelikanttoru sisekõrgus, mm

$$W = \frac{40 \cdot 40^3 - 36 \cdot 36^3}{6 \cdot 40} = 3668,3 \text{ mm}^3$$

Võttes arvesse maksimaalsed paindemomendid ja nelikanttoru ristlõike telgvastupanumomenti on leitud maksimaalsed paindepinged:

$$\sigma_{b1} = \frac{120\,000}{3668,3} = 32,7 \text{ N/mm}^2,$$

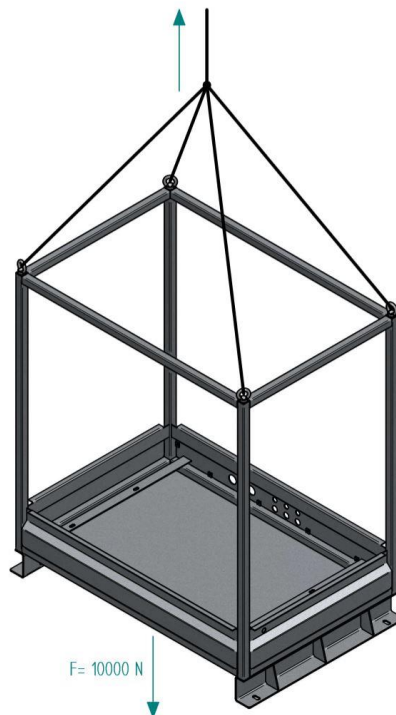
$$\sigma_{b2} = \frac{330\,000}{3668,3} = 90 \text{ N/mm}^2,$$

kus σ_{b1} – maksimaalne paindepinge väikese korpuse alustalas, N/mm²,

σ_{b2} – maksimaalne paindepinge suure korpuse alustalas, N/mm²

Käsiarvutuste tulemusel saadud paindepinged on sarnased, mis LEM simulatsioonis ehk simulatsiooni tulemusi võib pidada usaldusväärseks.

Viimaseks tuleb kontrollida püstiste nelikanttorude vastupidavust tõmbejõule, mis tekib korpuse tõstmisel tõsteasadest. Nelikanttorude ülemisse otsa on keevitatud 15 mm paksused plaadid, mille keskele on töödeldud keermestatud ava M16 tõsteaasa kinnitamiseks. Tõstes korpust tõsteasadest, võib arvestada et ülemine ots on fikseeritud ja püstistele nelikanttorudele hakkab mõjuma tõmbejõud. Kõige suurema massiga on suur korpus koos kahe hüdrojaamaga mille kogukaal on 1000 kg. Kuna korpust tõstetakse neljast punktist, siis on ühele nelikanttorule arvestatud tõmbejõud 2500 N (sele 7.9).



Sele 7.9 Korpuse tõstmisel tõsteasadest on üks ots kinnitatud ning teises otsas mõjub neljale nelikanttorule tõmbejõud 10 000 N ehk igale nelikanttorule 2500 N.

Et kontrollida kas 40x40x2 mm nelikanttoru peab vastu antud koormusele, tuleb leida antud profiili lubatud tõmbejõud. Lubatud tõmbejõud leitakse valemiga:

$$F_{lubatud} = \sigma_{t,lubatud} * S, \quad (7.3) [59]$$

kus $\sigma_{t,lubatud}$ – lubatud tõmbepinge, N,
 S – ristlõikepindala, mm²

Lubatud tõmbepinge leitakse valemiga:

$$\sigma_{t,lubatud} = \frac{R_e}{\nu}, \quad (7.4) [59]$$

kus R_e – voolepiir, N/mm²,
 ν – ohutustegur (terasel staatilise koormuse korral 1,2-1,8)

Nelikanttorul leitakse ristlõikepindala valemiga:

$$S = H * B - ((H - 2t) * (B - 2t)), \quad (7.5)$$

kus H – nelikanttoru kõrgus, mm,
 B – nelikanttoru laius, mm,
 t – seina paksus, mm

$$F_{lubatud} = \frac{355}{1,8} * (40 * 40 - ((40 - 2 * 2) * (40 - 2 * 2))) \approx 59\,949 \text{ N}$$

Saadud tulemus on kordades suurem kui tegelik mõjuv jõud 2500 N ehk antud konstruktsioonis on nelikanttoru purunemine korpuse tõstmisel tõsteaasadest välistatud. Valitud tõsteaasa tüüp on DIN580 M16, mille maksimaalne lubatud tõmbejõud 45 kraadi juures on 5000 N [60]. Seega on tõsteaasad kahekordse varuteguriga.

KOKKUVÕTE

Antud töö eesmärgiks oli projekteerida hüdraulikasüsteemid ühemootorilise helikopteri põhikäigukasti katsestendile. Üldeesmärk oli luua töökindlad süsteemid, mis sobivad kliendi projekteeritud katsestendile.

Esmalt läbi viidud turuanalüüs näitas, et tegemist on unikaalse projektiga, mistõttu puudus võrdlus teiste sarnaste projektidega. Seetõttu tuli projekteerimisel lähtuda eelkõige tellija seatud kriteeriumitest, hüdraulika põhitõdedest ja varasemast kogemusest hüdraulika vallas. Kokku on projekteeritud neli eraldiseisvat hüdraulikasüsteemi, mis kõik täidavad neile seatud ülesandeid. Esimene hüdraulikasüsteem on rootori mastile tekkivate koormuste simuleerimiseks. Süsteemi eesmärk on liigutada silindreid, mis simuleerivad lendamise ajal rootori poolt tekkivaid jõude rootori mastile. Teisena on käsitletud hüdraulikasüsteemi hüdropumba ja jahutusventilaatori simuleerimiseks. Projekteeritud süsteemi eesmärk on käigukasti õlipumba ja ventilaatori asemele paigaldatud hüdropumpade toitmine õliga ning pumba võllidele mõjuva koormuse muutmine. Kolmandana on käsitletud hüdraulikasüsteemi katsestendi ülekannete määrimiseks. Süsteemi ülesanne on määrada katsestendi kolme hammasratasülekannet ning õli jahutada ja puhastada. Neljas ehk viimane hüdraulikasüsteem on põhikäigukasti ülekannete määrimiseks. Süsteemi eesmärk on määrada käigukasti sees olevaid hammasülekandeid, võimaldades sealhulgas muuta õli hulka ja temperatuuri süsteemis.

Iga hüdraulikasüsteemi projekteerimine on lahti seletatud samal põhimõttel. Esmalt on kirjeldatud probleemi olemus ehk miks on antud hüdroosüsteemi vaja ning milliseid funktsioone see täitma peab. Teiseks on välja toodud tellija nõuded süsteemile. Kolmandana on tehtud vajalikud arvutused komponentide valikuks. Seejärel on loodud hüdrooskeem ja lahti seletatud skeemi tööpõhimõtte. Viimasena on tehtud komponentide valik ja loodud konstruktsioon.

Eraldi peatükk lõputöö lõpus käsitleb hüdrojaamade korpuseid. Kirjeldatud on korpuste funktsioon ja konstruktsioon ning teostatud vajalikud arvutused.

Kokkuvõttes võib tehtud tööd pidada edukaks kuna projekti põhjal on süsteemid realselt valmis ehitatud ning ühendatud kliendi katsestendiga. Loodud süsteemide töökindlus selgub nende pikemaajase kasutamise käigus. Kuna tegemist on mõnel määral prototüüpidega, siis võib juhtuda, et tulevikus võivad süsteemid vajada täiustamist.

SUMMARY

The aim of this thesis was to design the hydraulic systems for light single engine helicopter main gearbox testbench. The general objective was to achieve highly reliable systems, suitable for providing services for the test rig developed by the customer.

It turned out to be a unique project as no similar projects were found during the market analysis performed at the beginning of the project. Therefore the design had to be based primarily on the requirements set by the customer, on the principles of hydraulics and on the previous experience in the field of hydraulics. In total, four separate hydraulic systems have been designed to perform the operations assigned to them. The first hydraulic system is for simulating the loads on the rotor mast. The purpose of the system is to actuate the cylinders, which simulate the forces generated during flight by the rotor to the rotor mast. The second hydraulic system is for simulating hydraulic pump and cooling fan attached to the main gearbox. The purpose of the designed system is to supply the oil to the hydraulic pumps that are installed instead of the oil pump and cooling fan with possibility to change the load on the pump shafts. The third hydraulic system is for lubricating the testbench gearboxes. The aim of the system is to lubricate three gear transmissions in the testbench and to cool and clean the oil. The final hydraulic system is for lubricating the main gearbox. The purpose of the system is to lubricate the gear transmissions inside the gearbox. The system also allows to change the oil level and oil temperature.

The design of each hydraulic system is explained on the same principle. At first, the nature of the problem is explained, for example why a given hydraulic system is needed and what functions it must perform. Secondly, the customer requirements for the systems are listed. Then the necessary calculations have been made for the selection of the components. Next the hydraulic diagram is created and the working principle of the diagram is explained. Finally, the components are selected and the construction is developed.

There is a separate chapter for the hydraulic units housings. In this chapter, the function and construction of the housings are explained and the necessary calculations are performed.

In conclusion, the project can be considered successful as the systems were built according to the project and were finally attached to the customer's test rig. The

reliability of the systems will turn out during the long-term use. As the systems can be considered prototypes, it is possible that some modifications must be done in the future.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] A. Baranovskii, „Single purpose test stand for LSH MGB, technical specification, hydraulic part,” 2019.
- [2] Baltflex, „Avaleht,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.baltflex.ee/et/>. [Kasutatud 1 Veebruar 2021].
- [3] Aviatest, „About Us,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.aviatest.lv/en/site/info>. [Kasutatud 1 Veebruar 2021].
- [4] BSCAGear, „TEST BENCH FOR HELICOPTER TRANSMISSION GEARBOX, 57,500NM,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.bcsagear.fr/de/completest-test-bench-for-helicopter-transmission-gearboxes-57500nm/>. [Kasutatud 3 Veebruar 2021].
- [5] R. Soots, Hüdraliika ja hüdroseadmed, Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkool, 2009.
- [6] Brevini, „Group 2 pumps-european standard,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.brevinifluidpower.ie/custom/public/files/ot200-pump-european-standard.pdf>. [Kasutatud 20 Veebruar 2021].
- [7] Baltflex, „Vooluhulga nomogramm,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.baltflex.ee/et/abiteave/vooluhulga-nomogramm.html>. [Kasutatud 12 Veebruar 2021].
- [8] Baltflex, „Kalibreeritud terastorud,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.baltflex.ee/et/abiteave/kalibreeritud-terastorud.html>. [Kasutatud 12 Veebruar 2021].
- [9] Bevi, „Electric motors 4A2/3D2 IE2,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.bevi.se/download/trycksaker/BEVI_4A23D2.pdf. [Kasutatud 20 Veebruar 2021].
- [10] OleodinamicaMarchesini, „VU check valves,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.oleodinamicamarchesini.com/attachment/189/download/vu.pdf>. [Kasutatud 20 Veebruar 2021].
- [11] OleodinamicaMarchesini, „VMP relief valves,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.oleodinamicamarchesini.com/attachment/282/download/vmp.pdf>. [Kasutatud 20 Veebruar 2021].
- [12] PALL, „Pall Ultipleat SRT UH209 datasheet,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.pall.com/content/dam/pall/industrial-manufacturing/literature-library/non-gated/IMUH209EN.pdf>. [Kasutatud 20 Veebruar 2021].
- [13] WIKA, „Threaded resistance thermometer with protection tube. Model TR10-C,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.wika.com/media/20__datasheets/2temperatur_3/04widerstandsthermometer_2/ds_te6003_en_co.pdf. [Kasutatud 20 Veebruar 2021].
- [14] OMT, „Components and accessories,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://omtgroup.it/wp-content/uploads/catalogs/COMPONENTI-E-ACCESSORI_OMT_IT-EN.pdf. [Kasutatud 20 Veebruar 2021].
- [15] WIKA, „Level sensor for industrial applications, stainless steel version model RLT-1000,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.wika.com/media/20__datasheets/3fuellstand_3/04kontinuierliche_messung_mit_schwimmer_2/ds_lm5002_en_co.pdf. [Kasutatud 20 Veebruar 2021].
- [16] Onninen, „Sulgventiilid Tiemme,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.onninen.ee/tiemme-kuulkraan-messing-nikkel-1-2-s-v-pn30/p/ALM266>. [Kasutatud 20 Veebruar 2021].
- [17] WIKA, „Model FWS,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.wika.com/media/60__quick_order_sheets/english/qo_fws_en_co.pdf. [Kasutatud 20 Veebruar 2021].

- [18] Elmatik, „Magnetventiil L182B01-1/2 24DC,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.elmatik.ee/?sisu=T%F6%F6stusautomaatika&viide=as&kood=MAGV&ID=5304>. [Kasutatud 20 Veebruar 2021].
- [19] Flamco, „27100 - Prescor B 1/2 - 6.0 bar,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://flamcogroup.com/ex-en/catalog/products-for-potable-water/safety-valves/prescor-safety-valves-water-heaters/prescor-b/27100/groups/g+c+p+a+nr+view>. [Kasutatud 20 Veebruar 2021].
- [20] AtlasFiltri, „PLUS 3P SX,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.atlasfiltri.com/en/products/water-filter-housings/cold-water/plus-3p-sx>. [Kasutatud 20 Veebruar 2021].
- [21] PALL, „UT210 Series Tank Mounted Filters,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.pall.com/content/dam/pall/industrial-manufacturing/literature-library/non-gated/M%26EUT210EN.pdf?_ga=2.79973523.502957278.1619024651-693308466.1619024651. [Kasutatud 20 Veebruar 2021].
- [22] Rexroth, „Common cavities and tooling,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://apps.boschrexroth.com/products/compact-hydraulics/ch-catalog/pdf/RE18325-70.pdf>. [Kasutatud 17 Veebruar 2021].
- [23] OleodinamicaMarchesini, „RS 3, 3 ways ball valves,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.oleodinamicamarchesini.com/attachment/277/download/rs-3.pdf>. [Kasutatud 21 Veebruar 2021].
- [24] Rexroth, „Solenoid operated valves pilot operated poppet type, 2-way normally closed,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://apps.boschrexroth.com/products/compact-hydraulics/ch-catalog/pdf/D36_OD15X18YZ_RE18323-25.pdf. [Kasutatud 21 Veebruar 2021].
- [25] Rexroth, „Solenoid operated valves poppet 2-way normally open,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.airlinehyd.com/literature_catalog/Aged/broc/VEI-8A-2A-06-NA-S-NSS.pdf. [Kasutatud 21 Veebruar 2021].
- [26] WIKA, „Pressure transmitter for general industrial applications model A-10,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.wika.com/media/20__datasheets/1druck_3/03druckensoren_2/ds_pe8160_en_co.pdf. [Kasutatud 21 Veebruar 2021].
- [27] DICSA, „Manometer DN 63 Ausgang vertikal mit Glyzerin,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.dicsaes.com/dicsa/export/catalogo_img/doctecnica/AFCAG_DE.pdf. [Kasutatud 21 Veebruar 2021].
- [28] Brevini, „XP.3 Proportional pressure control valves,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.brevinifluidpower.ie/custom/public/files/xp.3.pdf>. [Kasutatud 21 Veebruar 2021].
- [29] Brevini, „AM.3.XMP Amplifier valves,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.brevinifluidpower.ie/custom/public/files/am.3.xmp.pdf>. [Kasutatud 21 Veebruar 2021].
- [30] Baltflex, „Toruliited,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.baltflex.ee/et/abiteave/toruliited.html>. [Kasutatud 15 Veebruar 2021].
- [31] Parker, „Hydraulic Motor/Pump Series F11/F12 Fixed Displacement,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.parker.com/Literature/PMDE/Catalogs/Fixed_Motors/F11_F12/MSG30-8249-UK.pdf. [Kasutatud 7 Märts 2021].
- [32] Brevini, „Group 3 pumps-european standard,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.brevinifluidpower.ie/custom/public/files/ot300-pump-european-standard.pdf>. [Kasutatud 15 Märts 2021].

- [33] EBTherm, „BACKER (tellitavate) kütteelementide hinnakiri,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.ebtherm.ee/sites/default/files/backer_tellitavate_kutteelem_entide_hinnakiri_01.01.2014.pdf. [Kasutatud 8 Märts 2021].
- [34] Relek, „Stavtermostat, 1-polig, Cotherm TSDH 0702, 10-90°C, 180mm,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.relek.se/en/product/cotherm-1-pol-stavtermostat-tdsh-0702-10-90c-180mm>. [Kasutatud 8 Märts 2021].
- [35] Druck, „UNIK 5000 Pressure sensing platform,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0797/9339/files/unik5000_datasheet_920-4831_-_bh.pdf?v=1586499023. [Kasutatud 7 Märts 2021].
- [36] Sirai, „Solenoid valve 2/2-NC L133,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.asco.store/download/sirai/l/L133.pdf>. [Kasutatud 10 Märts 2021].
- [37] IFM, „Temperature sensor with process connection TM4411,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.ifm.com/de/en/product/TM4411>. [Kasutatud 8 Märts 2021].
- [38] Flamco, „29005 - Prescor B1 - 6.0 bar,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://flamcogroup.com/ex-en/catalog/products-for-potable-water/safety-valves/prescor-safety-valves-water-heaters/prescor-b/29005/groups/g+c+p+a+nr+view>. [Kasutatud 8 Märts 2021].
- [39] Onninen, „Kuulkraan messing nikkel 1 1/4" S/S PN40 Onnline,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.onninen.ee/onnline-kuulkraan-messing-nikkel-1-1-4-s-s-pn40-onnline/p/ALR270>. [Kasutatud 8 Märts 2021].
- [40] Rexroth, „Proportional pressure relief valve, pilot operated, with inductive position transducer, Type DBEB10Z,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.boschrexroth.com/en/xc/myrexroth/document-library?p_p_id=20&p_p_lifecycle=0&p_p_mode=view&p_p_state=maximized&_20_struts_action=%2Fdocument_library%2Fview_file_entry&_20_redirect=.%2FfileEntryId=29655420. [Kasutatud 10 Märts 2021].
- [41] Luen, „Check Valves,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://omtgroup.it/wp-content/uploads/2020/08/LUEN_IT-EN_003.pdf. [Kasutatud 10 Märts 2021].
- [42] Rexroth, „Check valves. Poppet type with male-female threaded,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://dc-us.resource.bosch.com/media/us/products_13/product_groups_1/mobile_hydraulics_4/pdfs_6/3_sleeve_valves_2012-7.pdf. [Kasutatud 10 Märts 2021].
- [43] Luen, „Relief Valves,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://omtgroup.it/wp-content/uploads/2020/08/LUEN_IT-EN_002.pdf. [Kasutatud 10 Märts 2021].
- [44] Etra, „Marking tag round stainless,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.etra.fi/en/marking-tag-round-stainless-e65263301>. [Kasutatud 12 Märts 2021].
- [45] OleodinamicaMarchesini, „RS 2 - 2 way ball valves,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.oleodinamicamarchesini.com/attachment/245/download/rs-2.pdf>. [Kasutatud 20 Märts 2021].
- [46] SunHydraulics, „Model FDBA,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.sunhydraulics.com/model/FDBA>. [Kasutatud 20 Märts 2021].
- [47] Parker, „High Pressure Mechanical Flowmeter – Flowline #FM26222112,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://ph.parker.com/us/en/flowline-oil-and-water-calibratedflowmeters/fm26222112>. [Kasutatud 20 Märts 2021].
- [48] IFM, „Flow meter with integrated backflow prevention and display SGB234,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.ifm.com/de/en/product/SBG234>. [Kasutatud 20 Märts 2021].
- [49] Zuwa, „COMBISTAR 2000-A WITH MOTOR, DIRECTLY FLANGED,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.zuwa.de/en/products/pumps-impeller-pumps-impeller>

- pump-combistar-21/combistar-2000-a-with-motor-directly-flanged/. [Kasutatud 20 Märts 2021].
- [50] Landefeld, „Electrical. 3-way ball valve (L), G 3/4",“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.landefeld.com/artikel/en/electrical-3-way-ball-valve-l-g-3-4-24-bis-240-v-ac-24-bis-135-v-dc-/KH%203/34%20L%20ELI230%20ES>. [Kasutatud 4 Aprill 2021].
- [51] IFM, „Ultrasonic flow meter SU7000,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.ifm.com/de/en/product/SU7000>. [Kasutatud 6 Aprill 2021].
- [52] IMIT, „TR2 Capillary regulation thermostat,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.imit.it/en/product/capillary-regulation-thermostat/tr2>. [Kasutatud 10 Aprill 2021].
- [53] Brevini, „XQP.3 Open loop 2/3 way proportional pressure compensated flow regulators,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.brevinifluidpower.ie/custom/public/files/xqp.3.pdf>. [Kasutatud 10 Aprill 2021].
- [54] Rexroth, „Solenoid operated valves pilot operated poppet type 2-way normally open. Special cavity, 017-E,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://apps.boschrexroth.com/products/compact-hydraulics/ch-catalog/pdf/D36_OD15X17YZ00_RE18323-35.pdf. [Kasutatud 10 Aprill 2021].
- [55] Rexroth, „Solenoid operated valves pilot operated poppet type 2-way normally closed. Special cavity, 017-E,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://apps.boschrexroth.com/products/compact-hydraulics/ch-catalog/pdf/OD15X17YZ_RE18323-03.pdf. [Kasutatud 10 Aprill 2021].
- [56] FlowTechnology, „FT Series Turbine Flowmeters for Liquid,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://ftimeters.com/wp-content/uploads/2017/11/db_turbine_ft_series_liquid_english.pdf. [Kasutatud 10 Aprill 2021].
- [57] Flamco, „27110 - Prescor B 3/4 - 6.0 bar,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://flamcogroup.com/ex-en/catalog/products-for-potable-water/safety-valves/prescor-safety-valves-water-heaters/prescor-b/27110/groups/g+c+p+a+nr+view>. [Kasutatud 10 Aprill 2021].
- [58] ClearCalcs, „Free Beam Calculator,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://clearcalcs.com/freetools/beam-analysis/au>. [Kasutatud 15 Aprill 2021].
- [59] P. Kulu ja E. Hendre, Mehaanikainseneri käsiraamat, Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2015.
- [60] Certex, „Tõstesilm polt DIN 580,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.certex.ee/tootekataloog-e-pood/tosteabivahendid-ketid-komponendid/seeklid-ja-tostesilmad/tostesilmad/tostesilm-polt-din-580-p44641>. [Kasutatud 15 Aprill 2021].

LISAD

Lisa 1 Plaatjahuti TPL 00-K-4-12 spetsifikatsioon



BPHE-Designer V.1.05.1.1

Specification sheet

Project: P19-08854

Date: 10.01.2020

Contact: Jan-Hendrik Suhr

Phone: 05182/582-17

Plate Heat Exchanger, brazed

E-Mail: suhr@funke.de

Item:	3	Unit	TPL 00-K-4-12	
Technical data per HX			hot	cold
Medium			Oil ISO VG 32	Water
Mass flow	[kg/s]	0.0851	[kg/s]	0.0714
Volume flow	[l/min]	6.0000	[l/min]	4.2877
Inlet temperature	[°C]	50.00	[°C]	9.00
Outlet temperature	[°C]	41.15	[°C]	14.00

Physical properties		Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
Dyn. viscosity	[cP]	16.040	22.966	1.289	1.138
Density	[kg/m³]	847.469	853.588	1000.398	999.049
Specific heat capacity	[kJ/kgK]	2.014	1.974	4.202	4.197
Therm. conductivity	[W/mK]	0.138	0.138	0.617	0.620

PHE characteristic values					
Heat duty	[kW]	1.50			
Transfer area	[m²]	0.11			
Log./Effective temperature difference	[K]	34.04 / 34.04			
Heat transfer coeff. req./act.	[W/m²K]	420 / 543			
Fouling factor total	[m²K/W]	0.00054154			
Overdesign	[%]	29.41			
Pressure loss	[bar]	0.06		[bar]	0.07
Channel velocity	[m/s]	0.16		[m/s]	0.11
Connection velocity	[m/s]	0.20		[m/s]	0.14
Number of plates		4			

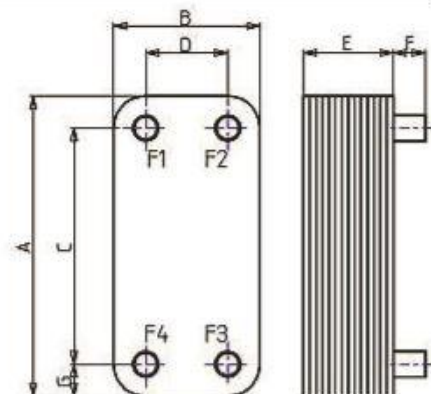
Construction					
Weight dry/wet	[kg]	ca. 3.2/3.6			
Volume	[dm³]	0.20		0.20	
max. Pressure	[bar]	36			
max. Temperature	[°C]	200			
Material	Solder	99.9% Cu			
	Plate material	1.4404 / AISI 316L			
Fastening	Extended end plate				
Connections	hot	F1 => F3, Threaded pipe, female, G 1"			
	cold	F4 => F2, Threaded pipe, female, G 1"			

Remark

--	--	--	--	--	--

Dimensions [appr. mm,inch]	mm	inch
A: Total height	274.0	10.8
B: Total width	111.0	4.4
C: Distance betw. connections, vertical	213.0	8.4
D: Distance betw. connections, horizontal	40.0	2.0
E: Total length	22.4	0.9
G: Middle of connections from ground	30.5	1.2

All dimensions without consideration of connections and fastenings
Attention: Dimension sketch without obligation!



Lisa 2 Plaatjahuti TPL 00-L-30-11 spetsifikatsioon



BPHE-Designer V.1.05.1.1

Specification sheet

Project: P19-08854

Date: 10.01.2020

Contact: Jan-Hendrik Suhr

Phone: 05182/582-17

E-Mail: suhr@funke.de

Plate Heat Exchanger, brazed

Item:	1	Unit	TPL 00-L-30-11		
Technical data per HX			hot		cold
Medium			Oil ISO VG 68		Water
Mass flow	[kg/s]		1.4335	[kg/s]	1.9051
Volume flow	[l/min]		100.0000	[l/min]	114.3376
Inlet temperature	[°C]		50.00	[°C]	9.00
Outlet temperature	[°C]		35.86	[°C]	14.00
Physical properties			Inlet	Outlet	Inlet
Dyn. viscosity	[cP]		31.944	63.801	1.289
Density	[kg/m³]		855.267	864.963	1000.398
Specific heat capacity	[kJ/kgK]		2.005	1.942	4.202
Therm. conductivity	[W/mK]		0.138	0.139	0.617

PHE characteristic values

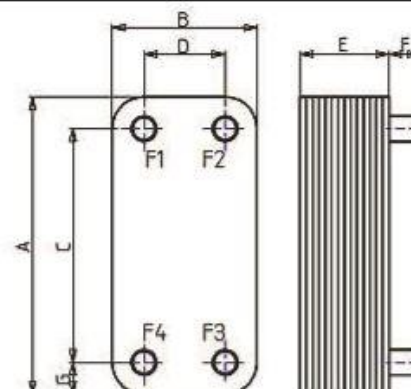
Heat duty	[kW]		40.00		
Transfer area	[m²]		2.03		
Log./Effective temperature difference	[K]		31.21 / 31.21		
Heat transfer coeff. req./act.	[W/m²K]		631 / 684		
Fouling factor total	[m²K/W]		0.00012156		
Overdesign	[%]		8.31		
Pressure loss	[bar]		0.58	[bar]	0.06
Channel velocity	[m/s]		0.35	[m/s]	0.40
Connection velocity	[m/s]		3.26	[m/s]	3.73
Number of plates			30		

Construction

Weight dry/wet	[kg]		ca. 13.7/18.0		
Volume	[dm³]		2.31		2.31
max. Pressure	[bar]		36		
max. Temperature	[°C]		200		
Material	Solder	99.9% Cu			
	Plate material	1.4404 / AISI 316L			
Fastening		Extended end plate			
Connections	hot	F1 => F3, Threaded pipe, female, G 1"			
	cold	F4 => F2, Threaded pipe, female, G 1"			

Remark

Dimensions [appr. mm,inch]	mm	inch
A: Total height	439.0	17.3
B: Total width	111.0	4.4
C: Distance betw. connections,vertical	378.0	14.9
D: Distance betw. connections,horizontal	10.0	2.0
E: Total length	126.4	5.0
G: Middle of connections from ground	30.5	1.2



All dimensions without consideration of connections and fastenings

Attention: Dimension sketch without obligation!

Lisa 3 Plaatjahuti TPL 00-L-8-21 spetsifikatsioon



BPHE-Designer V.1.05.1.1

Specification sheet

Project: P19-08854

Date: 10.01.2020

Contact: Jan-Hendrik Suhr

Phone: 05182/582-17

E-Mail: suhr@funke.de

Plate Heat Exchanger, brazed

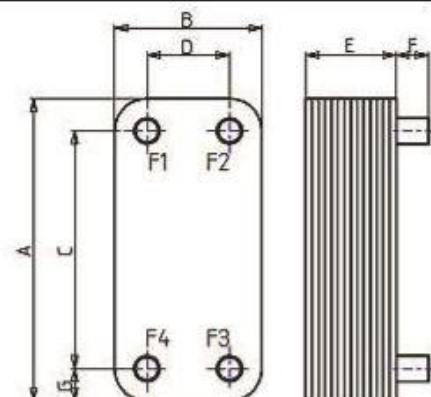
Item:	2	Unit	TPL 00-L-8-21		
Technical data per HX			hot		cold
Medium			Oil ISO VG 22		Water
Mass flow	[kg/s]	0.1826		[kg/s]	0.7144
Volume flow	[l/min]	13.0000		[l/min]	42.8766
Inlet temperature	[°C]	70.65		[°C]	9.00
Outlet temperature	[°C]	30.00		[°C]	14.00
Physical properties			Inlet	Outlet	Inlet
Dyn. viscosity	[cP]	6.860	30.042		1.289
Density	[kg/m³]	828.704	856.961		1000.398
Specific heat capacity	[kJ/kgK]	2.113	1.929		4.202
Therm. conductivity	[W/mK]	0.136	0.139		0.617
PHE characteristic values					
Heat duty	[kW]		15.00		
Transfer area	[m²]		0.49		
Log./Effective temperature difference	[K]		35.93 / 35.93		
Heat transfer coeff. req./act.	[W/m²K]		852 / 979		
Fouling factor total	[m²K/W]		0.00015195		
Overdesign	[%]		14.87		
Pressure loss	[bar]	0.48		[bar]	0.11
Channel velocity	[m/s]	0.17		[m/s]	0.56
Connection velocity	[m/s]	0.42		[m/s]	1.40
Number of plates			8		
Construction					
Weight dry/wet	[kg]		ca. 6.2/7.3		
Volume	[dm³]	0.62			0.62
max. Pressure	[bar]		36		
max. Temperature	[°C]		200		
Material	Solder	99.9% Cu			
	Plate material	1.4404 / AISI 316L			
Fastening		Extended end plate			
Connections	hot	F1 => F3, Threaded pipe, female, G 1"			
	cold	F4 => F2, Threaded pipe, female, G 1"			

Remark

Dimensions [appr. mm,inch]	mm	inch
A: Total height	439.0	17.3
B: Total width	111.0	4.4
C: Distance betw. connections,vertical	378.0	14.9
D: Distance betw. connections,horizontal	10.0	2.0
E: Total length	38.4	1.5
G: Middle of connections from ground	30.5	1.2

All dimensions without consideration of connections and fastenings

Attention: Dimension sketch without obligation!



Testing report

Date 31.11.2020

Customer: SIA AVIATEST LTD	Device: Hydraulic system for MGB lubrication	
	Type: Hydraulic unit	
Contact: Andrei Baranovskii		
	Device nr: BFL24032000358	
WORK DONE:		NOTES:
Flushing performed of the complete circuit		
Measuring oil cleanliness		Measured with particle monitor Parker LCM 20
NOTES:		
Oil cleanliness NAS1638 class 7 achieved.		
	Perfomed by: Aivar Väärtnõu	
DATE: 31.11.2020	Checked by: Martin Korb	

GRAAFILINE OSA