

**TAL  
TECH**

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

**IMAVERE SAEVESKI PALGISORTEERI  
HÜDRAULIKA SÜSTEEMI OPTIMEERIMINE JA  
MODERNISEERIMINE**

**OPTIMIZATION AND MODERNIZATION OF IMAVERE  
SAWMILL`S LOG SORTING LINE`S HYDRAULIC SYSTEM**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Joel Õispuu

Üliõpilaskood: 207658MATM

Juhendaja: Maarjus Kirs, teadur

# 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.

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

Autor: Joel Õispuu

(allkirjastatud digitaalselt)

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

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

Juhendaja: Maarjus Kirs

(allkirjastatud digitaalselt)

Kaitsmisele lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Joel Õispuu (sünnikuupäev: 16.02.1998)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Imavere saeveski palgisorteeeri hüdraulika süsteemi optimeerimine ja moderniseerimine, mille juhendaja on Maarjus Kirs,

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

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

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

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

---

(allkirjastatud digitaalselt)

\_\_\_\_\_ (kuupäev)

---

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

# TalTech, Mehaanika ja tööstustehnika instituut

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Joel Õispuu, 207658MATM

Õppekava, peeriala: MATM02/18 - Tootearendus ja tootmistehnika, 1 - tootearendus

**Juhendaja(d):** teadur Maarjus Kirs, 6203256

**Konsultant:** Enno Niit, vanemmehaanik, enno.niit@storaenso.com

### Lõputöö teema:

Imavere saeveski palgisorteereri hüdraulika süsteemi optimeerimine ja moderniseerimine  
Optimization and modernization of Imavere sawmill`s log sorting line`s hydraulic system

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. kõrvaldada olemasoleva süsteemi vead;
2. projekteerida uus hüdraulikakeskus;
3. parendada süsteemi jälgitavust.

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Ülesande püstitus, tutvumine esialgse süsteemi ja selle vigadega	06.02.2022
2.	Probleemide analüüsimine ja lahenduste leidmine	27.02.2022
3.	Hüdraulikakeskuse CAD mudel, hüdraulika- ja elektriskeemid	27.03.2022
4.	Hüdraulika keskuse valmimine	17.04.2022
5.	Töötav PLC programm	24.04.2022
6.	Hüdraulikakeskuse paigaldamine	28.04.2022
7.	Diagnostika programmi häälestamine	08.05.2022

**Töö keel:** eesti keel

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** "23" mai 2022a

**Üliõpilane:** Joel Õispuu (allkirjastatud digitaalselt) ".....".....20.....a

**Juhendaja:** Maarjus Kirs (allkirjastatud digitaalselt) ".....".....20.....a

**Konsultant:** Enno Niit (allkirjastatud digitaalselt) ".....".....20.....a

**Programmijuht:** Martin Eerme (allkirjastatud digitaalselt) ".....".....20.....a

*Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel*

# SISUKORD

EESSÕNA.....	7
1. SISSEJUHATUS.....	8
2. ÕLI ÜLEKUUMENEMINE SUVEL.....	10
2.1 Õli optimaalse temperatuuri leidmine .....	10
2.2 Õlitemperatuuri vähendamine .....	12
2.2.1 Õli jahutuse radiaatori lisamine .....	12
2.2.2 Ruumi temperatuuri vähendamine.....	13
2.2.3 Hüdromootori ja hüdropumba väljavahetamine .....	19
2.3 Liini töötamise kulude vähenemine .....	20
2.3.1 Algse lahenduse võimsustarve .....	20
2.3.2 Uue lahenduse energiatarve .....	21
2.3.3 Energia kokkuhoid.....	23
3. PALKIDE MAHA MITTE LÖÖMINE .....	24
3.1 Palgisorteeri tasku käppade tööpõhimõte .....	24
3.2 Probleemi täpsustus .....	25
3.3 Lahendused probleemile .....	25
3.3.1 Käpa löögiimpulsi muutmine .....	25
3.3.2 Õli torustiku suurendamine rõhulangu vähendamiseks .....	26
3.3.3 Väiksema viskoossusega talvise õli kasutamine.....	29
3.3.4 Hüdroakude lisamine .....	31
4. HÜDROKESKUSE PROJEKTEERIMINE .....	37
4.1 Hüdrokeskuse riistvara .....	38
4.1.1 Keskmäärimise mahuti.....	38
4.1.2 Suveõli mahuti.....	39
4.1.3 Talveõli mahuti .....	41
4.1.4 Mahutite lisa varustus.....	41
4.1.5 Hüdrokeskuse raam.....	43
4.1.6 Hüdraulika komponentide valik .....	43
4.2 Hüdrokeskuse automaatikaseadmed .....	46
4.2.1 Kontrolleri valik.....	46
4.2.2 PLC lisamoodulid .....	47
4.2.3 Elektrikilp.....	51
4.3 Hüdrokeskuse PLC programmeerimine.....	53
4.3.1 Sensorite ja andurite lugemine ning teisendamine .....	53
4.3.2 Hüdrokeskuse rõhu maha laskmine .....	54
4.3.3 Hüdraulika diagnostika programm .....	55

4.3.4 Hüdraulika akude diagnostika .....	55
4.3.5 Hüdropumba tootlikkuse kontrollimine .....	58
4.3.6 Viide diagnostika etappide vahel .....	58
4.3.7 Hüdraulika süsteemi lekete kontrollimine .....	59
4.3.8 Keskmäärimise programm .....	59
4.4 Andmete salvestamine .....	60
4.5 Hüdraulika keskuse installeerimine .....	61
KOKKUVÕTE .....	63
SUMMARY .....	65
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	67
GRAAFILINE OSA .....	70
Palgisorteeri hüdrokeskuse joonised	
Palgisorteeri hüdraulikaskeem	
Palgisorteeri hüdrokeskuse elektriskeemid	

## **EESSÕNA**

Käesoleva lõputöö teema kujunes välja koostöös Stora Enso Eesti AS-iga. Lõputööks valitud projekt sai ühtlasi ka autori esimeseks projektiks Imavere saeveskis tööle asumisel. Projekti läbiviimiseks koguti algandmeid nii saeveski palgisorteerist, kui ka igapäevasel liini hooldavatelt mehaanikutelt.

Töö raames leiti lahendus kahele suuremale palgisorteereri hüdraulika süsteemiga seotud probleemile, mis aeglustasid ja raskendasid palgisorteereri ning seda teenindavate töstukijuhtide tööd. Lisaks projekteeriti palgisorteereri uus hüdraulika keskus, mille abil muudeti hüdraulika süsteemi töö paremini jälgitavaks. See võimaldab vähendada ja lühendada ootamatute seisakute arvu, parendades ennetava hoolduse võimalusi.

Töö autor avaldab suurt tänu järgnevatele inimestele, kes abistasid autorit töö käigus hea nõu, vajaliku informatsiooni või ehitusprotsessidega: Paul Tiisar, Enno Niit, Alvar Nurk, Ain Adamson, Anti Tammik, Are Eero, Leo Kurg, Raivo Metsapool, Marko Purge ja Holger Allik.

Palgisorteer, optimeerimine, moderniseerimine, hüdraulika, magistritöö

# 1. SISSEJUHATUS

Imavere saeveski toodab igal aastal 340000 m<sup>3</sup> saematerjali, 160000 m<sup>3</sup> töödeldud puitu ja 100000 m<sup>3</sup> graanulit. Igal aastal kasutatakse üle 500 000 tonni männi ja kuuse palki. Mis tähendab, et iga päev saabub saeveski territooriumile ligikaudu 30 veoauto koormatäit puitu. Kõik puit mis saeveskisse tuleb, peab käima läbi palgisorteeri. [1]

Palgisorteeri ülesanne Imavere saeveskis on sorteerida nii kuuse, kui ka männi puud erinevate parameetrite järgi. Lisaks sorteeritakse välja kõik materjal, milles sisaldub rohkem metalli kui 8 mm läbimõõduga metallkuulis. Sorteerimise eesmärk on järgmistes protsessides materjali töötlemist hõlbustada, kiirendada ja teha seda ohutumaks. Sellega hakkamasaamiseks peab palgisorteer töötama 24 tundi ööpäevas, ja aasta jooksul on ette nähtud ainult kolme nädala jagu tööseisakuid. Mida efektiivsem, sujuvam ja täpsem on palgisorteeri töö, seda paremaid tulemusi saadakse ka järgmistes töötappides.

Sorteerimisliin Imavere saeveskis on ehitatud 1999 aastal ja oli algsest 170 m pikk. Sellel oli 50 sorteerimise taskut, kuhu kukutatakse sorteeritud palgid ja mis asuvad kahel pool liini. 2021 aastal lisati liini lõppu kuus taskut ja eemaldati eest otsast kaks taskut, et ruumi teha uuele röntgenskännerile. Nii sai liinile kokku 54 taskut ja uueks kogupikkuseks 200 m.

Liini vanuses tulenevalt on selle hüdraulika süsteemis mitmeid asju, mida saaks paremini, efektiivsemalt, säästlikumalt või kiiremini teha. Käesoleva töö eesmärgiks on muuta Imavere saeveski palgisorteeri liini hüdraulikal töötavaid osi töökindlamaks ja vähendada ootamatute seisakute arvu ja pikkust ning samal ajal tuleb säilitada või vähendada liini energiatarvet ja hoolduskulusid.

Töö eesmärgi saavutamiseks on vaja leida lahendus järgnevatele probleemidele:

- Hüdraulika õli ülekuumenemine – väga soojade ilmade korral tõuseb hüdraulika õli temperatuur üle lubatud 65 °C, mistõttu liin seiskub hüdraulika süsteemi kaitsmise eesmärgil.
- Palkide maha mitte löömine – sorteerimisliini palgi maha löömise käpad ei suuda mõnikord palki sorteerimistaskusse lüüa. Probleemi esinemise sagedus suureneb külmemate ilmade korral.
- Liiga väike keskmäärimise õli mahuti – kuigi mahutisse mahub hetkel täpselt sama kogus õli, mis on transpordi mahutis, siis kogu transpordimahuti korraga tühjendamine eeldab liini mahuti täielikult tühjaks tarbimist. Liini mahuti täielikul tühjenemisel aga peatub liini töö, alles peale mida saab mehaanik operaatorilt



teate mahuti täitmise vajaduse kohta. See probleem toob kaasa suhteliselt sagedased ja pikad plaanivälised liiniseisakud.

- Hüdrokeskuse süsteemi olekute salvestamise puudumine – hüdrokeskuse erinevate olekute, näiteks paagi õlitaseme või süsteemi rõhu, salvestamine võimaldaks tagantjärele leida töö käigus tekkinud anomaaliaid ning sellest lähtuvalt teostada sobival ajal ennetavaid hooldus või remonttöid. See vähendaks ja lühendaks ootamatult tekkinud liini seisakute arvu ja pikkust.
- Hüdrokeskuse seisukorra määramise lihtsustamine – hüdrokeskuse juures on mitmeid asju, mille tehnilise seisukorra hindamine vaatluse teel on väga keeruline, aeganõudev või üldse võimatu. Sellisteks asjadeks on näiteks pumba tootlikkuse vähenemise või lekete avastamine liinil ja ka hüdroakude purunemise avastamine.

Liini tihedast töögraafikust lähtuvalt ei ole võimalik liini mitmeks päevaks seisma jätta probleemide lahendamise eesmärgil. Pikemaajaline palgisorteereri seisak võib kaasa tuua ka teiste liinide seiskumise mis oleks tingitud sorteeritud materjali puudusest. Sellest lähtuvalt lubasid tootmisjuhid liini muudatuste sisse viimiseks kahe tunnise plaanivälise seisaku. Lisaks sellele seisakule on võimalik ära kasutada ka liinioperaatori lõunapausidest tulenevaid poole tunniseid liini seisakuid.

Tulenevalt erinevate toodete ülemaailmsest tarneraskustest tuleb lahenduste leidmisel silmas pidada ka seda, et kasutada võimalikult palju selliseid ostutooteid, mida on juba Imavere saeveski liinidel kasutatud ja mis on juba ettevõtte laos olemas. See annab suurema tõenäosuse, et kasutatava seadme katki minemisel on tagavara osa laost koheselt võtta, ilma et peaks laos olevate toodete arvu suurendama.



Joonis 1.1 Aerofoto Imavere saeveskist, esiplaanil palgisorteer [2]

## 2. ÕLI ÜLEKUUMENEMINE SUVEL

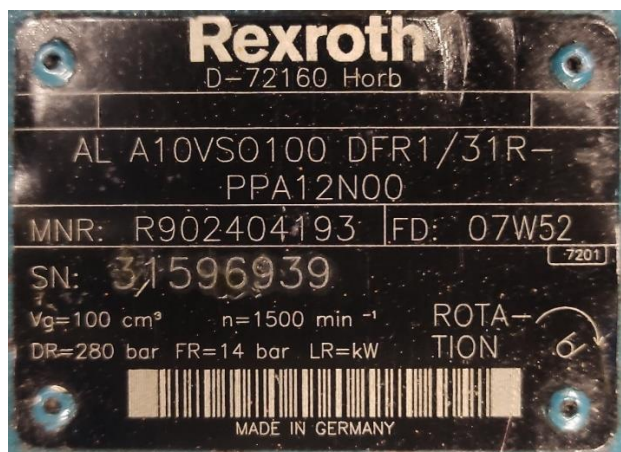
Esimeseks vaadeldavaks probleemiks valiti suvisel perioodil õli ülekuumenemise probleem. Antud probleem esineb suvel palavate ilmade puhul. Märgatavalt kerkis probleem esile 2021 aasta suvel, kui soojakraadid püsisid mitme nädala vältel üle 25+ kraadi. Nende nädalate vältel tuli ette mitmeid liini seisakuid, mis olid põhjustatud liiga kõrgest õlitemperatuurist. Liini hüdraulika osade kaitseks liigse õlitemperatuuri eest on seatud liini seiskamise temperatuuriks 65 °C. Selle temperatuuri saavutamisel liin seiskub, ning tuleb oodata õli jahtumist.

Kuna liin asub peamiselt väljas ning hüdraulika keskus ilma jahutuseta ruumis, siis mängib õuetemperatuur väga suurt rolli õlitemperatuuris. Mida suurem on välisõhu temperatuur, seda kehvemaks muutub ka konvektsioonist tingitud liini jahutus. Välisõhu temperatuuri tõusmisega tõuseb ka hüdraulika ruumi temperatuur, mis halvendab veelgi õli jahutust. Ajutiseks lahenduseks leiti, et õlitemperatuuri aitab vähendada hüdraulika ruumi välisuste avamine. Kuigi mõõtmisi ei tehtud, oli selge, et ruumi sisetemperatuur tõusis palju kõrgemaks, kui seda oli välistemperatuur.

### 2.1 Õli optimaalse temperatuuri leidmine

Esmalt oli vaja välja selgitada, milline oleks optimaalne õli temperatuur ning kas on võimalik, et temperatuuri piir on liiga madalale seatud. Selleks uuriti välja millist hüdropumpa ja hüdroõli liinil kasutatakse. Seejärel oli vajalik leida pumba töötamiseks sobilik õli kinemaatiline viskoossus. Viimaseks sammuks oli õli kinemaatilise viskoossuse ja temperatuuri sõltuvuse graafiku abil sobiva õlitemperatuuri leidmine.

Pumba tüübi kindlakstegemiseks oli vaja leida pumba pealt andmesilt. Andmesildi (joonis 2.1) järgi tehti kindlaks, et tegemist on Bosch Rexroth „A10VS100“ pumbaga.



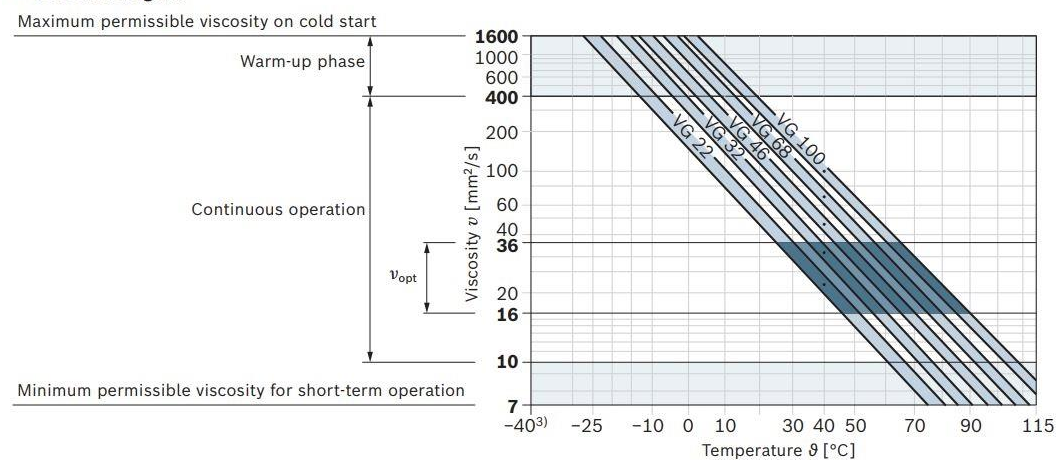
Joonis 2.1 Bosch Rexroth „A10VS100“ hüdropumba andmesilt

Pumbaga ostes kaasas olnud füüsilise manuaali leidmine ei õnnestunud. Küll aga leiti see väga kiiresti googeldamise teel. Pumba manuaalist oli võimalik leida sobiv õli viskoossuse vahemiku graafik (joonis 2.2). Samal graafikul oli ära toodud ka mõne ISO VG standardile vastava õlitemperatuuri ja viskoossuse sõltuvuse graafikud.

#### Viscosity and temperature of hydraulic fluids

	Viscosity	Shaft seal	Temperature	Remarks
Cold start	$v_{\max} \leq 1600 \text{ mm}^2/\text{s}$	FKM	$\vartheta_{\text{St}} \geq -25 \text{ }^\circ\text{C}$	$t \leq 3 \text{ min}$ , without load ( $p \leq 50 \text{ bar}$ ), $n \leq 1000 \text{ rpm}$ Permissible temperature difference between axial piston unit and hydraulic fluid in the system maximum 25 K
Warm-up phase	$v = 1600 \dots 400 \text{ mm}^2/\text{s}$			$t \leq 15 \text{ min}$ , $p \leq 0.7 \times p_{\text{nom}}$ and $n \leq 0.5 \times n_{\text{nom}}$
Continuous operation	$v = 400 \dots 10 \text{ mm}^2/\text{s}^{(1)}$ $v_{\text{opt}} = 36 \dots 16 \text{ mm}^2/\text{s}$	FKM	$\vartheta \leq +110 \text{ }^\circ\text{C}$	Measured at port L, L <sub>1</sub> Optimal operating viscosity and efficiency range
Short-term operation	$v_{\min} = 10 \dots 7 \text{ mm}^2/\text{s}$	FKM	$\vartheta \leq +110 \text{ }^\circ\text{C}$	$t \leq 3 \text{ min}$ , $p \leq 0.3 \times p_{\text{nom}}$ , measured at port L, L <sub>1</sub>

#### ▼ Selection diagram



Joonis 2.2 Pumba sobiva kinemaatilise viskoossuse ning õlitemperatuuri ja kinemaatilise viskoossuse sõltuvuse graafik [3]

Pumba töövahemiku graafikult on näha, et pump võib töötada õli viskoossusvahemikus 7...1600  $\text{mm}^2/\text{s}$ . Kuna vaadeldi õli ülekuumenemise probleemi, siis pöörati tähelepanu graafiku alumisele parempoolsele osale, kus on õli viskoossus väiksem ja temperatuur suurem. Kõige optimaalsemaks õli viskoossuseks on 16...36  $\text{mm}^2/\text{s}$ . Antud vahemikus töötab pump kõige suurema kasuteguriga. Pideva töö ajal peaks aga õli viskoossus jääma vahemikku 10...400  $\text{mm}^2/\text{s}$ . Selles vahemikus peaks olema tagatud pumba hea vastupidavus ja efektiivsus. Lühiajaliselt, kuni 3 minutit, on lubatud töötada ka õliga, mille viskoossus on vahemikus 7...10  $\text{mm}^2/\text{s}$ . sellisel juhul tuleb aga veenduda, et korpuse sees olev surev ei läheks suuremaks kui 30% nominaalrõhust. Sellest lähtuvalt tuleks vältida õli viskoossuse madalamaks kui 10  $\text{mm}^2/\text{s}$  minemist.

Palgisorteeris kasutatava õli tüübi teadasaamiseks pööruti liini haldava vanemmehaaniku poole, kelle sõnul kasutatakse suvisel perioodil ISO VG 32 VI100 standardile ja talvisel perioodil ISO VG 22 VI100 standardile vastavat õli. Kuna käsitletav probleem tekib suvisel ajal, siis võeti vaatluse alla ISO VG 32 VI100 õli viskoossuse funktsiooni graafik joonisel (2.2). Graafikult selgub, et VG 32 VI100 õli saavutab

viskoossuse 10 mm<sup>2</sup>/s natukene rohkema kui 70 °C juures. Sellest lähtuvalt võiks öelda, et häire saabumine 65 °C juures on piisav.

## **2.2 Õlitemperatuuri vähendamine**

Õlitemperatuuri vähendamiseks mõeldi välja kaks peamist lahendusteed. Esimeseks lahendusteks oleks õliradiaatori lisamine süsteemi. Teiseks lahenduseks mõeldi hüdraulika ruumi temperatuuri vähendamist.

### **2.2.1 Õli jahutuse radiaatori lisamine**

Õliradiaatori eesmärk on soojusenergia eemaldamine õlist konvektsiooni toimetel. Enamasti on õliradiaatorid aktiivse jahutusega, kuid on võimalik kasutada ka passiivset radiaatorit. Aktiivse radiaatori erinevus passiivsest on see, et radiaatorist lükatakse õhku ventilaatori abil läbi. Passiivse radiaatori korral on õhu ringlus tekitatud õhu soojenemisest radiaatori läheduses. Sarnase jahutusvõimsuse saamiseks peab passiivne radiaator olema kordades suurem võrreldes aktiivse jahutusega radiaatoriga. Aktiivse jahutusega radiaatori miinuseks on aga lisa energiakulu mis läheb ventilaatoriga õhu radiaatorist läbi liigutamiseks. Radiaatori negatiivseks küljeks on aga see, et õhk millega radiaatorit jahutatakse, temperatuuri kasvades väheneb radiaatori jahutusvõimsus.

Õliradiaatorit lisamiseks oleks kaks võimalust, hüdraulika ruumist välja või hüdraulika ruumi sisse. Olenevalt vajaliku radiaatori suurusest oleks ruumi sisse installeerimine arvatavasti võimalik ja mitte eriti keeruliselt teostatav. Probleemiks aga kujuneb see, et kogu radiaatorilt eemaldatav soojus jääb ruumi sisse ja sellest tulenevalt hakkab ruumis temperatuur tõusma. Nagu varasemalt mainitud, siis ümbritseva õhutemperatuuri tõusmisega väheneb ka radiaatori jahutusvõimsus.

Väljapoole ruumi jahuti paigutamise tekitavad ka mitmed probleemid. Jahutit ei ole mõistlik paigaldada eriti kaugemale praegu eksisteerivast hüdraulika liinist, kuna see suurendab õli pumpamisel tekkivaid kadusid ning lekkeohtlike kohtade arvu. Jahuti ruumist välja installeerimisel tekitavad probleeme ka välised tegurid. Suurimateks ja raskemini lahendatavateks probleemideks oleksid palgisorteeris ekslikult kukuvad palgid ja palke transportivad suured frontaallaadurid, mille juhid võivad eksimusi teha. Kuigi probleem ei oleks tihti esinev, siis selle esinemisel võivad tagajärjed olla palgisorteerii liini jaoks katastroofilised. Probleeme hakkaks tekitama ka õhus lendlev saepurutolm, mis ummistaks väga kiiresti ära jahutusradiaatori ribad, läbi mille väheneb jahutusvõimsus märgatavalt.

## **2.2.2 Ruumi temperatuuri vähendamine**

Järgmiseks võimalikuks lahenduseks peeti ruumi temperatuuri vähendamist, läbi mille suureneks õli paagi poolt läbi konvektsiooni tekkiv jahutusvõimsus. Esimese mõttena tuli pähe konditsioneeride kasutus ruumis. Konditsioneeride abil oleks võimalik ruumi temperatuur viia isegi allapoole välisõhutemperatuurist, mis suurendaks märgatavalt õlipaagi jahutusvõimet. Pärast lühikest mõtlemist sai aga selgeks, et see ei oleks energiatõhus lahendus.

Kuna ruumi temperatuur läheb kõrgemaks kui välistemperatuur, siis võeti vaatluse alla ruumi õhu parem tsirkuleerimine. Võib öelda, et see lahendus on juba katsetatud, kuna eelneval suvel väga palavate ilmadega jahutati ruumi avades selle ukseid. Avatud ustega liini töötamine aga läheks vastuollu ohutusnõuetega, oleks ebaesteetiline ning lisaks koguneks ruumi väga palju saepurutolmu. Ruumi kogunenud saepurutolmu võib sadestub nii hüdraulika pumbale kui ka mootorile. See võib tekitada ülekuumenemisohtu. Õhuringluse tekitamise eesmärgil oleks võimalik ruumi välisseina panna sundventilatsioon, kuid sellega jääks alles saepurutolmu probleem. Sundventilatsiooniga oleks võimalik kasutada ka filtreid, kuid arvestades saepuru tolmu kogust õhus oleks neid vaja väga tihti välja vahetada või puhastada.

### **Ruumi kütvate seadmete leidmine**

Ventilatsiooni lahendusest parema lahenduse leidmiseks hakati otsima põhjust miks läheb ruumi temperatuur suuremaks kui välistemperatuur, kuigi ruumi ei ole installeeritud ühtegi kütteseadet. Selgus et ainukesed energiat tarbivad seadmed ruumis on hüdraulika pumba-mootor ja liini keskmäärmise pumba-mootor. Keskmäärmise pumba-mootor on 1,5 kW ja hüdraulika pumba-mootor on 22 kW asünkroonmootor. Keskmäärmise pump käivitub ainult iga viie minuti järel, ligikaudu 20 sekundiks. Lähtuvalt harvast ja lühikesest tsükliajast otsustati seda mootorit vaatluse alla mitte võtta, kuna see annab väikse panuse kogu ruumi soojendamisele. Lähema vaatluse alla võeti 22 kW mootori võimsuse vajalikus. Antud mootor tundus väga üledimensioneeritud olevat palgi mahalöömise käppade tarbeks. Mootori võimsuse kontrollarvutuseks arvestati kokku energiakulu käppade tööks.

### **Sorteerimisliini hüdraulilise võimsuse leidmine**

Sorteerimisliinil on küll 54 mahalöögi käppa, kuid need ei tööta mitte kunagi korraga. Täpsemalt töökiirust jälgides ja liini läbivate palkide arvu lugedes selgus, et liini läbib täis kiirusel ligikaudu 20 palki minutis. Võttes arvesse ka väikse mõõtevee ja varuteguri, arvestan, et liini läbib 25 palki minutis. Iga palgi maha löömiseks läheb vaja ühte käpalööki, mille tegemiseks kasutatakse ühte silindrit. Käpa silindri mõõtmed on

50/30\*150, ehk kolvi lävimõõt on 50 mm, sääre läbimõõt on 30 mm ja käigupikkus on 150 mm. Nende andmete põhjal oli võimalik välja arvutada, kui palju õli läheb vaja ühe käpa-löögi tegemiseks. Selleks leiti valemiga (2.1) silindri kolvi poolne ruumala ja seejärel valemiga (2.2) silindri sääre poolne ruumala.

$$V_{kolvi} = \frac{\pi * D^2}{4} * l \quad (2.1)$$

kus  $V_{kolvi}$  – silindri kolvi poolne ruumala, mm<sup>3</sup>,  
 $\pi$  – archimedese konstant,  $\pi = 3,14$ ,  
 $D$  – silindri kolvi läbimõõt, mm,  
 $l$  – silindri käigupikkus, mm.

$$V_{sääre} = \left( \frac{\pi * D^2}{4} - \frac{\pi * d^2}{4} \right) * l \quad (2.2)$$

kus  $V_{sääre}$  – silindri sääre poolne ruumala, mm<sup>3</sup>,  
 $d$  – silindri sääre läbimõõt, mm.

Arvutati silindri poolte ruumalad vastavalt valemitele (1.1 ja 1.2):

$$V_{kolvi} = \frac{\pi * 50^2}{4} * 150 \approx 300000 \text{ mm}^3$$

$$V_{sääre} = \left( \frac{\pi * 50^2}{4} - \frac{\pi * 30^2}{4} \right) * 150 \approx 190000 \text{ mm}^3$$

Kuna pumpade tootlikkused on enamjaolt antud ühikus l/min, siis teisendati silindri ruumalad kuupmillimeetritest liitritesse ning saadi ruumaladeks  $V_{kolvi} = 300000 \text{ mm}^3 = 0,3 \text{ l}$  ja  $V_{sääre} = 190000 \text{ mm}^3 = 0,19 \text{ l}$ . Kokku kulub ühe töösükli ehk välja ja sisse liikumiseks  $0,3 + 0,19 \approx 0,5 \text{ l}$  õli.

Teades ühe silindri töösükliks vaja mineva õli kogust ja liini läbivate palkide arvu minutis, saab need omavahel läbi korrutades teada liini tööks vajatava õli vooluhulga. Liini tööks vajatav vooluhulk on  $0,5 * 25 = 12,5 \text{ l/min}$ . Palgisorteereri hüdraulika töö rõhk on 80 bar-i (80 bar = 8000000 Pa, kuna seadmete andmelehtedes kasutatakse enamjaolt rõhuühikut bar, siis kasutati töös läbivalt sama rõhuühikut, 1 bar = 10<sup>5</sup> Pa), mille abil saab välja arvutada hüdraulika pumba teoreetilise võimsustarve. Pumba teoreetilise võimsustarve arvutamiseks kasutatakse järgnevat valmit:

$$P = \frac{Q_{max} * p}{600} \quad (2.3)$$

kus  $P$  – pumba teoreetiline võimsustarve, kW,  
 $Q$  – tööks vajatav vooluhulk, l/min,  
 $p$  – töö rõhk, bar.

Valemist (1.3) lähtuvalt arvutati välja hüdraulika pumba võimsustarve:

$$P = \frac{12,5 * 80}{600} = 1,7 \text{ kW}$$

Vajatav võimsus moodustab vähem kui 10% mootori koguvõimsusest, 22 kW-st. Kuna mootori võimsus paistis liiga palju üledimensioneeritud olevat hakati uurima, kas on veel mingeid hüdraulilisi seadmeid liinil. Selgus, et liinil on ka üks hüdromootor.

### Üleveorullide hüdromootor

Hüdromootori ülesanne on ringi ajada palkide „üleveorulle“ (joonis 2.3). Üleveorullideks nimetatakse liini osa, mille ülesanne on palkide lükkamine vastu spetsiaalset liini serva, mille järgi joondatakse palkide alguspunkt hindamis ja sorteerimise konveierite tarbeks. Selliselt on alati teada palgi alguspunkt konveieril ning millal on vaja teha käpalööki, et palk lükata õigesse sorteerimistaskusse. Üleveorullid käivad koormuseta olukorras pidevalt ringi. Kui nende peale satub palk, mis ei ole seina vastu lükatud, siis peab liinil olema piisavalt palju jõudu, et palk liini külje vastu lükata. Kui palk jõuab liini külje vastu, siis üleveorullid seiskuvad. Seiskumine toimub sellel põhimõttel, et mootoril ei ole piisavalt jõudu, et tekitada libisemisolukorda palkide ja rullide vahel. Samas rakendatakse rullide seismise ajal mootoriga neile moment selleks, et palgid püsiksid vastu joondamisele. Kui palk lahkub üleveorullidelt siis hakkavad rullid koheselt uuesti pöörlema.



Joonis 2.3 Palkide üleveorullid, punase noolega näidatud palkide liikumise suund

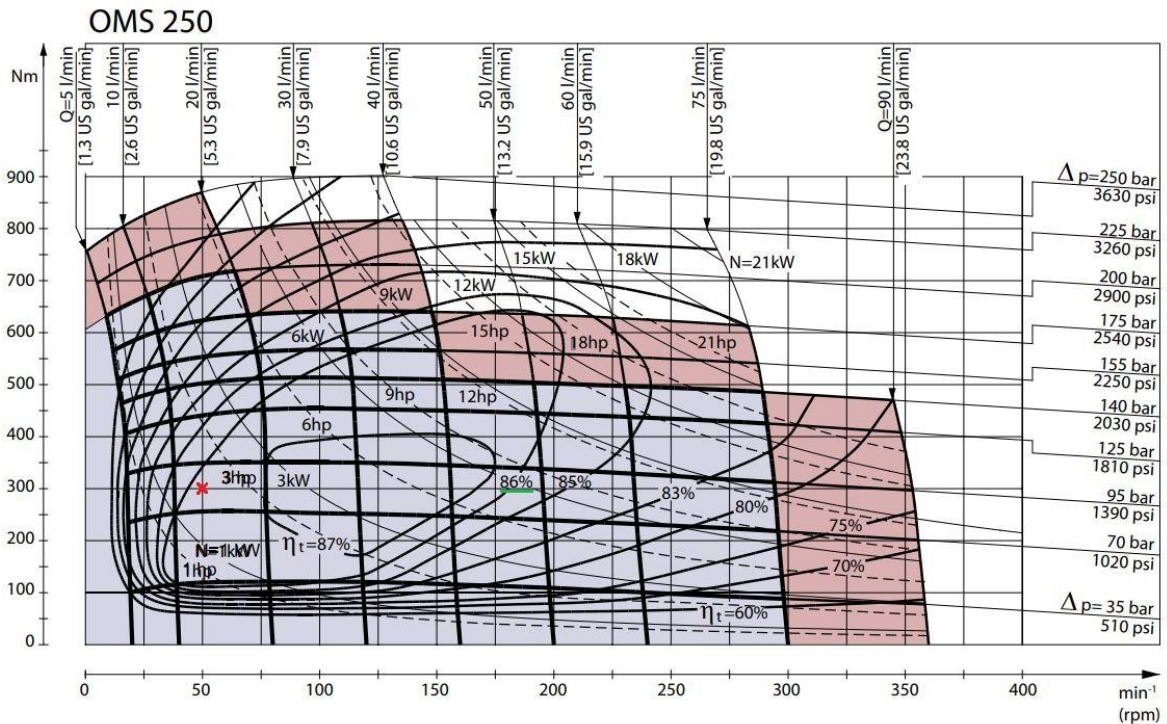
Hüdromootor sobib selliseks rakenduseks hästi seetõttu, et rullide seismise ajal hoitakse õlirõhust tulevat momenti pidevalt peal, kuid kuna õlivool läbi mooroti on praktiliselt olematu, siis on ka energiakulu väga väike. Kui samasse olukorda panna, ilma spetsiaalse sagedusmuundurita, asünkroonmootor, siis tekib olukord, kus mootori voolutarve läheb väga suureks, kuna mitte pöörlevas mootoris ei teki vastuelektromotoorjõudu. Suurenenud voolu tõttu rakenduks mootori kaitseahel, või kui kaitseahel on tehtud liiga suure voolutugevuse peale, võib mootor ka üle kuumeneda ja läbi põleda.

Hüdromootoriga ajamid on üldiselt väga väikse kasuteguriga. Väike kasutegur tuleneb sellest, et energiat on vaja mitu korda muundada ühest liigist teise. Iga energia muundamisega tekivad kaod, mis enamasti muutuvad soojuseks. Hüdromootorit kasutati liini ehitamisel suure tõenäosusega selle pärast, et liini ehitamise ajal ei olnud sagedusmuundurid piisavalt kaugele arenenud, sellise rakenduse jaoks.

### **Hüdromootori asendamine elektriajamiga**

Efektiivsuse parandamiseks ja ruumi temperatuuri vähendamise eesmärgil vahetatakse üleveorullide hüdromootor välja elektrimootoriga, mida hakatakse juhtima otsese momendi juhtimise võimekusega sagedusmuunduriga. Liinil hüdromootoriks oli Danfossi orbitaalmootor OMS 250, mille nimivõimsus on 14,5 kW. Mootori ülejäänud andmete teadasaamiseks leiti internetist mootori tehniline manuaal. Manuaalist oli võimalik leida graafik (joonis 2.4), mille alusel on võimalik teada saada mootori õlikulu, saavutatav moment ja kasutegur, teades mootori pöörlemissagedust ja tööõhku. Mootori pöörlemissagedus mõõdeti ära käsitahhomeetriga. Selleks paluti pausi ajaks liinioperaatoril vabastada üleveorullid palkidest. Järgmiseks kleebiti pumba võlli peale peegeldav kleebis, mille abil on võimalik võlli pöörlemissagedust kontaktivabalt lugeda. Peale seda pandi käsitsi tööle liini hüdropump ning üleveorullide mootor. Mootori maksimaalseks pöörlemissageduseks saadi  $50 \text{ min}^{-1}$ .





Joonis 2.4 OMS 250 hüdropumba graafik. Punase ristiga on märgitud ligikaudne üleveorullide hüdmootori tööpunkt. Roheline joon on alla tõmmatud pumba kasutegurile selles tööpunktis. [4]

Teades rõhku hüdraulika süsteemis ning pöörlemissagedust, oli võimalik leida mootorit läbiv õli hulk. Informatsiooni kättesaamiseks graafikult oli vaja esmalt leida graafiku parempoolselt skaalalt mootori töö rõhk. Kuna täpselt 80 bar-i rõhu jaoks graafikul joont ei olnud, siis hinnati silma järgi ligikaudne 80 bar-i rõhujoon. See joon asub natukene allpool 70 ja 95 bar-i joone keskkohast. Järgmiseks leiti graafiku alumiselt skaalalt mootori pöörlemissagedus, milleks oli  $50 \text{ min}^{-1}$ , ning mindi otse ülesse, kuni jõuti mootori töö rõhuni. Nende ristumispunkt on mootori maksimaalne tööpunkt, mis märgiti graafikul ära punase ristiga. Tööpunkti järgi võib hinnata vajatavaks õli vooluhulgaks ligikaudu 13 l/min ja võllile rakendatavaks momendiks 300 Nm. Vooluhulga ja töö rõhu järgi oli võimalik vastavalt valemile (2.3) välja arvutada hüdmootori võimsus:

$$P = \frac{13 \cdot 80}{600} = 1,8 \text{ kW}$$

Imavere saeveskis on peamiselt kasutusel nelja pooluselased elektrimootorid. Sellest lähtuvalt otsustati ka selleks otstarbeks kasutada nelja pooluselise mootorit. Eialgu vaadati ABB mootorite kataloogist (tabel 2.1), millise võimsusega mootor oleks esimene sobiv, asendamaks hüdmootorit. Esimene hüdmootori võimsusest suurem mootor oli 2,2 kW mootor. Mootorite lattu vaadates selgus aga, et sellise võimsusega mootorit laost kohe võtta ei ole. Võimsuse poolest järgmine laos olev mootor oli 4 kW mootor, mis sai valitud projekti elluviimiseks.

Tabel 2.1 Väljalõige ABB nelja poolusega mootorite kataloogist [5]

Output kW	Motor type	Product code	Efficiency IEC 60034-30-1; 2014			Power factor Cosφ	Current		Torque		Moment of inertia J = 1/4 GD <sup>2</sup> kgm <sup>2</sup>	Weight kg	Sound pressure Level L <sub>pa</sub> dB		
			Speed r/min	Full load 100%	3/4 load 75%		1/2 load 50%	I <sub>N</sub> A	I <sub>ε</sub> /I <sub>N</sub>	T <sub>N</sub> Nm				T <sub>ε</sub> /T <sub>N</sub>	T <sub>L</sub> /T <sub>N</sub>
1500 r/min = 4 poles			400 V 50 Hz			CENELEC-design									
0,25	M2BAX 71MB 4	3GBA072320---D	1440	73,5	70,1	63,8	0,64	0,78	6,1	1,67	2,7	3,5	0,00075	10	41
0,37	M2BAX 71MLA 4	3GBA072410---D	1441	77,3	74,9	69,8	0,66	1,06	6,8	2,47	2,7	3,8	0,00098	12	50
0,55	M2BAX 80MC 4	3GBA082330---D	1446	80,8	80,7	78,0	0,74	1,32	8,4	3,64	2,7	3,9	0,00228	17	48
0,75	M2BAX 80MLA 4	3GBA082410---D	1445	82,5	81,2	77,6	0,7	1,84	8,2	4,88	3,8	4,6	0,00295	21	49
1,1	M2BAX 90SB 4	3GBA092120---D	1438	84,1	83,4	80,9	0,73	2,59	7,9	7,28	3,6	4,2	0,00394	23	48
1,5	M2BAX 90SLA 4	3GBA092010---D	1434	85,3	84,4	82,1	0,73	3,52	7,9	9,95	3,9	4,0	0,00485	25	44
2,2	M2BAX 100LB 4	3GBA102520---D	1450	86,7	86,1	84,1	0,78	4,74	9,3	14,53	3,4	4,4	0,00863	34	50
3	M2BAX 100LKA 4	3GBA102810---D	1448	87,7	87,7	86,5	0,79	6,25	9,6	19,86	3,6	4,5	0,0115	41	57
4	M2BAX 112MLA 4	3GBA112410---D	1443	88,6	89,6	89,4	0,82	7,91	9,5	26,59	3,6	4,3	0,0152	50	56
5,5	M2BAX 132SMA 4	3GBA132210---D	1463	89,6	90,5	90,3	0,77	11,4	7,9	35,9	2,6	3,3	0,0297	67	68
7,5	M2BAX 132MLA 4	3GBA132410---D	1456	90,4	91,1	90,8	0,78	15,2	8,8	49,1	2,5	3,0	0,039	84	65
11	M2BAX 160MLA 4	3GBA162410---F	1477	91,4	91,8	91,1	0,82	21,1	7,6	71,27	2,6	3,3	0,11	136	61

Varasemalt kasutatud hüdro mootori võlli külge oli otseülekandega ühendatud hammasratas. Läbi mille veeti keti abil ringi üleveorulle. Ka elektri ajami korral kasutatakse sama kettülekanne, et mitte liigselt liini ümber ehitada. Arendamiseks elektrimootoriga ketti vedaval hammasrattal sarnast momenti ja pöörlemissagedust oli vaja kasutada reduktorit. Reduktori ligikaudse ülekanne suhte välja arvutamiseks kasutati valemit (2.4):

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (2.4)$$

kus  $i$  – ülekanne suhe,  
 $\omega_1$  – sisend pöörlemissagedus, min<sup>-1</sup>,  
 $\omega_2$  – väljund pöörlemissagedus, min<sup>-1</sup>.

Teades et mootori nominaal pöörlemissagedus on 1443 min<sup>-1</sup> ja reduktori väljund pöörlemissageduseks soovitakse saada 50 min<sup>-1</sup> arvutati välja soovitud ülekanne suhe.

$$i = \frac{1443}{50} = 28,9$$

Laos olevatest reduktoritest oli sobiv Sew-Eurodrive „R77“ tüüpi reduktor, mille ülekanne suhe oli 29 ja maksimaalne moment väljundvõllil oli 820 Nm.

Elektrimootori sagedusmuundur valiti välja ABB ACS880 perekonnast. ACS880 perekonna sagedusmuundurid on hetkel Imavere saeveskis väga laialdaselt kasutatavad, mistõttu valiti see ka käesolevaks projektiks. Välja valiti „ACS880-01-24A3-2“ muundur, mille nominaalvõimsus on 5,5 kW. Valitud sagedusmuundurile on lisatud ka PROFIBUS DP (Siemensi kontrollritel kasutatav kommunikatsiooniprotokoll) liidese moodul, mille abil on võimalik mootori parameetreid muuta läbi palgisorteri juhtiva programmi. Lisaks võimaldab see sagedusmuunduri poolt väljastatavaid andmeid lugeda ja vajadusel ka salvestada läbi Siemensi kontrolleri. [6]

Sagedusmuundur seadistati ära nii, et mootor hoiaks konstantset momenti 10 nm, mille korral on reduktori väljundvõlli momendiks 290 nm, ning maksimaalseks pöörlemissageduseks seati 50 Hz.

### **Hüdropumba ja mootori asendamine väiksematega**

Ruumi temperatuuri vähendamiseks on nüüd võimalik panna 22 kW mootori ja 150 liitrit minutis tootva pumba asemele palju väiksemad ja vähem energiat kasutavad mootori ja pumba. Väiksem laos olev hüdraulika pump oli töös oleva pumba väiksem versioon, Bosch Rexroth „A10VS18“. Antud pumba maksimaalne tootlikkus on 27 l/min ja tööõhk piiratakse 80 bar-i peale [3]. Sellest lähtuvalt leiti pumba teoreetiline võimsustarve.

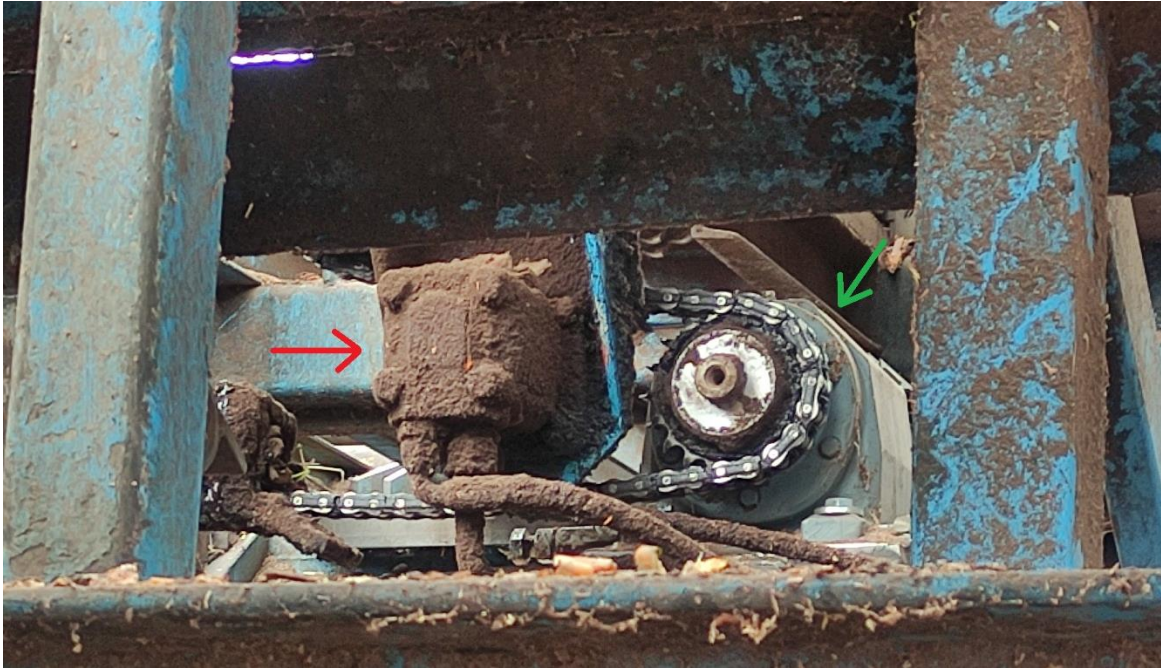
$$P = \frac{27 * 80}{600} = 3,6 \text{ kW}$$

Esimene seda võimsust ületav laos olemasolev mootor oli 4 kW mootor. Mootor on sellisel juhul ligikaudu 10% pumba täis võimsuse tarbest üledimensioneeritud. Kogu 27 l/min tootlikkust aga kasutatakse ainult hüdrokeskuse käivitamisel, hüdroakude täitmise ajal. Liini tööajal on selle poolt tarbitav vooluhulk palju väiksem, tänu millele töötab ka mootor väiksema võimsusega. Sellest lähtuvalt sobib see 4 kW mootor liini teenindama.

### **2.2.3 Hüdro mootori ja hüdropumba väljavahetamine**

Palgisorteer töötab igapäevaselt ja peaaegu 24 tundi ööpäevas, ööpäeva jooksul on kolm 30 minutilist ja kuus 15 minutilist pausi, seega oli vaja kokku leppida aeg, millal saaks liini natukene pikemaks ajaks seisma panna eelpool ja järgmistes etappides käsitlevate hüdraulikasüsteemi muudatuste tegemiseks. Tootmisjuhtidega sai kokku lepitud, et 28.04.2022 toimub muudatuste sisseviimine. Kõikide muudatuste elluviimiseks lubati liinil teha graafikuväline kahe tunnine seisak. Kahe tunnine ajaaken valiti nii, et vahetult enne seda oleks liini töötajatel lõunapaus – nii sai järjestikuse ajaakna venitada 2,5 tunni pikkuseks.

Kuna ajaaken, mille jooksul tuleb liin uuesti töökorda saada, on väga lühike, siis otsustati, et kõik muudatused, mis võimalik, viiakse sisse nii, et vajadusel saaks väga kiiresti tagasi lülitada vana ja juba teada-toimiva lahenduse juurde. Seda selleks, et minimeerida riski, et liini seisak läheb lubatud ajast pikemaks. Sellest lähtuvalt tehti ümberehitused nii, et vajadusel oleks võimalik üleveorullide ringi ajamine lülitada väga lihtsalt tagasi hüdro mootori peale. Vajadusel oleks saanud ringi tõsta veoketi ja lülitada 4 kW mootori ja pumba pealt tagasi suurema mootori ja pumba peale (joonis 2.5).



Joonis 2.5 Hüdromootor (punane nool) asendatud elektriamiga (roheline nool)

## 2.3 Liini töötamise kulude vähenemine

Üleveorullide hüdromootori elektrimootori vastu vahetamisega ja tänu sellele väiksema hüdropumba ja mootori kasutusele võtuga loodeti kokku hoida nii energiat, kui ka potentsiaalseid liini remondikuluseid. Remondikulude kokkuhoidu on võimatu täpselt hinnata, kuna ei ole teada kui kiiresti mõni liini osa, näiteks hüdropump või elektrimootor katki läheb. Küll on aga teada, et väiksema hüdropumba või elektrimootori välja vahetamine on soodsam võrreldes suurema seadmega. Võimsuse vähenemise leidmiseks leiti algse süsteemi ligikaudne võimsus ning seejärel uue süsteemi ligikaudne võimsus.

### 2.3.1 Algse lahenduse võimsustarve

Varasemalt välja arvatud hüdrocilindrite ja hüdromootori võimsuste kokku liitmisel selgub, et mootorist tarbitav võimsus oli ligikaudu 3,5 kw. Sellest lähtuvalt võib öelda, et mootor oli väga alakoormatud. Induksioonmootori alakoormamisel väheneb ka tema võimsustegur  $\cos(\varphi)$ . Võimsusteguri vähenemine tuleneb sellest, et koormuse vähenemisega väheneb peaaegu lineaarselt ka võrgust tarbitav aktiivvõimsus, mis koormusetus olukorras on peaaegu null – võimsust kulub ainult laagritest ja jahutusventilaatorist tingitud pöörlemise takistuse ületamiseks. Reaktiivvõimsuse tarbimine jääb aga ka koormusetus olukorras suhteliselt suureks. Vaadates kasutusel

olnud 22 kW mootori katseraporti proovitakse leida ka ligikaudne mootori reaktiivvõimsus.

Tabel 2.2 Väljalõige ABB 22 kW mootori katseraportist [7]

Test	Torque [Nm]	Line U[V]		f[Hz]	Input I[A]	P1 [kW]	Output P2 [kW]	n[r/min]	cos φ	η [%]
No load test		399	D	50	13,9	0,55		1500	0,06	
Locked rotor test		84	D	50	40,1	1,92		0	0,33	
Thermal test ( 100% load )	143,5	400	D	50	41,3	24,17	22,00	1464	0,84	91,04
Partial load points:										
~75% load	108,1	400	D	50	32,2	18,16	16,72	1477	0,81	92,06
~50% load	71,1	400	D	50	23,8	12,00	11,07	1485	0,73	92,22
~25% load	36,5	400	D	50	17,3	6,36	5,71	1493	0,53	89,70

Esmalt leiti ristkorrutise abil mootori koormus protsentides, kus koguvõimsus on 22 kW ja koormus on 3,5 kW. Mootori koormuseks saadi  $(3,5 * 100) / 22 \approx 16\%$ . Teades, et mootori koormuse kasvamisel kasvab natukene ka tarbitav reaktiivvõimsus ja et mootori koormus tööolukorras oli suhteliselt nulli lähedane, siis võetakse mootori poolt tarbitavaks reaktiivvõimsuseks ABB tühikäigu katse tulemuste põhjal arvatav võimsus. Selliselt on arvestatud tarbitav reaktiivvõimsus parima võimaliku tööstsenariumi korral. Reaktiivvõimsuse väljaarvutamiseks kasutatakse järgnevat valemit:

$$Q_m = \sqrt{3} * U * I * \sin(\arccos(\cos(\varphi))) \quad (2.5)$$

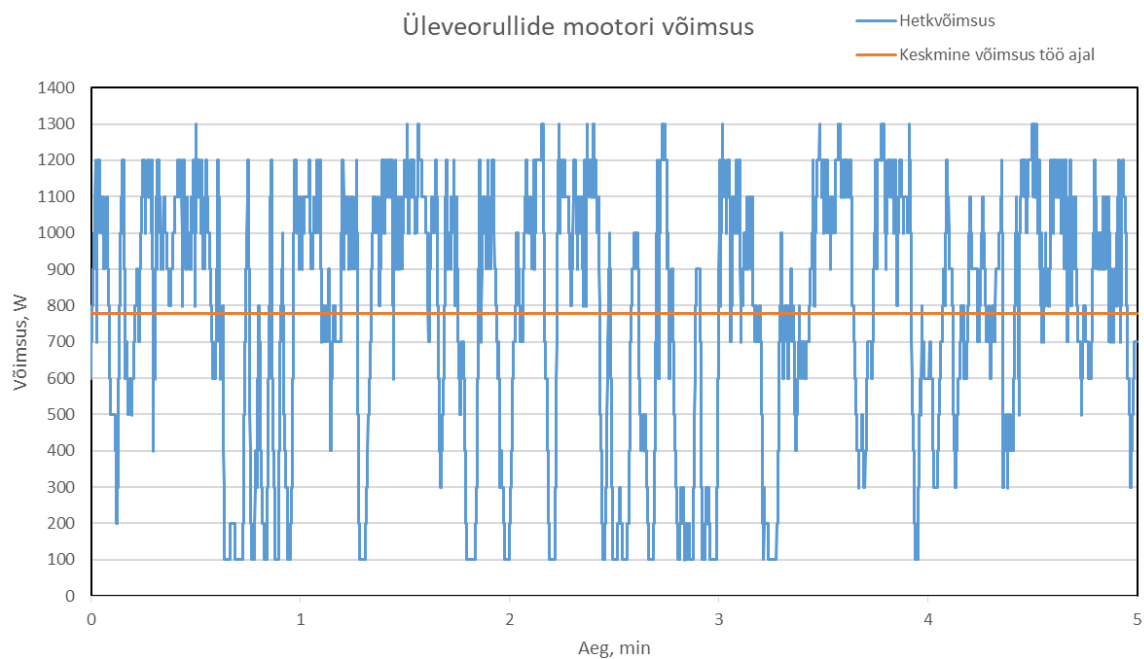
kus  $Q_m$  – mootori poolt tarbitav reaktiivvõimsus, var,  
 $U$  – liinipinge, V,  
 $I$  – liinivool, A,  
 $\cos(\varphi)$  – võimsustegur.

Valemi (2.5) põhjal arvutati välja ilma koormuseta olukorras mootori reaktiivvõimsus, mis ühtlasi võeti ka mootori reaktiivvõimsuseks väikese koormusega töö ajal.

$$Q_m = \sqrt{3} * 400 * 13,9 * \sin(\arccos(0,06)) = 9613 \text{ var} \approx 9,6 \text{ kvar}$$

### 2.3.2 Uue lahenduse energiatarve

Väiksema hüdropumba ja selle mootori ning üleveorullide mootori võimsuse leidmiseks tuleks need eraldi leida, ja seejärel summeerida. Varasemalt oli välja arvatud, et pumba võimsustarve käppade liigutamiseks oli ligikaudu 1,7 kW. Üleveorullide mootori võimsuse teadasaamiseks oli võimalik kasutusele võetud ABB sagedusmuundurist lugeda hetkevõimsust ning need graafikule kanda. Andmeid salvestati liini töö ajal viie minuti jooksul ning kanti graafikule (joonis 2.6). Graafikust selgub, et praeguste seadetega on üleveorullide keskmine võimsus ligikaudu 800 W. See teeb liini summaarseks tarbitavaks võimsuseks ligikaudu 2,5 kW.



Joonis 2.6 Üleveorullide mootori hetkvõimsus ja keskmine võimsus töö ajal viie minuti vältel

Väiksemate mootorite reaktiivvõimsus leiti samuti katseraporti alusel (tabel 2.3). Mõlema mootori koormused ümardati ülesepoole lähima katseraportis esitatud koormuseni, et võimsuse vähenemine oleks pigem alaarvestatud, kui üle arvestatud. Sellest lähtuvalt võeti hüdropumba mootori koormuseks 50% ja üleveorullide koormuseks 25% mootori nimivõimsusest.

Tabel 2.3 Väljalõige ABB 4 kW mootori katseraportist [8]

Test	Torque [Nm]	Line U[V]	f[Hz]	Input I[A]	P1 [kW]	Output P2 [kW]	n[r/min]	cos φ	η [%]
No load test		400	D	50	4.70	0.20	1446	0.06	
Locked rotor test		62	D	50	8.20	0.38		0.43	
Thermal test ( 100% load )	26.33	400	D	50	7.94	4.49	1451	0.82	89.00
Partial load points:									
~75% load	19.60	400	D	50	6.45	3.37	1462	0.75	89.10
~50% load	12.94	400	D	50	5.22	2.26	1476	0.63	88.30
~25% load	6.42	400	D	50	4.35	1.21	1488	0.40	83.00

Valemi (2.5) järgi arvutati mõlema mootori reaktiivvõimsused.

$$Q_{m1} = \sqrt{3} * 400 * 5,22 * \sin(\arccos(0,63)) = 2809 \text{ var} \approx 2,8 \text{ kvar}$$

$$Q_{m2} = \sqrt{3} * 400 * 4,35 * \sin(\arccos(0,40)) = 2762 \text{ var} \approx 2,8 \text{ kvar}$$

Hinnanguliseks summaarseks reaktiivvõimsuseks kahel mootoril on  $2,8 + 2,8 = 5,6$  kvar.

### 2.3.3 Energia kokkuvõid

Uue süsteemi aktiivvõimsus moodustab ainult  $(2,5 * 100) / 3,5 \approx 71\%$  ja reaktiivvõimsus ainult  $(5,6 * 100) / 9,6 \approx 58\%$  vana süsteemi võimsusest. Teades, et liin töötab ööpäevas ligikaudu 21 tundi ja aastas ligikaudu 344 päeva on võimalik arvutada ligikaudne energia sääst ühe aasta jooksul. Selle leidmiseks arvutati välja võimsuse erinevus vana ja uue süsteemi vahel, milleks saadi  $3,5 - 2,5 = 1$  kW ja  $9,6 - 5,6 = 4$  kvar. Energiakulu leidmiseks leiti liini ühe aasta töötundide arv, milleks on  $21 * 344 = 7224$  tundi. See teeb liini aastaseks energiatarbe vähenemiseks ligikaudu  $1 * 7224 = 7224$  kWh ja  $4 * 7224 = 28896$  kvar. Kuigi ei ole täpselt teada millise hinnakirja alusel ettevõtte elektrienergia eest maksab, siis on võimalik välja arvutada ligikaudne rahaline võit kasutades aktiivenergia hinda Nord Pooli kodulehelt. Reaktiivenergia vähendamise saavutatavat rahalist kokkuvõidu arvutatakse Elektrilevi võrguteenuste reaktiivenergia tarbimise hinnakirja alusel. Nord Pooli kodulehelt vaadati käesoleva (2021) aasta esimeste kuude keskmist elektrienergia hinda, milleks oli 0,133 €/kWh. Selle hinna järgi saadakse aktiivenergia kokkuvõiduga saavutatud rahaliseks kokkuvõiduks ligikaudu  $7224 * 0,133 = 961$  € aastas. Elektrilevi võrguteenuste hinnakirja alusel tuleb tarbitud reaktiivenergia eest maksta 0,36 senti/kvarh ehk 0,0036 €/kvarh. Selliselt saadakse aastaseks reaktiivenergia kokkuvõiduga saavutatud rahaliseks kokkuvõiduks  $28896 * 0,0036 = 104$  €. Kokku teeb see  $961 + 104 = 1065$  € aastas. [9], [10]

### 3. PALKIDE MAHA MITTE LÖÖMINE

Teise probleemina võeti vaatluse alla palkide liinilt maha mitte löömise probleem. Probleem esineb sagedamini siis, kui õhutemperatuur on -10 või alla selle. Tavaliselt esineb probleem just sorteerimisliini tagumises osas asuvate tasku käppadega, kuid mõnikord juhtub seda ka eespool asuvate käppadega.

#### 3.1 Palgisorteereri tasku käppade tööpõhimõte

Kui kontroller on tuvastanud, et palk on mööda kettliin jõudnud õige sorteerimistaskuni, teades palgi liinile saabumise hetke ning lugedes liini tahhometri impulsse, antakse signaal vastava tasku suunaventiilile. Taskute suunaventiilid on kaheasendilised. Üks silindri välja lükkamiseks ja teine kokku tõmbamiseks. Kui elektriline signaal suunaventiilil puudub, siis lükatakse suunaventiil vedru toimele alati silindri kokku tõmbamise asendisse. Käpa-löögi tegemiseks annab kontroller suunaventiilile teatud pikkusega signaali impulsi. Impulsi ajal läheb suunaventiil silindri välja liikumise asendisse ning toimub palgi maha löömine (joonis 3.1). Impulsi lõpus tagastub suunaventiil silindri kokku liikumise asendisse ning maha löömise käpp liigub tagasi kodusse.



Joonis 3.1 Palgisorteereri sorteerimisliin, punase noolega on näidatud palkide liikumissuund liinil, rohelise noolega on näidatud käpa töösuund



## 3.2 Probleemi täpsustus

Palkide maha löömise probleem väljendub kahel viisil. Esimeseks viisiks on see, et käpp jõuab palgini liiga hilja. Mistõttu on palk jõudnud liini peal liiga kaugemale sõita. Sellisel juhul kukub palk kas poolenisti, või täielikult taskust mööda. See olukord valmistab probleeme palgitõstuki juhtidele, kes peavad selle palgi ükshaaval taskute vahelt välja võtma. Mööda-kukkunud palgi kättesaamiseks peavad tõstukijuhid minema ohtlikult lähedale liinile, millega kaasneb oht liini vigastada. Teiseks probleemi väljenduse viisiks on aga see, et käpp ei jõua üldse palgini. Sellisel juhul sõidab palk liini peal lõppu välja ning kukub üle liini otsa maha. Suure tõenäosusega on probleem tingitud sellest, et külmade ilmadega muutub õli viskoossus suuremaks. Seetõttu ei jõua õli piisavalt kiiresti silindrisse voolata ja käpa löök on aeglasem.

## 3.3 Lahendused probleemile

Järgnevalt leiti probleemile erinevaid lahendusi, mida hakati analüüsima. Kokku analüüsiti nelja erinevat lahendust. Neljast pakutud lahendusest valiti välja ja teostati kaks sobilikku lahendust.

### 3.3.1 Käpa löögiimpulsi muutmine

Esimeseks lahendus ideeks tuli käpa löögi impulsi pikendamine. Pikema impulsi korral oleks käpal rohkem aga palgini liikumiseks. Esmalt tundus, et lahendus oleks väga lihtsasti ja täiesti tasuta rakendatav. Sügavamalt ideed analüüsid avastati, et selles idees on üks põhimõtteline viga ja lisaks tekiksid probleemid ka idee rakendamisel.

Suur viga selles idees avaldub selles, et kuigi signaali pikendamisega saaks eemaldada probleemi, kus käpp ei jõua palgini. Siis jääks ikkagi alles probleem, et käpp jõuab palgini liiga hilja. Sellest lähtuvalt sai kaalutud idee laiendamist sellega, et teha lisaks signaali pikendamisele ka signaal varasemaks. Muutes signaali algusaega varasemaks peaks aeglasema käpa liikumiskiiruse juures käpp õigel ajal palgini jõudma ja suutma selle taskusse lükata.

Sellisel juhul tekiks järgmiseks probleemiks see, et suvisel ajal, kui hüdroõli on soojem, ja seega väiksema viskoossusega, alustaks ka käpp löömise varem. Mistõttu võib juhtuda, et palk lüüakse maha liiga varakult. Lisaks tekitaks väiksema viskoossusega õli korral probleeme see, kui käppade löögi impulss oleks liiga pikk. Liini käppade löögi impulsi on seadistatud sellise pikkusega, et pumba optimaalse viskoossuse, mis on 16...36 mm<sup>2</sup>/s. Selle korral liigub käpa silinder välja ainult ligikaudu 140 mm oma 150

mm käigupikkusest. Sellise seadistuse eesmärk on vähendada käpa välja liikumise peatumisel tekkivat inertsjõudu, kasutades silindri sääre poole jäävat õli pehmendusena. Pehmendus saavutatakse silindri varrepoolse õlirõhu lühiajalise suurenemise teel. Ilma sellise pehmenduseta liiguks käpp täiel kiirusel vastu liini, tekiks metall vastu metalli kontakt ja sellest tulenevalt suured inertsjõud. Sellised jõud kiirendaks käppade liigendite kulumist ja suurendaks liini hoolduskulusid.

Selle probleemi lahendamiseks mõeldi esialgu impulsi stardiaja ja pikkuse muutmist lähtuvalt välisõhutemperatuurist. Kuigi õlitemperatuur ja seeläbi ka viskoossus on suuresti sõltuv välisõhutemperatuurist, siis külmal ajal olukorras, kus töötab pikka aega ainult liini esimene ots, jahtub õli liini tagumises otsas maha, ning muutub viskoossemaks. Kui peale sellist olukorda hakkavad palgid liini tagumisse otsa minema, siis peaksid seal käpa löögi impulsi parameetrid esialgu olema erinevad esimese otsa käppade impulsi. See tähendab, et sobivate löögiimpulsside saamiseks kogu liini pikkuses peaks mõõtma õli temperatuuri mitme kohapeal liinis ja iga käpa impulssi kohandama vastavalt selle juures olevale õlitemperatuurile. See tähendaks väga mitmete temperatuuriandurite installeerimist liinile ja nende jaoks kaablite vedamist.

Proovides uurida sorteerimisliini palgikäppade tööprogrammi selgus, et käppade tööd juhitakse samast arvutist, mis töötleb röntgenskännerist saadud informatsiooni. Sellest tulenevalt peaks liini programmi muutmiseks pöörduma röntgenskänneri valmistanud ettevõtte poole, kellel on võimalus muudatuste sisseviimiseks. Sellest lähtuvalt tekiks probleemid nii temperatuuriandurite kontrolleri külge ühendamise, kui ka parameetrite paika seadmisega. Käppade löögi parameetreid oleks võimalik täpseks seadistada ainult korduvate katsete läbiviimisel erinevate õlitemperatuuride juures.

Lähtuvalt lahendusidee keerulisest ülesehitusest ja pikast seadistusprotsessist otsustati sellest ideest loobuda ning uuriti teisi võimalusi.

### **3.3.2 Õli torustiku suurendamine rõhulangu vähendamiseks**

Palgisorteeri tagumised taskud asuvad hüdrokeskusest ligikaudu 200 m kaugusel. Sellise pikkusega torustiku puhul on suur oht, et võib tekkida liigne rõhulang pumbast eemal olevas toruotsas. Kui käpa juures on torustikust või muudest teguritest tulenevalt väiksem rõhk, kui seal olema peaks, siis muutub käpa löök aeglasemaks, mistõttu ei pruugi toimuda korraliku palgi maha löömist. Torustikus tekkivat rõhulangu mõjutavad peamiselt töövedeliku viskoossus, torustiku pikkus, torustiku siseläbimõõt ja voolukiirus torus. Lisaks mõjutavad rõhulangu ka painded torus, toru siseseina karedus ja vedeliku tihedus. Kuna rõhulang on tugevalt mõjutatud töövedeliku viskoossusest ning viskoossus temperatuurist, siis võib tekkinud probleem olla põhjustatud liiga väikese

diameetriga torust. Järgnevalt leiti rõhulang torustikus külmemate ilmade korral teades, et liinil on kasutusel 25 mm sisediameetriga toru.

### Rõhulangu leidmine torustikus

Rõhulangu arvutamisel võeti vajatavaks õli vooluhulgaks liini lõpus eelmises peatükis välja arvatud 12,5 l/min ehk  $2,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ . Selline vooluhulk oleks väikse varuga olukorras, kus palgisorteer töötab täisvõimsusel ning kõik sorteeritavad palgi lähevad kõige tagumistesse palgitaskutesse. Kuigi selline olukord on suhteliselt harva esinev, siis tuleb siiski arvestada kõige ebasobivama olukorraga, mis võib liinil tekkida.

Esimesena oli vaja leida kasutatava toru sisemine ristlõikepindala, mille järgi oli võimalik leida töövedeliku voolukiirus torus. Need leiti vastavalt valemite (3.1 ja 3.2) järgi.

$$A = \pi * \frac{d^2}{4} \quad (3.1)$$

kus  $A$  – Toru sisemine ristlõike pindala,  $\text{m}^2$ ,  
 $d$  – Toru sisemine diameeter, m.

$$v = \frac{Q}{A} \quad (3.2)$$

kus  $v$  – voolukiirus torus, m/s.

Vastavalt valemitele (3.1 ja 3.2) arvutatakse välja toru ristlõike pindala ja õli voolukiirus torus:

$$A = 3,14 * \frac{0,025^2}{4} = 4,9 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$v = \frac{2,1 * 10^{-4}}{4,9 * 10^{-4}} = 0,43$$

Järgmisena oli võimalik välja arvutada Reynoldsi arv ( $Re$ ). Reynoldsi arv on dimensioonita suurus, mille järgi on võimalik ligikaudselt määrata, kas vedeliku voolamine on laminaarne või turbulentne. Laminaarseks peetakse voolamist siis, kui  $Re < 2300$  ja turbulentseks kui  $Re$  on  $> 2900$ . Vahepealse suuruse korral on voolamine ülemineku faasis.  $Re$  väärtus on oluline, kuna turbulentse voolamise korral suureneb voolamise takistus järsult. Rõhu langu arvutatakse erineva valmiga laminaarse ja turbulentse voolamise korral.  $Re$  leidmiseks on vaja teada vedeliku voolukiirust torus, selle vedeliku kinemaatilist viskoossust ja toru hüdraulilist läbimõõtu. Ümara profiiliga toru hüdrauliline diameeter on võrdne toru sisemise diameetriga. Voolamise  $Re$  arv on võimalik leida järgneva valemiga:

$$Re = \frac{v*d}{V_k} \quad (3.3)$$

kus  $Re$  – Reynoldsi arv,

$V_k$  – Töövedeliku kinemaatiline viskoossus,  $m^2/s$ .

Kui  $Re$  arvu järgi on tegemist laminaarse voolamisega, mida kõik töös tehtud sellekohased arvutused olid, siis on hõõrdetegurit võimalik leida järgneva valemiga:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (3.4)$$

kus  $\lambda$  – Hõõrdetegur laminaarse voolamise korral.

$$\Delta p = \lambda * \frac{l}{d} * \frac{\rho}{2} * v^2 \quad (3.5)$$

kus  $\Delta p$  – rõhu langus torustikus, Pa,

$l$  – Liini torustiku pikkus, m,

$\rho$  – Vedeliku tihedus,  $kg/m^3$ .

Rõhulanguleidmiseks torustikus võeti torustiku pikkuseks 200 m. Vedeliku tiheduseks võeti liinis talviti kasutatava õli tihedus, milleks oli  $848 kg/m^3$ . [11]

Järgnevalt arvutati välja rõhulang erinevate õlitemperatuuride juures. Rõhulangud teisendati paskalitest baaridesse, kuna see on tööstuses laialdasemalt kasutatav rõhuühik. Õlitemperatuurid valiti sellised, millised võivad talvel süsteemis realselt esineda. Õli viskoossused vastavate temperatuuride juures leiti jooniselt (2.2) teades, et talviti kasutatakse VG 22 standardile vastavat õli. Välja arvutatud rõhulangud kanti tabelisse (3.1).

Tabel 3.1 Rõhulang 25 mm siseläbimõõduga torus erinevate õlitemperatuuride korral

Õli temperatuur °C	Õli viskoossus $mm^2/s$	Rõhulangus bar
-10	400	15
-15	600	22
-20	900	33
-25	1600	46

Imavere saeveski mehaanikute sõnul on kindlaks tehtud, et palkide korrektseks maha lükkamiseks peaks rõhk torustikus olema ligikaudu 60 bar-i. See rõhk on saadud katsetega, mille kõik tingimused ei ole täpselt teada, kuid on teada, et katset viidi läbi toatemperatuuril. Antud rõhk on parim teadaolev hinnang mida järgida. Kuna katse viidi läbi toatemperatuuril kus õli viskoossus on väiksem, kui tabelis (3.1) toodud viskoossused, siis võeti maksimaalseks lubatud rõhulanguks torustikus 10 bar. Sellise maksimaalse rõhulanguga peaks jääma piisavalt varu arvestamiseks rõhulangu nii suunaventilis, silindri sisse- ja väljalaske juures ning tagasivoolu torus. Tabelist (3.1)

saab välja lugeda, et juba -10 °C õli temperatuuri juures võib rõhk langeda ligikaudu 15 bar-i võrra, mis on üle ette-võetud piirväärtuse.

### Rõhulangu leidmine võttes kasutusele suurema läbimõõduga torustiku

Järgnevaks arvutati välja tekkivad rõhulangud, kui torustiku suurendada järgmise või ülejärgmise standardsehüdraulika toru mõõduni, ehk 32 mm või 40 mm toru siseläbimõõduni. Arvutuste tulemused kanti tabelisse (3.2):

Tabel 3.2 Rõhulangus 32 ja 40 mm sisediameetriga torudes erinevate õlitemperatuuride korra

Toru siseläbimõõt mm	Õlitemperatuur °C	Õli viskoossus mm <sup>2</sup> /s	Rõhulang bar
32	-10	400	5
32	-15	600	8
32	-20	900	12
32	-25	1600	22
40	-10	400	2
40	-15	600	3
40	-20	900	5
40	-25	1600	9

Tabelist (3.2) on võimalik välja lugeda, et kuigi 32 mm läbimõõduga toru peaks olema piisav, et liin saaks ilma probleemideta töötada kuni -15 °C õlitemperatuuriga, siis külmema õlitemperatuuri korral võib endiselt probleeme tekkida. 40 mm läbimõõduga toru korral peaks liin töötama ilma probleemideta ka kõige külmemate ilmade korral.

### Töö teostatavuse hinnang

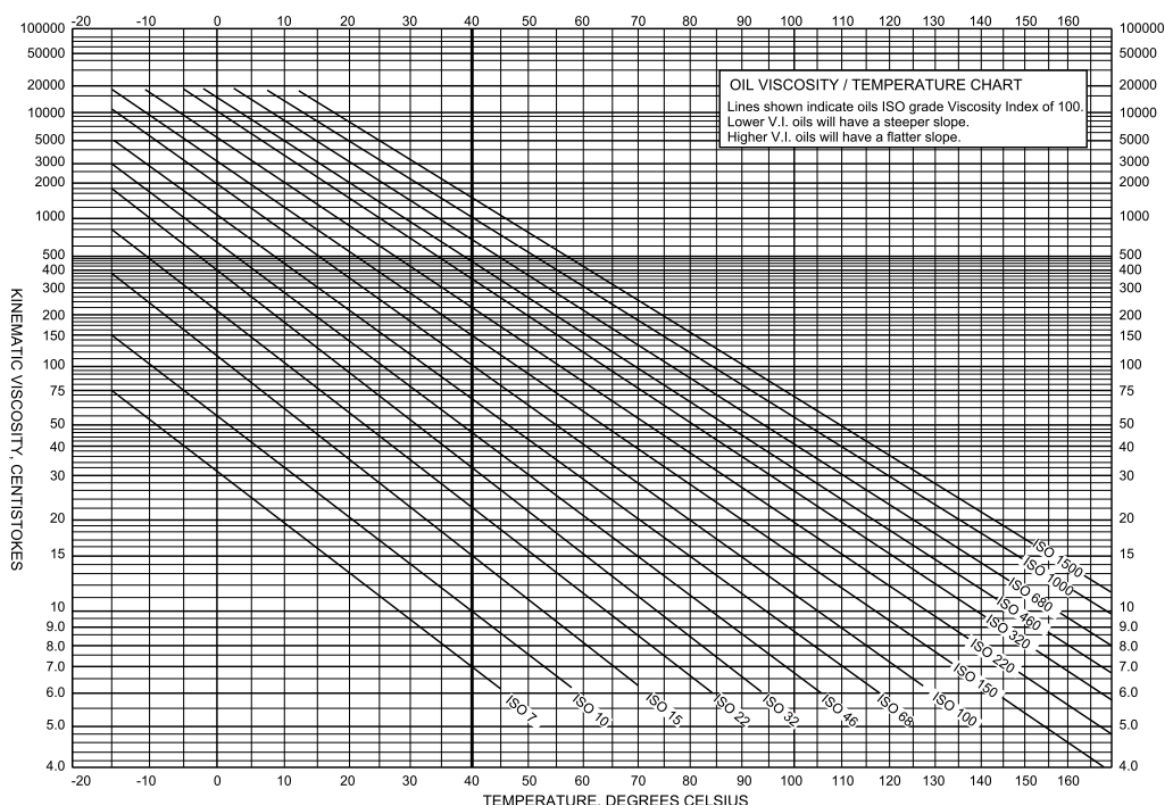
Töö teostatavuse ajaks aga hindasid saeveski mehaanikud ligikaudu 1-2 tööpäeva. Toru vahetamisel oleks kõige probleemsemaks kohaks hüdrokeskuse juures olevate torude vahetamine, kuna see on raskesti ligipääsetav. Lisaks liini toru vahetusele peaks välja vahetama kõik hüdraulika jagajad, mis suunavad õli peatorust hüdrosilindrite juurde. Töö pikast teostatavusajast lähtuvalt loobuti sellest ideest, kuna liin peaks seisma kordades pikemat aega kui tootmisjuhtide poolt lubatud.

### 3.3.3 Väiksema viskoossusega talvise õli kasutamine

Hetkel talviti kasutuses oleva VG 22 VI100 standardile vastava õli viskoossus on juba -10 °C korral 400 mm<sup>2</sup>/s. Kasutatava hüdropumba maksimaalne soovitatav õli viskoossus töö ajal on samuti 400 mm<sup>2</sup>/s. Sellest suurema viskoossuse korral tohib seda hüdropumpa kasutada ainult õli soojendamise perioodiks. Sellest lähtuvalt otsustati uurida mõne teise õli kasutamist talviseks perioodiks. Otsima hakati õli, mille viskoossus oleks -20 °C korral ligikaudu 100 mm<sup>2</sup>/s või väiksem. Sellise viskoossuse korral oleks

25mm sisediameetriga toru korral rõhu langus süsteemis ligikaudu 4 bari, mis peaks eemaldama probleemi sagenemise külmal perioodil.

Sobiva õli standard leidmiseks vaadati õlitemperatuuri ja viskoossuse graafikut (joonis 3.2), millele olid kantud ISO VG VI100 standardi õlide temperatuuri ja viskoossuse sõltuvused. Käsitletaval graafikul ei ole küll õli standardite jooned -20 °C välja joonestatud, kuid mõtteliselt neid sirgelt pikendades saab aimduse ligikaudsest viskoossusest külmemal õlitemperatuuri korral. Graafikul olevates õlistandarditest oli ainukesena sellele kriteeriumile vastav ISO VG 7 õli. Graafiku joon pikendades -20 °C läheb joon natukene üle 100 mm<sup>2</sup>/s, kuid töö autori hinnangul on see piisavalt vähe.



Joonis 3.2 ISO VG VI100 standardile vastavate õlide temperatuuri ja viskoossuse sõltuvuste graafikud [12]

Teine jälgitav kriteerium tulenes suvise ja talvise õli vahetamisest. Nii kevadel talvist õli suvise vastu vahetades, kui ka sügisel vastupidist vahetust tehes tekib alati küsimus, et millal on õige aeg õli vahetada. Probleeme tekitab mitme nädala vältel soojemaks ja külmemaks, edasi ja tagasi mängiv välistemperatuur. Mis võib tekitada olukorra, kus ühel nädalal on temperatuur selline, et peks õli ära vahetama, kuid järgmisel nädalal võib temperatuur uuesti tagasi muutuda. Sellest lähtuvalt on oluline, et suvisel ja talvisel õlil oleks vähemalt 10 °C kattuv töö temperatuuri ala, mis lihtsustaks õli vahetamiseks sobiva aja valimist.

Graafikult (joonis 3.2) saab välja lugeda, et ISO VG 7 standardiga õli saavutab pumba tootja poolt määratud minimaalse pumba tööviskoossuse 10 mm<sup>2</sup>/s ligikaudu 27 °C juures. Saavutamaks soovitud 10 °C kattuvust õli vahetusperioodiks peaks suvel kasutatava ISO VG 32 standardi õli viskoossus temperatuuril 17 °C olema ligikaudu 100 mm<sup>2</sup>/s või alla selle. Graafikut vaadates on näha, et selle temperatuuri juures on õli viskoossus natukene üle soovitud viskoossuse, kuid töö autori hinnangul on see piisavalt vähe.

Sobiva õli saamiseks esitati eelpool mainitud õli valimise kriteeriumid õli tarnijale. Tarnija pakkus välja Addinol „Arctic fluid 5606“ õli, mis on parem, kui soovitud kriteeriumid ette näevad. Tarnija sõnul on antud õli viskoossus -20 °C juures ligikaudu 80 mm<sup>2</sup>/s ja viskoossus 40 °C on 14,2 mm<sup>2</sup>/s. Viskoossuse 400 mm<sup>2</sup>/s, mis on pumba maksimaalne tööviskoossus, saavutab õli alles -40 °C juures. [13]

Tarnija poolt välja pakutud õli valiti uueks talvisel perioodil kasutatavaks hüdraulika õliks. Antud õli on piisavalt väikse viskoossusega, et liin saaks probleemideta töötada ka kõige külmemate ilmadega. Samal ajal tagab piisava viskoossuse ülekatte suvise õliga ülemineku perioodiks.

### **3.3.4 Hüdroakude lisamine**

Kuigi vedelam õli aitab vähendada voolamisest tekkinud rõhulangu torustikus, siis mitme käpa samaaegselt löömisel võib tekkida probleem, et pump ei jõua piisavalt kiiresti rõhu langemisele reageerida ja oma tootlikkust tõsta. Sellise probleemi vastu aitab hüdroakude lisamine süsteemi.

Hüdroakude lisamine aitab kompenseerida käppade löögi ajal tekkivat rõhulangust sellega, et kogu käppade töövedelik ei pea töötsükli aja jooksul kohale voolama ainult kaugel asuvast hüdropumbast, mis tekitaks rõhulangu torustikus, vaid osa tuleb ka palju lähemal asuvast ja seega vähem rõhulangust tekitavast hüdroakust. Pärast kiiret käpalöögi töötsükli on aga pumbal piisavalt aega, et hüdroaku uuesti täita õliga. Kuna süsteemis kasutatakse muutuva tootlikkusega hüdropumpa, siis tekib pumba juures rõhu langemisel väikene viide, enne kui pumba tootlikkus piisava suuruseni jõuab. Hüdroakusse surutakse aga enne käpalööki piisav kogus piisava rõhu all olevat õli sisse, mida torustikus õli rõhu langemisel koheselt sealt välja suruma hakatakse.

Hüdraulikas kasutatakse kolme erineva tööpõhimõttega hüdroakut – gaasiga laetud, raskusjõul ja vedrujõul töötavad akud. Igal tüübil on iseäralikud rõhu ja õli ruumala karakteristikud ning konstruktsioonilised positiivsed ja negatiivsed omadused. Imavere

saeveskis kasutatakse enamasti gaasiga laetud akusi, millest lähtuvalt valiti ka antud projekti tarbeks seda tüüpi akud.

Töös kasutatakse edaspidi gaasiga laetud hüdroakude kohta üldist nimetust hüdroaku. Töös käsitletavat hüdroakude rõhu ja ruumala vahelised seosed kehtivad ainult gaasiga laetud hüdroakude kohta ning ei kehti raskusjõul ja vedru jõul töötavate akude puhul!

### **Akude valimine süsteemi**

Gaasiga laetud hüdroakude ruumala ja rõhu seos on selline, et mida rohkem vedeliku järjest välja voolab, seda väiksemaks läheb ka akus oleva õli rõhk. Selleks, et süsteemi suuremate õli tarbimiste tippude ajal õlirõhk akus või akudes liiga madalaks ei läheks, on vaja valida piisava mahutavusega akud. Akude mahtuvuse valikul on vaja ka arvesse võtta kui suur on süsteemi normaalne töö rõhk. Minimaalne soovitud töö rõhk ning kui suure rõhuga akud eellaetakse.

Hüdroakude koguse, mahtuvuse ja eellaadimis rõhu valimiseks oli vaja esmalt teada kui palju ja millise rõhu juures töövedelikku vaja on. Kuigi keskmiselt teeb palgisorteer kuni 25 palgi maha löömist minutis, siis ei ole nende vahed alati võrdsed. Sageli juhtub et liini erinevates osades lööb ühel ajal mitu palgikäppa. Teada saamaks ligikaudselt kui mitu käppa maksimaalselt korraga lööb vaadati videovahendusel ühe tunni vältel palgisorteereri sorteerimisliini töö. Kõige rohkem nähti selle aja jooksul korraga löömas kuute käppa, mille poolt tarbitud õlikogus oli  $0,5 * 6 = 3$  l. Hüdroakude maht arvestatakse selline, et hüdroakudes olev töövedelik peab suutma ära katta täielikult ühe sellise hetke, nii, et rõhk akus ei langeks alla 70 bar-i.

### **Vana lahenduse võimekuse hindamine**

Esmalt tehti arvutus, et vaadata, kas liinil olemasolevad kaks 4 liitrist põis-akut, mis on eellaetud 60 bar-iga suudaksid selle töö ära teha. Aku mahutavuse arvutamiseks on vaja leida, kui palju väheneb aku põies oleva lämmastiku ruumala, kui selle rõhk tõsta eellaetus rõhu pealt liini töö rõhuni ehk 60 bar-i peal 80 bar-i peale. Seejärel on vaja leida lämmastiku ruumala, kui rõhk tõsta eellaetus rõhu pealt minimaalse soovitud rõhuni ehk 70 bar-ini. Saadud suuruste vahe näitab akust välja voolava õli kogust, kui õli rõhk akus langeb 80 bar-i pealt 70 bar-ini. Võttes eelduseks, et tegemist on isotermilise protsessiga ja ideaalgaasiga, on võimalik ideaalgaasi olekuvõrrandist tuletada ruumala ja rõhu muutuse seos. Ideaalgaasi olekuvõrrand on:

$$p * V = \frac{m}{\mu} * R * T \quad (3.6)$$

kus  $p$  – gaasi rõhk, Pa,

$V$  – gaasi ruumala, m<sup>3</sup>,



$m$  – gaasi mass, kg,  
 $\mu$  – gaasi molaarmass, kg/mol,  
 $R$  – universaalne gaasikonstant,  $R \approx 8,31 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ,  
 $T$  – gaasi temperatuur, K.

Oletades isotermilist protsessi on teada, et gaasi rõhu muutumisel jäävad gaasi mass, molaarmass ja temperatuur konstantseks. Sellest lähtuvalt on võimalik koostada võrrand:

$$p_0 * V_0 = p_x * V_x \quad (3.7)$$

kus  $p_0$  – gaasi rõhk algolekus,  
 $V_0$  – gaasi ruumala algolekus,  
 $p_x$  – gaasi rõhk muutunud olekus,  
 $V_x$  – gaasi ruumala muutunud olekus.

Kuna valemi mõlemad pooled sisaldavad rõhku ja ruumala, siis ei ole vahet milliseid ühikuid kasutada, kuid ühikud peavad mõlemas võrrandi pooles samad olema. Käesolevas töös kasutatakse ühikuteks bar ja liiter. Valemi (3.7) järgi on võimalik tuletada rõhu muutusega akust välja voolava õliruumala valem:

$$\Delta V = \frac{p_0 * V_0}{p_2} - \frac{p_0 * V_0}{p_1} \quad (3.8)$$

kus  $\Delta V$  – akust välja voolava õli ruumala, l,  
 $p_0$  – aku eellaetus rõhk, bar,  
 $V_0$  – aku koguruumala, l,  
 $p_1$  – liini töö rõhk, bar,  
 $p_2$  – minimaalne soovitud aku rõhk, bar.

Valemi (3.8) põhjal arvutati liinil olemas olnud akust välja voolav õli kogus, kui rõhk langeb 80 bar-i pealt 70 bar-ini ja eellaetus rõhk on 60 bar-i:

$$\Delta V = \frac{60 * 4}{70} - \frac{60 * 4}{80} \approx 0,43 \text{ l}$$

Kuna süsteemi on installeeritud kaks akut, siis välja-voolava õli kogus on  $0,43 * 2 = 0,86$  liitrit. See on liiga vähe, et kompenseerida väga lühikese aja jooksul maksimaalset tarbitavat 3 liitrit õli. Viidi läbi arvutus nägemaks, kas need kaks akut on piisavalt suure mahutavusega, kui lubada õlirõhul akus langeda 60 bar-i peale.

$$\Delta V = \frac{60 * 4}{60} - \frac{60 * 4}{80} \approx 1 \text{ l}$$

Kahe aku puhul teeb see koguseks  $1 * 2 = 2$  l. Sellisel juhul oleks akus hoitav õlimaht liiga väike, mis tähendab, et kindlasti oleks vaja akude mahtu suurendada.

### Sobiva hüdroakude mahutavuse leidmine

Järgnevaks leiti, kui suurt hüdroakut oleks süsteemi vaja. Selleks teisendati valem (3.8) kujule:

$$V_0 = \frac{\Delta V * p_2 * p_1}{p_0 * (p_1 - p_2)}$$

Sellise valemi kujuga on võimalik välja arvutada vajatav aku mahutavus, kui on teada vaja minevat õli kogust. Selle rõhuvahemiku ning aku eellaetus rõhku. Järgnevalt arvutati vajalik aku mahtuvus välja teades, et vajaminev õli kogus on 3 l ning see on vaja saada rõhuvahemikus 80-70 bar-i. Arvutused viidi läbi nii olukorraks, kus akud eellaetakse 70 bar-ini kui ka olukorras kus eellaetus on 60 bar-i. Välja arvatud suurused kanti tabelisse (3.3).

Tabel 3.3 Vajatav aku maht nii 70 kui ka 60 bar-i eellaetus rõhu korral

<b>Akude eellaadimis rõhk bar</b>	<b>Vajalik akude mahutavus l</b>	<b>Kasutatav õli kogus rõhu langemisele 80 -&gt; 70 bar-i l</b>	<b>Kasutatav õli kogus rõhu langemisele 70 -&gt; 60 bar-i l</b>	<b>Kasutatav õli kogus rõhu langemisele 80 -&gt; 60 bar-i l</b>
70	24	3	0	3
60	28	3	4	7

Eellaadides kasutatavad akud 70 bar-ise rõhuga, siis oleks vajaminevaks akude mahutavuseks 24 liitrit. Kui sellisel juhul peaks millegi tõttu väga lühikese ajaga rohkem kui 3 liitrit töövedeliku vaja olema, siis ka rõhu langemisel alla 70 bar-i ei tule akust rohkem vedeliku. Selle tõttu arvutati välja ka vajalik akude suurus, kui aku eellaetus on 60 bar-i. Vajalik akude mahutavus läks 28 liitri peale. Sellise eellaetuse ja mahutavuse korral annab aku rõhu langemisel 80 bar-i pealt 70 peale välja 3 liitrit õli. Lisaks kui tarbimine peaks olema korraga suurem kui 3 liitrit, siis jääb veel akusse tööks kasutatavat õli. Selle õli rõhk on küll soovitud väiksem, kuid võimaldab ikkagi mingil määral liinil tööd teha. Rõhu langemisel 70 bar-ilt 60-ni saab sellisel juhul veel lisaks 4 liitrit töövedeliku. Kokku hoitakse sellisel juhul akudes 80 bar-i rõhu korral 7 liitrit õli. Tagavarust lähtuvat valiti natukene suurema mahutavusega ja väiksema eellaetusega süsteem.

Kuigi arvutused tehti isomeetrilise süsteemi kohta, siis realsuses on süsteemis gaasi rõhu alla surumisel tekkinud soojenemise ning rõhu alt vabastamisel jahtumise protsessist tekkinud kaod. Kadudest lähtuvalt installeeritakse akud 25% varuga. Kokku peaks süsteemi installeerima  $28 * 1,25 = 35$  liitrit akusid eellaetusega 60 bar-i.

## Hüdroakude valik

Hüdroakud tuleks installeerida vertikaalselt, nii et õli sisse ja väljalaske ava jääks aku madalamasse punkti. See on oluline selleks, et saaste, näiteks metallipuru, sattumisel akusse oleks sellel suurem tõenäosus sealt välja voolata, ning väiksem tõenäosus aku sees olevaid osasid vigastada. Lisaks aitab see kaasa aku sees olevate liikuvate osade ühtlasemale kulumisele. Liini konstruktsioonist tulenevalt ei ole mõistlik liini keskele installeerida suurema ruumalaga põis-akut, kuna vastasel juhul jääb see liinist palju välja ulatama, mistõttu on suurem oht seda palkide või palgitõstukiga vigastada. Samal põhjusel ei ole võimalik liini keskele installeerida ka kolb-akut. Liini otstesse on võimalik installeerida suurema mahutavusega ja ka kolb tüüpi akusid. Sellest lähtuvalt otsustati liini mõlemasse otsa installeerida üks 10 liitrine kolb-aku ja liini keskele lisaks olemasolevatele akudele kaks 4 liitrist põis-akut nii, et akud jaotuks ühtlaselt liini peale. Selliselt kujunes liini hüdraulika pealevoolu hüdroakude mahutavuseks 36 liitrit.

## Hüdroaku lisamine tagasivoolule

Suured hetkelised õli vooluhulgad mõjutavad lisaks liini hüdraulika pealevoolule ka tagasivoolu. Juhul kui vooluhulk tagasivoolus läheb väga suureks, siis tõuseb ka rõhk liini tagasivoolu torustikus. Suurenenud rõhk aga mõjutab silindrite tööd. Mida suurem on takistus õli silindrist välja lükkamisel, seda rohkem energiat kulub õli välja lükkamiseks, mis vähendab käpa-löögi kasuliku energiat. Mida lähemal asub tööd tegev käpp hüdrokeskusele, seda väiksem on õli voolamise teekonna pikkus, ning seda väiksem on silindris tekkiva vastusurve mõju.

Esmaseks eelduseks võeti, et üks 4 liitrine aku tagasivoolu trassi peale on piisav. See paigaldatakse ligikaudu 50 meetri kaugusele liini tagumisest otsast. Aku paigaldata liini keskosast tahapoole seetõttu, et liini esimene ots on lähedal hüdrokeskusele, mistõttu on seal akust vähe kasu. Hüdroaku eellaetus peab olema piisavalt kõrge, et tagada piisav õli vooluhulk akust välja ka jahedamate ilmadega töötades. Selleks arvutatakse välja rõhulang liinis, kui külm õli viskoossusega  $100 \text{ mm}^2/\text{s}$  voolab 25 mm läbimõõduga torus vooluhulgaga 12,5 l/min, 150 m pikkuse teekonna. Aku eellaetakse sellest rõhust natuke suurema rõhuga. Liiga suure eellaetuse korral peab tagasivoolu rõhk minema väga suureks, et sobiv kogus õli akusse mahuks. Maksimaalseks rõhuks, mis hüdroaku võib saavutada, kui sinna sisse läheb 3 liitrit õli, võetakse 15 bar-i.

Rõhu languse leidmiseks kasutati valemit (3.5), ning saadi rõhulanguks 2,7 bar-i. Sellest lähtuvalt võeti aku eellaetuseks 3 bar-i. Järgnevas kontrolliti valemi (3.7) abil, kas sellise eellaetuse korral jääb aku rõhk alla 15 bar-i, kui akusse läheb 3 liitrit õli, ehk kui gaas akus surutakse 1 liitrisse ruumalasse.

$$p_1 = \frac{p_0 * V_0}{V_1} = \frac{3 * 4}{1} = 12 \text{ bar}$$

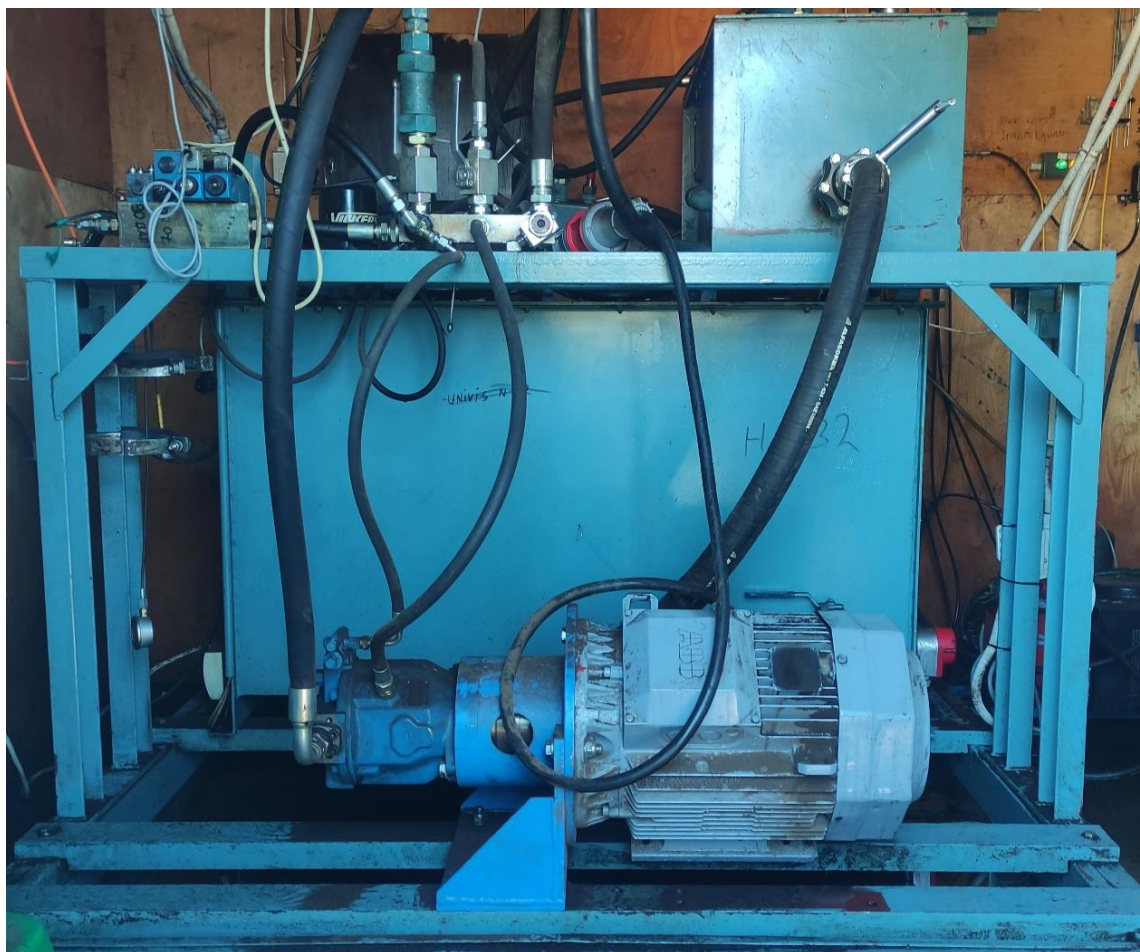
Sellise mahutavusega aku sobib tagasivoolu torustikus kasutamiseks, seega lisatakse tagasivoolu torule üks 4 liitrine põis-aku, mis eellaetakse 3 bar-ise rõhuga.

### **Hüdroakude installeerimine**

Hüdroakude lisamise tööd pidasid mehaanikud suhteliselt kiiresti teostatavaks. Ühe aku paigaldamiseks läheb alla poole tunni, tänu millele on võimalik teha seda liinioperaatori lõunapausi ajal. Liini peal olevad hüdroakud paigaldati süsteemi enne hüdrokeskuse paigaldamispäeva selleks, et paigalduspäeval oleks vähem asju mida teha.

## 4. HÜDROKESKUSE PROJEKTEERIMINE

Hüdrokeskuse projekteerimist alustati sellest, et uuriti välja millised puudused olid kasutusel olevas süsteemis. Selliselt on võimalik samu vigu vältida uue keskuse projekteerimisel. Puuduste leidmiseks vaadeldi kasutusel olevat süsteemi (joonis 4.1) ja küsitleti mehhaanikuid, kes vastutavad igapäevaselt liini hooldus ja remonttööde eest. Projekteerimisel tuli arvestada ka hüdraulikaruumi suuruse, kuju ning uste asetuse ja mõõtudega.



Joonis 4.1 Palgisorteeeri vana hüdrokeskuse

Suurimateks probleemideks mehaanikute sõnul olid hüdraulika filtrite asukoht ning keskmäärimise õlipaagi väikene mahutavus. Õlifiltrid asuvad raskesti ligi pääsetava koha peal, mistõttu on nende vahetamine keeruline, aeganõudev ja sageli ka väga riideid määriv töö. Keskmäärimise õlipaagi liiga väike mahutavus aga muudab selle täitmise aeganõudvamaks ja ebamugavamaks.

Ruumi uurides sai koheselt selgeks, et mahutid tuleb valmis ehitada väljaspool hüdraulikaruumi. Peamisteks probleemideks oli tuletööde tegemise ohutus töötava hüdraulika keskuse lähedal, ruumipuudus palgisorteeeri hüdrokeskuse ruumis ja suur

müra töös olnud hüdrokeskusest. Lisaks puudusid selles ruumis töövahendid ja ka ehitamise materjalid asuvad liiga kaugel.

Sellest lähtuvalt tuli hüdrokeskus projekteerida nii, et see oleks võimalik valmis ehitada töökojas ja sealt transportida palgisorteeri hüdrokeskuse ruumi. Kõige kitsam koht sellel teekonnal oli hüdrokeskuse ruumi uks, mille valgusava mõõtmed olid 2050 \* 1980 mm. See seadis projekteeritavale keskusele maksimaalse laiuse ja kõrguse. Maksimaalne keskuse pikkus tulenes ruumi pikima seina pikkusest, mis oli 3,4 m. Projekteerimisel oli vaja ka arvestada sellega, et hüdrokeskust oleks võimalik transportida kahveltõstukiga ja selle paigaldamine oleks tehtav vähem kui kahe ja poole tunni jooksul. Lisaks tuli arvestada sellega, et kui mõni varasemalt mainitud muudatus ei hakka tööle, või selgub, et on mõni suur viga arvutustes tehtud, oleks võimalik kiirelt võimalik ümber lülitada vanale süsteemi ülesehitusele.

## **4.1 Hüdrokeskuse riistvara**

Projekteeritud hüdrokeskus koosneb kolmest mahutist – suveõli, talveõli ja keskmäärimise õli mahutid. Järgnevalt on välja toodud kuidas selgitati välja iga mahuti vajalik ruumala ja mõõtmed.

### **4.1.1 Keskmäärimise mahuti**

Keskmäärimise ülesanne on vähendada palgiveokettide ja nende liugpindade kulumist. Määret doseeritakse iga viie minuti tagant automaatselt. See teeb iganädalaseks õlikuluks ligikaudu 300 liitrit. Määrdeõli ostetakse 1000 liitrite mahutite kaupa. Kuna õli kulub suurtes kogustes ning mahuti hoiustamise ruum asub hüdrokeskuse ruumist kaugel, siis peab mahuti olema nii suur, et korraga oleks võimalik kogu 1000 liitrine transpordi mahuti ümber valada hüdrokeskuse mahutisse. Samal ajal peab olema välistatud hüdrokeskuse mahuti täielik tühjendamine, mis tooks kaasa liini seiskumise niikauaks, kuni õlitase paagis taastatakse. Vajaliku mahuti mahutavuse leidmisel tuleb arvestada ka sellega, et mahuti tühjenemise märkamisel võib tekkida inimlik eksimus nii liinioperaatori kui ka mehaaniku poolt. Lisaks peab arvestama sellega, et imitoru ei ole paagi põhjas ja seega jääb mingi kogus vedeliku paaki alles. Imitoru ei ole mõistlik paagi põhja panna seetõttu, et kui paaki peaks sattuma õlist suurema tihedusega saastet, näiteks metallipuru, siis see vajub paagi põhja. Kui imitoru on otse paagi põhjas, siis on võimalik saastet imitoru kaudu süsteemi tõmmata. Paagi külgmise seina peal, alumises otsas asuva imitoruga on selle oht palju väiksem. Külgmise seina sees

oleva imitoruga on ka süsteemi ehitus lihtsam. Sellest lähtuvalt otsustati, et paagi suuruseks saab transpordi mahuti suurus korda tegur 1,4, ehk  $1000 \cdot 1,4 = 1400$  liitrit.

Esimeseks tingimuseks mahuti kõrguse määramisel oli see, et mahuti ei tohik olla keskmise inimese rinnakõrgusest kõrgem. Seda sellepärast, et mahutit täitmiseks ei oleks vaja pukki või redelit. See teeb täitmise ohutumaks, kiiremaks ja mugavamaks.

Järgnevas uuriti milliseid andureid oleks õli tasapinna mõõtmiseks ja kas on mõni sobiv andur ettevõtte laos juba olemas. Selgus, et ühtegi sobivat andurit laos olemas ei olnud, küll aga oli varasemalt õlimahutil kasutatud SICK "LFP1000-B5NMC" andurit. Selleks et toomisesiseselt hoida ostutoodete varieeruvust madalamal otsustati kasutada sama andurit. Valitud anduri mõõteulatus on kuni 1 m, millest lähtuvalt valiti ka mahuti kõrguseks 1 m [14]. Kuna mahuti konstrueeritakse raamile, mille abil on seda võimalik transportida, siis saab mahuti kaane kõrgus maast olema raami kõrguse jagu kõrgem. Mahuti laiuseks valiti 1 m ning kolmanda külje pikkuse saab arvutada välja teades, et paagi mahtuvus peab olema ligikaudu 1400 liitrit ehk  $1,4 \text{ m}^3$ . Kui paagi kaks külge on pikkusega 1 m, siis  $1,4 \text{ m}^3$  ruumala saavutamiseks peab kolmanda külje pikkus olema 1,4 m.

#### **4.1.2 Suveõli mahuti**

Suvine hüdraulika õlipaak peaks olema piisavalt suur selleks, et palavatel suvepäevadel õli üle ei kuumeneks. Õli liiga kõrge temperatuur muudab selle vedelamaks ja vähendab määrimisomadusi, mis omakorda toob kaasa liikuvate osade suurema kulumise. Soojema õli korral suureneb ka tihendite temperatuur, mis vähendab nende eluiga. Suviseks õliks kasutatakse ISO VG 32 standardile vastavat õli, mis saavutab hüdraulika pumba tootja poolt määratud minimaalse õli viskoossuse ligikaudu  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  juures. Liini hüdraulika temperatuuri häire on aga seatud  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ . Sellest lähtuvalt võiks liini normaalse talituse korral õli temperatuur jääda alla  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ . Selle järgi leitakse vajalik paagi pindala, et tagada õli piisav passiivne jahutus ka palavatel suvepäevadel.

Teades, et süsteemi hüdraulika võimsustarve töö aja on ligikaudu 1,7 kW, ning eeldades, et süsteemi kaod, mis lähevad õli soojendamiseks on 30% kasulikust energiast, saab leida paagi vajaliku jahutusvõimsuse. Sellisel juhul on vaja paagi seinte kaudu eraldada  $1,7 \cdot 0,3 = 0,51 \text{ kW}$  ehk 510 W energiat. Arvestades, et ruumi temperatuur võib palavatel päevadel tõusta kuni  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ , leian valemi (4.1) abil vajaliku pindala energia paagi seintest eraldamiseks, kui paagi ja töövedeliku temperatuur on  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$Q = h_c * A * (T_{kõrge} - T_{madal}) \Rightarrow A = \frac{Q}{h_c * (T_{kõrge} - T_{madal})} \quad (4.1)$$

kus  $Q$  – Paagist eralduv soojus, W,  
 $h_c$  – Terasse konvektsiooni koefitsient seisvas õhus, 13,14 W/m<sup>2</sup>\*k [15],  
 $A$  – Paagi pindala, m<sup>2</sup>,  
 $T_{kõrge}$  – Kõrgem temperatuur, °C,  
 $T_{madal}$  – Madalam temperatuur, °C.

$$A = \frac{510}{13,14 * (60 - 40)} = 1,9 \text{ m}^2$$

Õlitaseme alanemisel paagis muutub ka soojusülekanne õlilt paagile kehvemaks, kuna paagi ülemises otsas ei puutu soe õli vastu paagi seina. Tagamaks piisavat jahutust ka madalama õlitaseme korral võeti paagi pindala 40% varuga ja saadi paagi seina pindalaks 1,9 \* 1,4 = 2,66 m<sup>2</sup>.

Ehituse lihtsustamiseks, ruumi ja materjali kokkuhoidmiseks ning parema jahutuse saavutamiseks on mõistlik suvise paagi üks külge kokku ehitada keskmäärimise õli paagiga. Ehitust lihtsustatakse sellega, et kaks külge ja paagi põhi oleks mõlema paagi jaoks ühest tükist ja seega peab tegema vähem lõikeid materjalist. Materjali hoiab kokku see, et ühte külge jagavad omavahel kaks paaki. Parem jahutus tuleneb küljest, mida kaks paaki jagavad, kuna suvepaagist tulev soojus kandub ruumi temperatuuril olevale keskmäärimise õlile ning õli soojusjuhtivus on suurem õhu soojusjuhtivusest. Suveõli paagi kahe külje pikkused määrab ära keskmäärimise paagi küljepikkused, milleks mõlemaks on 1 m. Kolmanda külje pikkus arvutati välja teades kahe külje pikkust ja vajaliku paagi pindala. Kuna paagi põhja all ei saa õhk nii vabalt liikuda kui selle külgedel ja peal, siis pindala arvutamisel jäeti see arvestamata. Paagi kolmanda külje pikkus leiti valemiga:

$$A = 2 * (a * b) + 2 * (a * c) + (b * c) \Rightarrow c = \frac{A - 2 * (a * b)}{2 * a + b} \quad (4.2)$$

kus  $A$  – Paagi pindala, m<sup>2</sup>,  
 $a$  – Paagi kõrgus, m,  
 $b$  – Paagi sügavus, m,  
 $c$  – Paagi laius, m.

$$c = \frac{2,66 - 2 * (1 * 1)}{2 * 1 + 1} = 0,22 \text{ m}$$

Sellest lähtuvalt sai suvise paagi mõõtmeteks 1\*1\*0,22m. Selle paagi ruumalaks on 1\*1\*0,22 = 0,22 m<sup>3</sup> = 220 l.



### **4.1.3 Talveõli mahuti**

Esialgu valiti talvise mahuti mõõtmeks samad mõõdud, mis arvutati välja suvise paagi juures. Projekteerimise käigus selgus aga, et sellise paagi laiuse korral on raske ära mahutada õli soojendustenne, mehaanilist õli tasemenäidikut ja imitoru nii, et kõik kolm oleksid kergesti ligipääsetavad ja et soojendustennid oleksid imitoru lähedal. Kaks soojendusteni, 3 kW ja 1 kW, lisati selleks, et vajadusel tagada piisavalt väikene õli viskkoosus ka kõige külmemate ilmade korral. Need peavad olema imitoru lähedal selleks, et tagada võimalikult palju soojendust trassi minevale õlile. Paagi tagasivoolu poolses otsas oleva õli temperatuur ja seeläbi viskkoosus on vähem olulisem. Soojendustennide imitoru lähedale mahutamise eesmärgil tehti talvise õli paak 30 mm laiem suvise õli paagist.

Talvise õli paak tehti keskmäärimise paagi külge, suvise õlipaagi vastas seinale. Parema soojusisolatsiooni saavutamise eesmärgil eraldati talvise ja keskmäärimise õlipaak topelt vaheseinaga. Kahe vaheseina vahele jäeti 50 mm laiune õhuvähe. See õhuvähe toimib isolaatorina võrreldes sellega, kui otse vastu talvise õlipaagi seinale oleks keskmäärimise õli.

### **4.1.4 Mahutite lisa varustus**

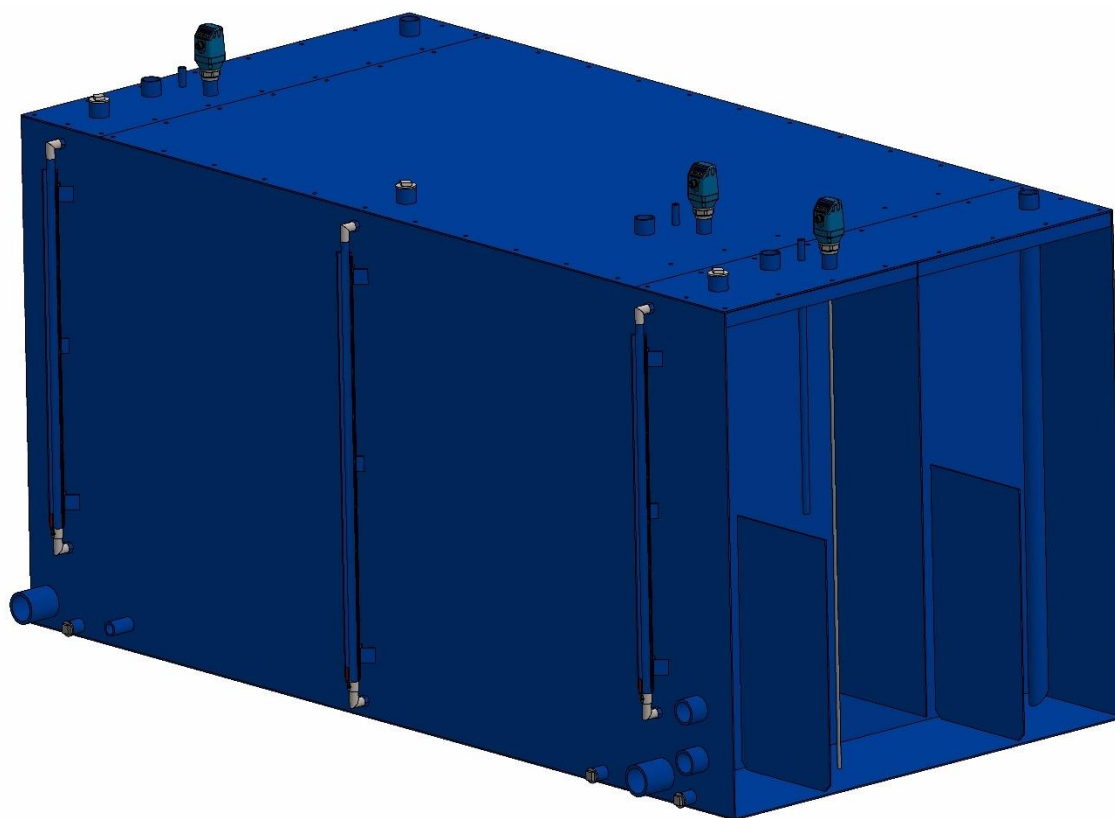
Kõik kolm paaki sai varustatud nii mehaanilise tasemenäidiku, kui ka elektroonilise tasemeanduriga. Elektrooniliseks tasemeanduriks valiti varasemal mainitud SICK "LFP1000-B5NMC" andur. Anduri mõõtetäpsus on  $\pm 5$  mm, mõõteaeg  $< 400$  ms ja maksimaalne tasememuutus  $\leq 500$  mm/s [14]. Kõik need näitajad piisavalt head käesoleva projekti jaoks. Mehaanilise tasemenäidiku eesmärk on esialgu võimaldada veenduda, et anduri signaali töödeldakse õigesti. Edaspidi annab mehaaniline näidik võimaluse rikke tuvastamiseks elektroonilise anduri töös. Mehaaniline näidik tehti läbikumavast plastiktorust, mille ülemine ja alumine ots on ühendatud paagiga. Selliselt on torus oleva õli tasapind alati samakõrgel, kui paagis oleva õli tasapind. Kuna mehaanilised tasemenäidikud asuvad paagi küljepeal ning ulatuvad suuremast osast ülejäänud detailidest väljapoole on suur oht neid vigastada. Vigastuste vältimiseks tehti 30\*30\*3 nurkruust mõõdikutele kaitseraud. Kuna kaitseraud ei pruugi igas olukorras plastikust toru kaitsta, siis pandi alumise toru otsa ja paagi vahele kraan, mille abil on võimalik toru purunemisel õli lekkimine peatada. Kaitseraudade peale kinnitati metalljoonlauast tehtud skaala, mille järgi saab verifitseerida elektrooniliste andurite näitu.

Õli tasapind paagis pidevalt muutub tulenevalt õli soojenemisest ja jahtumisest, hüdroakudes hoiustamisest või keskmäärimise õli puhul ka lihtsalt selle kasutamisest.

Sellest lähtuvalt peab muutuma ka õhu hulka paagis. Vähendamaks õhu hulga muutumisega paaki sattuva saepurutolmu ja niiskuse hulka varustati kõik kolm paaki õhu ja niiskuse filtriga. Õhufiltriks kasutati Hifi Filter „FS 500“ filtrit [16].

Kõik paagid said varustatud ka „PT100“ tüüpi temperatuurisensoriga, mis sisestatakse paagi pealt paagi keskel asuvasse torusse. Toru alumine ots on hermeetiliselt suletud, seega ei puutu sensor kokku paagi sees oleva õliga. Selliselt võib sensor olla vähesel määral ebatäpsem, kuid sensori vahetamine on lihtsam, meeldivam ning puudub oht mustuse ja sodi sattumiseks paaki.

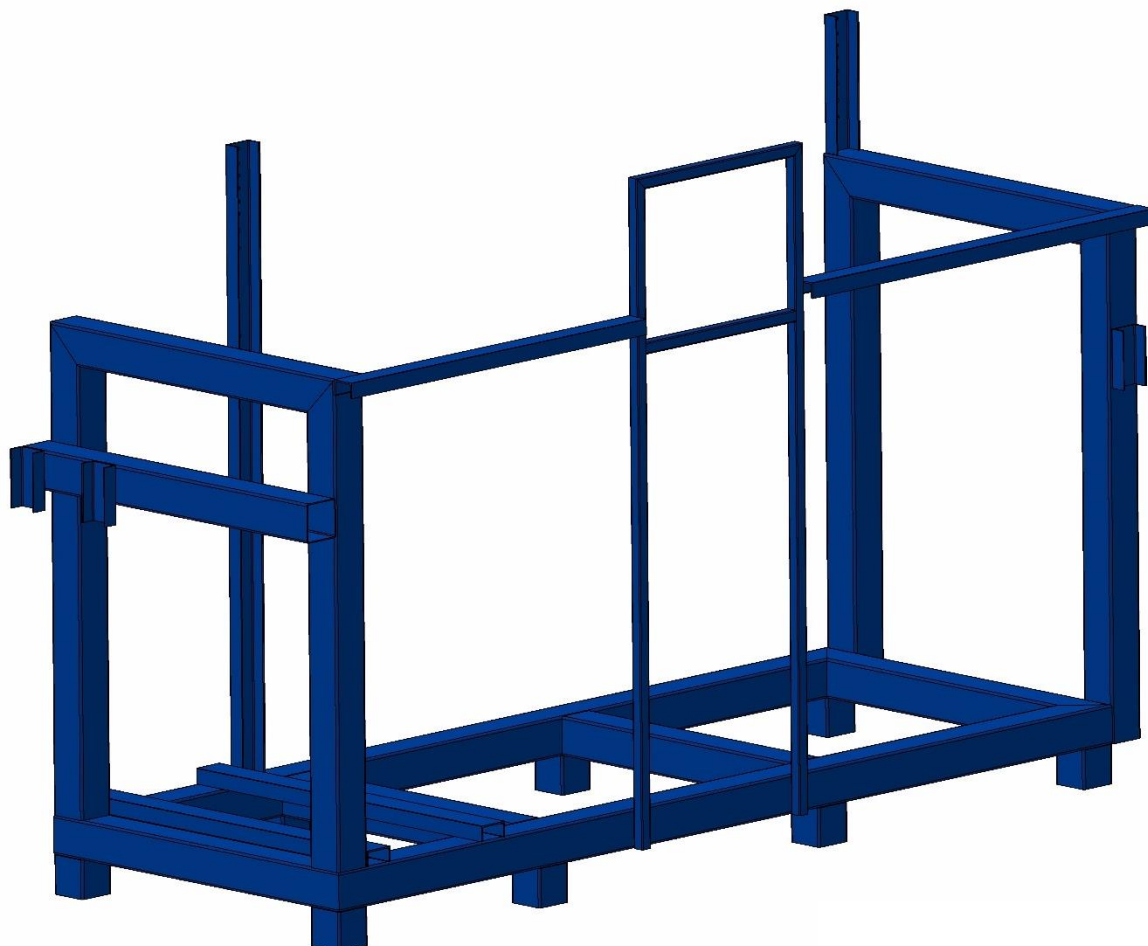
Igal paagil on küljepeal, alumise seina juures paagi tühjendamiseks õli väljalaskeava. Väljalaske ava on alumise äärega peaaegu vastu paagi põhja, mis võimaldab paagi täieliku tühjendamist selle kaudu. Kõikide paakide täitmise ja tagasivoolu avad asuvad paagi kaane peal. Nii suvise, kui ka talvise paagi sisse projekteeriti vaheseinad. Vaheseinade eesmärk on takistada õhuga segunenud õli sattumist imitorusse. Mõlemas paagis on kolm vaheseina, mille asetust on näha paagi mudeli joonisel (joonis 4.2). Kõik paakide seinad ja vaheseinad on valmistatud 3 mm paksusest lehtmestallist.



Joonis 4.2 Mahutite mudel, läbipaistva talvise õli mahuti seinaga

#### 4.1.5 Hüdrokeskuse raam

Mahutite ja ülejäänud hüdrokeskuse osade ühendamise eesmärgil ehitati need kõik ühise raami peale (joonis 4.3). Suurem osa raamist valmistati 100 \* 100 \* 4 mm nelikanttorust, kuid kasutati ka teisi profiilitüüpe. Raami projekteerimisel tuli arvestada, et ära mahuks nii hüdropumbad ja nende mootorid, õli peale- ja tagasivoolufiltrid kui ka hüdrokeskuse elektroonika osa. Keskuse transportimise võimaldamiseks pandi raam kaheksa jala peale. Jalgade kõrgus pidi olema piisavalt kõrge, et kahveltõstuki kahvlid mahuksid raami alla. Sama ei tohtinud need olla liigakõrged, sest vastasel juhul läheb ebamugavaks hüdrokeskuse kallal töötamine. Sellest lähtuvalt tehti jalad sama kõrgeks nagu seda on „EUR“ tüüpi kaubaalusel, mis on 100 mm. Sellise kõrgusega on tagatud kahveltõstukiga keskuse transpordi võimalus.



Joonis 4.3 Hüdrokeskuse raam

#### 4.1.6 Hüdraulika komponentide valik

Teades kasutatava hüdraulika pumba maksimaalset vooluhulka, oli võimalik välja arvutada sobilik imitoru diameeter hüdraulika paagist pumbani. Kuna süsteemi jäätakse

tagavaraks ka suurem hüdropump ja mootor, siis imitoru diameeter arvestatakse selle pumba vooluhulga 150 l/min põhjal. Pumba andmelehe järgi võib pumba sisselaske õlirõhk olla minimaalselt 0,8 bar-i absoluutrõhku [3]. Varu arvestamiseks võetakse maksimaalseks rõhu languks torus 0,1 bari. Kuna talvise õli paak asub kaugema, kui suvise oma, siis võetakse arvutuse läbiviimiseks teekonna pikkus talvisest paagist hüdropumbani, milleks on ligikaudu 3,5 m. Torustikul on ka mitu 90° nurka, mille tekitatav takistus pole teada. Arvestamaks ka nendega võetakse rõhu langa arutamisel kahekordne torupikkus, mis peaks kompenseerima ka 90° nurkadest tekkiva takistuse – seega toru pikkuseks võetakse  $3,5 * 2 = 7$  m. Minimaalseks soovitud õli viskoossuseks süsteemis on  $100 \text{ mm}^2/\text{s}$ , samal viskoossusega leitakse ka sobiv toru diameeter. Sobiva toru diameetri väljaarvutamiseks oleks olnud võimalik valemist (3.5) avaldada toru sisediameeter. Selle avaldamine oleks olnud suhteliselt keeruline, ning suur oht oleks olnud teha viga avaldamisel. Sellest lähtuvalt kasutati Excel-i tabelit, kuhu kanti sisse kõik teada olevad parameetrid ja valem (3.5). Seejärel hakati arvutama rõhulangu erinevate toru läbimõõdudega. Esimesena arvutati toru läbimõõduga 45 mm, mis andis rõhulanguks 0,14 bar-i. Kuna rõhulangus oli natukene liiga suur, siis mindi toru läbimõõduga 1 mm kaupa suuremaks, kuni jõuti läbimõõduni 50 mm, mis oli esimene mõõt mille korral rõhulangus oli alla 0.1 bar-i. See mõõt võeti ka sobivaks toru siseläbimõõduks.

Ülejäänud hüdraulika pealevoolu jaoks sai kasutatud 25 mm siseäbimõõduga voolikuid ja torusid – sama läbimõõduga toru kasutatakse ka sorteerimisliini pealevoolul. Tagasivoolul kasutati natukene suuremaid, 32 mm läbimõõduga torusid ja voolikuid, mis vähendab õli tagasivoolamise takistust ning seeläbi ka rõhu tekkimist tagasivoolu torustikus.

Õli pealevoolu poolel kasutati Hifi Filter „SH 87163” filtrielementi. See filtrielement suudab välja filtreerida kuni  $5 \mu\text{m}$  suuruse saaste. Maksimaalne vooluhulk läbi elemendi on õliviskoossuse  $30 \text{ mm}^2/\text{s}$  ja rõhulangu 0.75 bar korral 400 l/min. Kuigi see vooluhulk on palju suurem kui suurema hüdropumba maksimaalne tootlikkus, siis väiksem filtri element oleks maksnud kasutusele võetud filtri elemendist rohkem. Kuna liin töötab ka väga külmade õhu ning sellest lähtuvalt ka õli temperatuuride korral, siis peab filtri läbilaskevõime olema piisavalt hea ka suurema viskoossusega õli korral. Sellest lähtuvalt installeeriti kaks sellist filtri elementi paralleelselt, mis vähendab veelgi rõhulangu filtris. Lisaks pikendab kahe paralleelse filtri kasutamine liini filtrite vahetuse välja. Kõrgsurve filtriga paralleelselt ühendati diferentsiaalrõhurelee, mis annab märku liiga suurest rõhulangust filtris, mis tekib siis kui filtri elemendis on liiga palju mustust. [16]

Tagasivoolul kasutati Hifi Filter „SH 63331“ filtrielementi. Maksimaalne vooluhulk läbi selle elemendi on õliviskoossuse 30 mm<sup>2</sup>/s ja rõhulanguga 0.45 bar korral 500 l/min. Kuna selle filtri korpuse mahutavus on väga suur, siis kasutati kahte paralleelset filtrit. Ühte filtrit kasutatakse suvise õli jaoks ning teist talvise õli jaoks. Kahe eraldi filtri kasutamise eesmärk on vähendada õlide segunemist suvise ja talvise õli vahel vahetades. [16]

Sama tüüpi filtrielemente on kasutatud ka teistes Imavere saeveski hüdraulika süsteemides, seega ei ole vaja laos hoiustada erinevat tüüpi filtreid, mis oleks spetsiifiliselt palgisorteerii tarbeks. Kõikide kasutatud filtrite korpused on Imavere saeveski mehaanikute poolt ise valmistatud, mis vähendab oluliselt nende maksumust ja teeb filtrielemendi vahetust mehaanikutele mugavamaks.

Keskäärimisüsteemi torud, voolikud, filter ja pump koos mootoriga said kasutatud samasuguseid komponente nagu kasutati vanas süsteemis, kuna nendega ei olnud vanas süsteemis probleeme.

Joonisel (4.4) on näha valmis projekteeritud hüdrokeskus. Hüdrokeskuse koostu, ühe alamkoostu ning selle detailide ja ühe keeviskoostu joonised asuvad töö graafilises osas. Joonisel kasutatud mootorite, pumpade, andurite ja elektrikilbi mudelid on alla laetud tootjate kodulehtetelt või "GrabCAD" keskkonnast. Graafilises osas asub ka töö käigus koostatud hüdraulikaskeemi joonis. [14], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [22], [23]



Joonis 4.4 Valmis projekteeritud hüdrokeskus eestvaates

## 4.2 Hüdrokeskuse automaatikaseadmed

Hüdraulika keskuse sensorite ja andurite väljundite lugemiseks ning nende põhjal muudatuste tegemiseks on need vaja ühendada kontrolleri. Kontrolleri võimaldab andurite ja sensorite väljundväärtuste teisendamist inimestele lihtsasti loetavale kujule ning sobivatesse ühikutesse, peatada liini ebasobivate parameetrite korral ja ka viia läbi automatiseeritud süsteemidiagnostikat. Ühendades kontrolleri arvutivõrguga, on võimalik teostada ka keskuse parameetrite kauglugemist ja ka andmete serverisse salvestamist. Andmete kauglugemine võimaldab mehaanikutel süsteemi kohta reaalajas informatsiooni saamist ilma palgisorteri kohale sõitmiseta. Andmete salvestamine võimaldab näiteks lühiajaliste anomaaliate avastamist ja lihtsustab nende tekkepõhjuste leidmist.

### 4.2.1 Kontrolleri valik

Süsteemi juhtimiseks kasutati Siemensi SIMATIC S7-300 CPU 315-2 (joonis 4.5) PLC-d (PLC - *programmable logic controller* – programmeeritav loogikakontroller). Valik langetati selle põhjal, et praegune palgisorteri programm töötab sellel kontrolleri. Praeguse programmi pikim tsükli aeg, ehk aeg mille jooksul protsessor läbib kogu programmi alustades sisendite lugemises ja lõpetades väljundite kirjutamisega, on 14 millisekundit maksimaalsest 150-st. See näitab, et PLC-l on veel piisavalt protsessori jõudlust üle selleks, et hakkama saada ka hüdraulika keskuse juhtimisega. Palgisorteri programm kasutab ära 64% programmimälust, seega ei tohiks olla ohtu programmimälu otsa saamiseks. Ainukeseks teguriks, mille pärast kaaluti võimsamat protsessorit oli sisseehitatud S7 taimerite piiratud arv tõttu.

S7 taimerid on Siemensi kontrolleri sisse ehitatud taimerimälualad, mida on väga lihtne kasutada mõne väljundi sisse- või väljalülitamise viite tekitamiseks. CPU 315-l on maksimaalne taimerite arv 256. Palgisorteri programmis oli juba ära kasutatud neist 239 tükki – seega vabu taimereid oli ainult 17. Sama põlvkonna võimsamal PLC-l, CPU 317, oleks 512 sisseehitatud taimerit ja järgmise põlvkonna, S7-400 ja S7-1500, PLC-del oleks neid 2048 tükki. Lõppkokkuvõtteks jäi kasutusse siiski algne protsessor ja sisseehitatud taimerite nappusele leiti lahendus, mida käsitletakse käesoleva töö järgnevas peatükis. [24]

Kasutusel oleval CPU 315-2 kontrolleri (edaspidi PLC) on PROFIBUS DP liides ja kaks Ethernet PROFINET liidest. Programm kirjutatakse PLC sees olevale mälukaardile ning programmeerimiseks saab kasutada nii PROFIBUS kui ka PROFINET võrku. PLC enda küljes ühtegi sisendit ega väljundit ei ole. Need lisatakse laienduskaartidega, mis

ühendatakse PLC külge PROFIBUS liidesega. Tööks vajab protsessori 24 voldist alalisvoolu toiteallikat. [25]



Joonis 4.5 Kasutusele võetud protsessor Siemens SIMATIC S7-300 CPU 315-2 [25]

#### **4.2.2 PLC lisamoodulid**

Sisendite ja väljundite kasutamiseks tuleb lisada vastavad moodulid, mis ühendatakse läbi liidese mooduli PROFIBUS võrgu kaudu kontrolleri külge. Hoidmaks erinevate lisamoodulite arvu saeveski peale väiksemana, kasutati selliseid lisamooduleid, mida oli juba varasemalt kasutatud teistes saeveski osades. See vähendab laos suurust ning kui mingi põhjusel tekib moodulis rike, on selle väljavahetamisel ekslikult vale osa kasutamise tõenäosus väiksem. Teiseks põhjuseks oli see, et osad moodulid olid juba laos tagavaraks olemas. See võimaldas tagavara mooduleid kasutada hüdraulika keskuse testimisel, mistõttu puudus mitme kuu pikkune moodulite tellimisest tekkida võinud ajaviivitus. Juhul kui oleks kiiresti olnud vaja tagavaramoodulit kasutada mõnel tootmisliinil, oleks saanud selle vähese vaevaga testitavast hüdroke keskusest välja võtta ja tootmisliinil kasutada.

#### **Digitaal sisendite moodul**

Digitaal sisendite mooduliks valiti S7-300 põlvkonna 6ES7321-1BH02-0AA0 moodul (joonis 4.6). Igal moodulil on 16 sisendit, mis jagunevad kaheks grupiks. Mõlemal sisendigrupil on oma aadressi bait, milles iga bitt näitab ühe sisendi olekut. Sisendite aadressid märgitakse „I“-ga, millele järgneb sisendi grupi number, seejärel on „.“ ning peale seda kirjutatakse biti number, mitmendat sisendit soovitakse lugeda vahemikus 0...7. Näiteks aadress I10.3 viitab kümnenda grupi kolmandale sisendile. Sisend töötab

24V signaaliga, kus pinge vahemikus  $-30...+5$  V annab sisendi väärtuseks „0” ja pinge vahemikus  $13...30$  V annab sisendi väärtuseks „1”. Mooduli toitepingeks on 24 V. Projektis kasutati ühte sisendite moodulit, mille aadressideks said I10...I11. Aadressid valiti esimesed vabad aadressid algsest tööks olnud palgisorteeri programmist. [26]



Joonis 4.6 Kasutusele võetud digitaal sisendite moodul [26]

### **Digitaal väljundite moodulid**

Digitaal väljundite mooduliteks valiti S7-300 põlvkonna 6ES7322-1BH01-0AA0 moodulid (joonis 4.7). Sarnaselt digitaal sisendite moodulitega, on digitaal väljundil 16 väljundit, mis jaotatakse ja adresseeritakse sarnadelt sisendite mooduliga. Erinevus tuleb sellest, et aadressi ees on „I” tähe asemel „Q”. Väljundid annavad väljundpinge kas 0 V või 24V. Väljundi takistus peab olema vahemikus  $48 \Omega$  kuni  $4 \text{ k}\Omega$ , mis annab väljundvoolu vahemikuks 0,5 A kuni 0,006 A. Mooduli töötab 24 V toitepingega. Esiialgu planeeriti kasutada kahte moodulit, kuid programmeerimise käigus suurenes elektrikilbi peal kasutatavate LED-ide arv, mistõttu lisati ka kolmas digitaal väljundite moodul. Mooduli aadressideks said algse palgisorteeri programmis vabad olnud Q4...Q5, Q6...Q7 ja Q10...Q11. [27]



Joonis 4.7 Kasutusele võetud digitaal väljundite moodul [27]



## Analoog sisendite moodulid

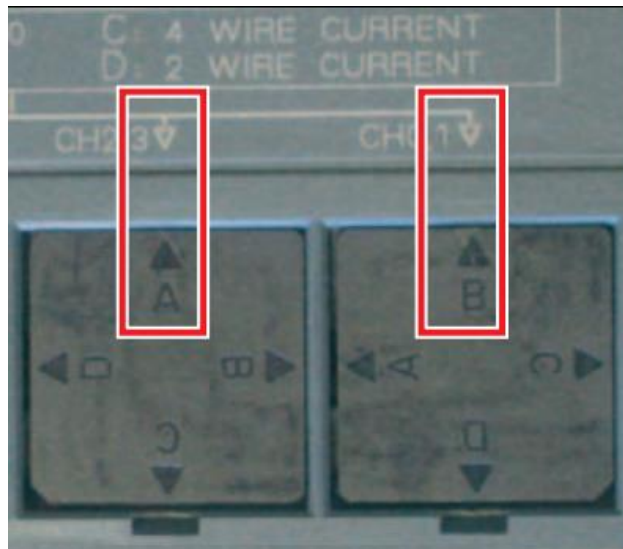
Analoog sisendite mooduliks valiti S7-300 põlvkonna 6ES7331-7KF02-0AB0 moodulid (joonis 4.8). Igal moodulil kaheksa mõõtekanalit, mis jaotuvad neljaks grupiks – igas grupis kaks mõõtekanalit. Kõigi nelja kanaliga on võimalik mõõta nelja erinevat tüüpi signaali, mis on mõõteplakil tähistatud vastavalt tähtedega:

- A – termopaari või takistuse mõõtmine, näiteks PT100 sensor;
- B – pinge mõõtmine, näiteks andur, mis väljastab signaali vahemikus 0...10 V;
- C – nelja juhtmega voolu mõõtmine, andur, mis väljastab signaali 4...20 mA ning saab toite eraldi juhtmete kaudu vooluallikast;
- D – kahe juhtmega voolu mõõtmine, andur, mis väljastab signaali 4...20 mA ning saab toite samade juhtmete kaudu millega edastatakse signaali. [28]

Mõõdetava signaali tüübi konfigureerimiseks tuleb keerata sisendite moodulite peal olevaid musti mõõtepiirkonna mooduleid. Mõõtepiirkonna moodulid tuleb keerata nii, et mõõdetava signaalitüübi tähe juures olev nool langeb kokku mõõteploki peal kanali tähistuse juures oleva noolega. Joonisel (4.9) on kanalid 0 ja 1 (CH0,1) konfigureeritud mõõtma „B“ tüüpi signaali ehk pinget, kanalid 2 ja 3 (CH2,3) on konfigureeritud mõõtma „A“ tüüpi signaali ehk termopaari või takistust. Mõõtepiirkonna mooduleid saab avada lükates lapiku kruvikeeraja mooduli juures oleva pilu kaudu mooduli alla. [28]



Joonis 4.8 Kasutusele võetud analoog sisendite moodul [29]



Joonis 4.9 Analoo sisendite mõõteploki konfigureerimine [28]

Kuna kaheksa sisend-kanali peale on ainult neli konfigureerimisplokki, siis käib signaali tüübi muutmine paarikaupa. See tähendab, et juhul kui soovitakse mõõta kaheksat signaali, millest kaks on 0...10 V ja kuus on 4...20 mA signaalid, siis on võimalik seda teha ühe mooduliga. Juhul kui aga soovitakse mõõta kaheksat signaali, millest üks on 0...10 V ja seitse on 4...20 mA, siis on vaja kahte mõõtemoodulit, kuna kanaleid saab ainult paari kaupa konfigureerida. Käesoleva projekti juures oli vaja kasutada kolme analoog sisendite moodulit.

### Liidese moodul

Selleks et PLC saaks sisendite ja väljundite moodulitega eemalt suhelda on vaja luua PROFIBUS-i ühendus. PLC-le on külge ehitatud PROFIBUS-i liides, kuid sisendite ja väljundite moodulil seda ei ole. Ühenduse loomiseks on vaja sisendite ja väljundite juures kasutada liidese moodulit. Liidese mooduliks kasutati IM 153-1 6ES7153-1AA03-0XB0 moodulit (joonis 4.10). Selle mooduli külge on võimalik ühendada kuni 8 sisendite ja/või väljundite moodulit. PROFIBUSI liidese kasutamiseks tuleb mooduli peal ära määrata selle aadress. Aadressi määramiseks on mooduli esikaane all seitsmest lülitist koosnev segment. Iga lüliti kõrval on number, mis näitab selle lüliti väärtust. Lüliti väärtused algavad ühest ja suurenevad iga järgneva lüliti juures kaks korda, kuni viimase lüliti väärtuseni 64. Liites kokku sisselülitatud lülitite väärtused, saab teada milline on kontrolleri PROFIBUS-i aadress. Käesoleva töö raames kasutati ühte liidese moodulit, mille aadressiks sai 20. Aadressi valimiseks moodulil lülitati sisse aadressilülid, mille väärtused olid 4 ja 16 – need väärtused summeerides saadakse mooduli aadress 20. [30]

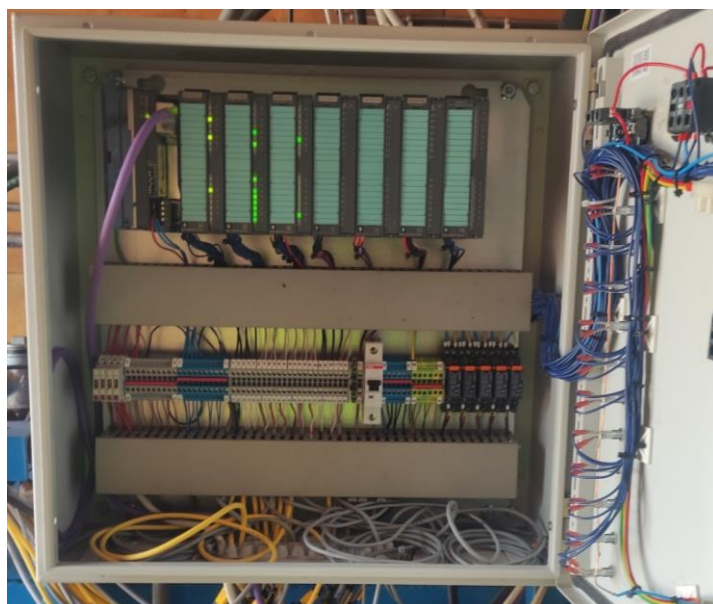


Joonis 4.10 Kasutusele võetud liidesmoodul [30]

Sisendite ja väljundite moodulid ühendatakse liidese mooduli külge jadamisi spetsiaalse Siemens „bus connector 720“ pistikuga. Pistik asub moodulite tagumises küljes. Moodulite ja pistikute lihtsaks joendamiseks kasutatakse Spetsiaalset Siemens-i DIN relssi. Relss kinnitatakse elektrikilbi seina külge ning mooduleid on võimalik selle külge panna või küljest ära võtta ükshaaval.

### 4.2.3 Elektrikilp

Ühte elektrikilpi koondati kokku kõik varasemalt loetletud moodulid (joonis 4.11). Elektrikilbiks sobis 600 x 500 x 250 mõõtmetega kilp. Lisaks PLC lisamoodulitele mahtusid elektrikilpi ära ka nende toiteahelate sulavkaitsmed ning releed millega lülitatakse 230 V vahelduvvoolul töötavaid suunaventiilide klappe. Releedeks kasutati Omron-i „G3R-OA202SLN-UTU“ elektronreleesid.



Joonis 4.11 Hüdrokeskuse elektrikilbi sisu

Elektri kilbi ukse peale installeeriti kuus nuppu ning 12 LED-i (LED - *light emitting diode* - leed), mis moodustasid inimese-masina liidese hüdrokeskuse juures (joonis 4.12). Kuusest nupust kolm olid kolmeasendilised pöörd lülitid ja kolm olid surunupud. Kahe pöördlüliti abil on võimalik liugpindade ning kettide keskmäärmise ja laagrite tahkemäärdega määrimise süsteemi välja lülitada, automaatsesse režiimi lülitada või ühe korra käsitsi käivitada. Kolmanda pöördlüliti abil on võimalik hüdraulika pumpa välja lülitada ja käivitamist keelata, lubada pumbal käivituda ja käia ning käivitada hüdraulikapumpa. Käivitamist keelava asendi korral ei ole võimalik pump käivitada liinioperaatoril, mis aitab tagada lisaturvalisust hooldustööde korral. Kolme surunupu eesmärk on võimaldada tekkinud häirete nullimist.

Installeeritud 12 LED-i eesmärk on anda tagasisidet hüdraulika keskuse erinevate parameetrite, näiteks rõhk või nivoo kohta. Iga LED-i võimaldab kiirata nii punast, kui ka rohelist värvi. Mõlema värvi koos kiirgamisel on LED-i värvus oranž. See võimaldab iga parameetri kohta näidata ühe LED-iga kolme olekut. LED-ide värvide seletused ja tähendused on välja toodud töö järgmises peatükis.



Joonis 4.12 Hüdrokeskuse elektrikiip väljast

Kõik olemas olnud elektrisüsteemile juurde tehtud ahelate joonised on välja toodud graafilises osas. Juurde tehtud elektriabel koosneb andurite, sensorite ning PLC lisamoodulite ahelast, üleveorullide toite- ja juhtimisahelast ning 4 kW hüdropumba mootori toite ahelast. Uue hüdropumba juhtimissignaali kasutatakse vana hüdropumba juhtimissignaali ahelat.

## 4.3 Hüdrokeskuse PLC programmeerimine

Siemensi kontrollerile programmi kirjutamiseks kasutati SIMATIC STEP 7 programmi. Olemasolevale programmile loodi lisaks veel neli funktsiooni- ja kaks andmeplokki. Funktsiooniploki ülesanne on loetud andmete põhjal teha mingeid muudatusi süsteemi töös. Andmeplokk aga on mõeldud andmete kirjutamiseks, hoiustamiseks ja lugemiseks.

Programmi kirjutamise ajaks oli valmis ehitatud uue hüdraulika keskuse mehaanika ja ka elektri osa. Selleks, et lihtsustada programmeerimist ja veenduda võimalikult palju programmi töötamises, viidi mehaanikute ruumis keskuse peal läbi programmi katseid. Selleks kasutati ajutust kontrollerit, mis lisati katsetamise ajaks elektrikilpi. Lisaks ühendati ajutiselt hüdraulika keskuse külge ka kolm hüdroakut ning suveõli paak täideti poolenisti hüdroõliga. Reaalse hüdraulika keskuse peal programmi katsetamine aitas leida palju vigu nii programmi ülesehituse kui ka mäluaadresside määramise poolepealt, mis vastasel juhul oleks välja tulnud alles keskuse installeerimise käigus. Lisaks võimaldas see katsetada hüdraulika akude testimise lahenduse võimalikust.

### 4.3.1 Sensorite ja andurite lugemine ning teisendamine

Esimeseks loodud funktsiooniplokiks oli plokk, mis suudaks erinevatelt sensoritelt ja anduritelt saadud informatsioon teisendada füüsilistesse numbrilistesse suurustesse. Loodud plokk suudab teisendada nii erinevatelt rõhu- ja nivooanduritelt kui ka temperatuurisensoritel saadud signaali vastavalt rõhuks baarides, nivoo väärtus teisendatud liitritesse ja ka temperatuur ühikusse kraadi Celsiust. Lisaks andmete teisendamisele määrab see plokk ära ka selle, kas saadud tulemus on sobivas piirkonnas. Loodud funktsioon suudab eristada viite mõõtetulemuse piirkonda ning piirkonnale vastavalt põleb elektrikilbi peal olev LED:

- „Madal“ (LED - punane) – Kui teisendatud väärtus on madalam kui etteantud minimaalne väärtus, siis süttib elektrikilbi peal punane leed. Olenevalt häire tõsidusest võib programm liini seisata.
- „Madal OK“ (LED - oranž) – „Madal OK“ vahemik on selline, kus teisendatud väärtus on madalam kui ta võiks olla, kuid tegu ei ole süsteemile ohtliku olukorraga, tänu millele võib töö jätkuda. Samas tuleks hakata tegelema probleemse koha väljaselgitamisega ja likvideerimisega.
- „OK“ (LED - roheline) – Teisendatud tulemus on õiges vahemikus – probleeme ei esine.

- „Kõrge OK“ (LED - oranž) – „Kõrge OK“ vahemik on selline, kus teisendatud väärtus on kõrgem kui ta võiks olla, kuid tegu ei ole süsteemile ohtliku olukorraga, tänu millele võib töö jätkuda. Samas tuleks hakata tegelema probleemse koha väljaselgitamisega ja likvideerimisega.
- „Kõrge“ (LED - punane) – Kui teisendatud väärtus on kõrgem kui etteantud maksimaalne väärtus, siis süttib elektrilibi peal punane leed. Olenevalt häire tõsidusest võib programm liini seisata.

Sensorite ja andurite teisendamise funktsiooniplokki kutsutakse välja nende lugemise plokis 14 korda selleks, et lugeda ja teisendada kõikide hüdrokeskuse sensorite ja andurite väärtusi. Lugemise funktsioonis antakse igale teisendusfunktsioonile kaasa vastava analoogsisendi väärtus. Number mille järgi teatakse millist tüüpi sensori või anduriga on tegu, maksimaalsed ja minimaalsed lubatud väärtused ning vajadusel ka staatilise vea parandustegur. Funktsioonist saadakse vastu sensori või anduri teisendatud väärtus ning roheline ja punase LED-i olekud - kas põleb või on kustus. Nagu varasemalt mainitud, siis nii roheline kui ka punane LED on ühes kestas, tänu millele mõlema leedi põlemisel saadakse oranži värvi valgust. Sensorite ja andurite lugemisfunktsioon kutsutakse välja hüdraulika keskuse töö ajal iga sekundi tagant.

#### **4.3.2 Hüdrokeskuse rõhu maha laskmine**

Hüdraulika pumba peatumisel on vaja, et süsteem vabastatakse rõhualt. Süsteemi rõhualt mittevabastamine võib tekitada hooldus- või remonttööde ajal ohtliku olukorra mehaanikutele. Rõhu all oleva vooliku, toru, hüdroakud või hüdrosilindri eemaldamise käigus lendaks suure hooga laiali hüdroõli, mis ohustaks mehaanikut. Lisa ohtu valmistab reaktiivjõu mõjul lahti lendav voolik, millel võib olla piisavalt energiat mehaaniku vigastamiseks.

Rõhu vabastamiseks süsteemist kasutati elektriga juhitatavat suunaventiili. Signaali olemasolul avaneb ventiil ning õli voolab tagasi paaki. Signaali kadumisel aga lükkab vedru ventiili suletud asendisse tagasi, mis peatab õli välja voolamise. Programmi kirjutamisel tuleb arvestada, et suunaventiil peab sulguma kohe kui pump uuesti käivitatakse. Lisa keerukust valmistab see, et hüdrokeskuse diagnostika ajal, millest räägitakse järgnevas lõigudes, on vaja ühel diagnostika etapil lülitada seisma hüdropump, kuid sellel aja ei tohi rõhu mahalaskmise klapp avaneda.

Programm valmistati nii, et 2 sekundit peale pumba seisma jätmist avatakse rõhu mahalaskmise klapp. Järgnevalt on klapp ettemääratud aja pikkuselt avatud ning seejärel sulgub. Hüdraulika keskuse katsetamisel remondiruumis leiti sobivaks aja

pikkuseks 10 sekundit, kuid katsetamise ajal olid keskuse külge ühendatud ainult 50% kogu hüdraulikaakudest. Peale keskuse paigaldamist palgisorteereri leiti katseliselt hüdroakude tühjendamiseks sobivaks ajaks 25 sekundit. Kui rõhu maha laskmise tsükli ajal lülitatakse hüdraulika pump uuesti järgi, siis lõppeb tühjenemise tsükkel automaatselt ning see suunaventiil suletakse.

### **4.3.3 Hüdraulika diagnostika programm**

Hüdraulika diagnostika programmi eesmärk on ühe nupu vajutusega saada ülevaade hüdraulika süsteemi seisukorrast. Programmi abil kontrollitakse ära paakide nivootasemed, hüdroakude seisukord, pumba tootlikkus ja ka liini lekkimine. Diagnostikat saab läbi viia hüdrokeskuse juures liinioperaatori pauside ajal. Selle läbimine võtab aega ligikaudu 2 minuti.

Diagnostika alustamiseks on vaja hoida all elektrikiilbi peal olevat diagnostika nuppu 5 sekundit. Selle käivitamise tingimuseks on see, et liini hüdraulika on operaatori poolt väljalülitatud, mis tähendab ka et palgisorteerer on seisma jäätud. Diagnostika käivitumisel blokeeritakse ära palgisorteereri käivitamine kuni diagnostika lõpetamiseni. Diagnostikat on vajadusel võimalik poole tsükli pealt lõpetada, lülitades elektrikiilbilt välja hüdraulika pumba käivitusloa lüliti.

Diagnostika programmi käivitumisel kustuvad kõik elektrikiilbi peal olevad diagnostika LED-id. Peale kahesekundilist viidet mõõdetakse ära hüdrokeskuse õlide nivood, misjärel süttivad nivooale vastavad LED-id. Seejärel algab hüdraulika akude kontrollimine.

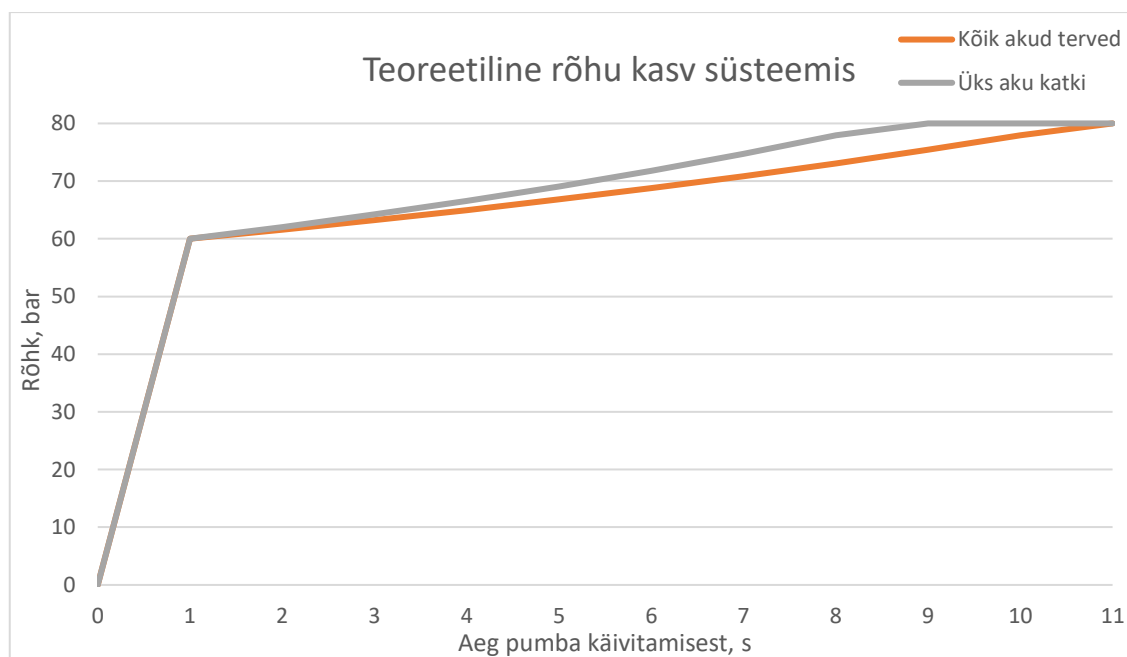
### **4.3.4 Hüdraulika akude diagnostika**

Hüdraulika akude diagnostika tulemusena saadakse teada, kas süsteemis on mõni purunenud hüdroaku. Loodud diagnostikaprogramm ei võimalda ära määrata milline aku on purunenud, kuid mehaanikutele on kasulik ka informatsioon, et ükski aku ei ole purunenud. Töös mõistetakse „purunenud“ hüdroaku all akut, mille eellaadimise gaas on süsteemist väljunud näiteks aku põie purunemise või ventiili lekkimise tagajärjel.

Teades, et hüdroakudes oleva õli rõhk on seotud seal sees oleva õli kogusega, otsustai hüdroakude seisukorda hinnata selle järgi, kui pikk aeg läheb pumba käivitamisel süsteemi mingi määratud rõhuni jõudmiseks. Mida suurem on akude mahtuvus süsteemis, seda kauem läheb aega soovitud rõhuni jõudmiseks. Kui hüdroaku puruneb, siis muutub tema mahtuvus peaaegu olematuks, mis tuleneb sellest, et hüdroaku täitub

täielikult õliga, mis ei voola sealt välja. Kuna õli on praktiliselt kokkusurumatu, siis ka rõhu kasvades ei mahu akusse rohkem vedelikku.

Esmalt leiti teoreetilised süsteemirõhu kasvamise graafikud (joonis 4.13) selleks, et veenduda planeeritud lahenduse teoreetilises toimivuses. Selleks eeldati mõlema seisundi puhul, et süsteemis on esialgu rõhk 0 bar-i. Seejärel käivitub süsteemi installeeritud väiksem hüdraulika pump, mille maksimaalne tootlikkus on 27 l/min, ehk 0,45 l/s. Kuigi tegemist on muutuva tootlikkusega pumbaga, mille tootlikkus sõltub süsteemi rõhust, siis ei ole täpselt teada kuidas tootlikkus muutub. Sellest lähtuvalt eeldatakse teoreetilise graafiku leidmiseks konstantset pumba tootlikkust, 0,45 l/s, kuni 80 bar-ise rõhu saavutamiseni. Hüdraulika süsteemi katsetamise ajal töökojas oli võimalik installeerida vaid pooled reaalsesse süsteemi kasutusele minevad hüdroakud. Sellest lähtuvalt leiti teoreetilised graafikud olukordades, kus süsteemis on 18 liitrise mahutavusega terved akud ja teine graafik, kus süsteemis on üks katkine 4 liitrise mahutavusega aku, ehk süsteemi akude mahutavus on 14 liitrit. Mõlemas arvutuskäigus on akude eellaetus rõhk 60 bar-i ja süsteemi töö rõhk 80 bar-i. Teoreetilise süsteemi rõhu arvutamiseks kasutati varasemas peatükis toodud hüdraulika aku rõhu ja seda sisaldava vedeliku hulga seoste valemeid.



Joonis 4.13 Teoreetiline rõhu kasvamine süsteemis pumba käivitamisel. Oranž graafik näitab rõhu kasvamist, kui süsteemis on 18 liitrise mahutavusega hüdraulikaakud. Hall graafik näitab rõhu kasvamist, kui süsteemis on 14 liitrise mahutavusega hüdraulikaakud.

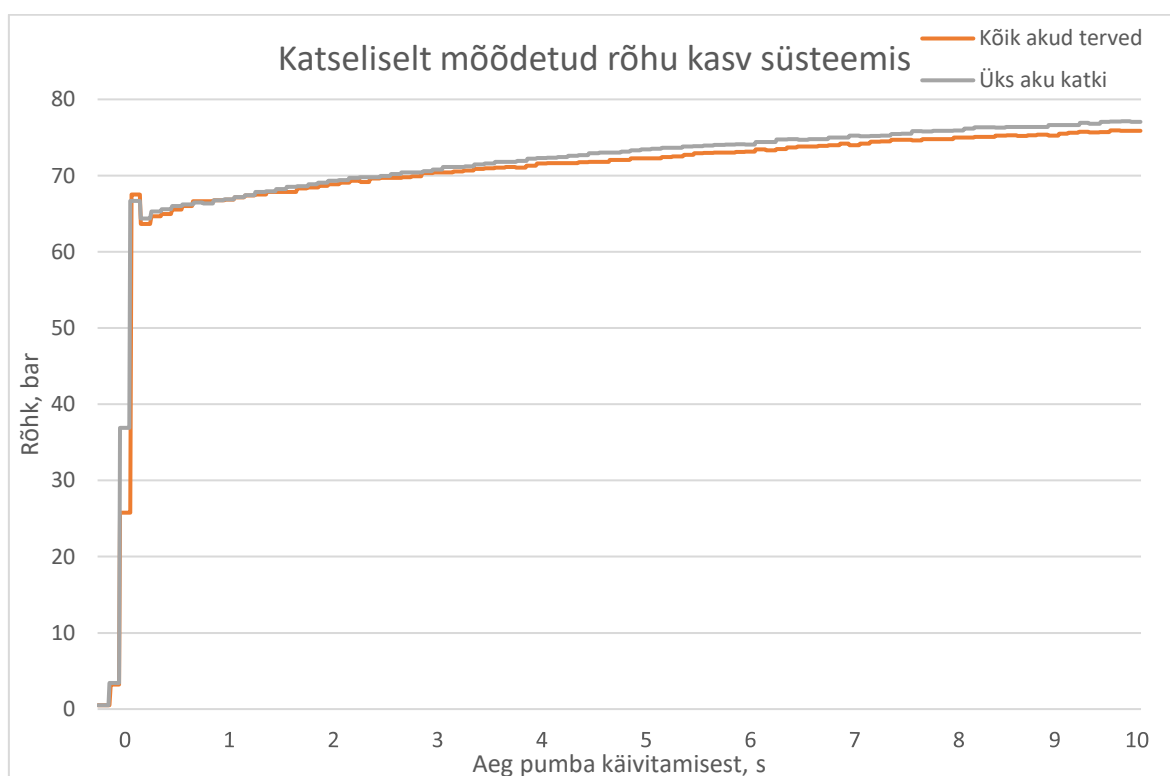
Teoreetiliste graafikute põhjal oli näha, et väiksema koguse tervete hüdroakude korral kasvab rõhk süsteemis tõesti kiiremini kui kõikide tervete akude korral. Kuigi graafikul tundub erinevus olevat suhteliselt tühine, siis maksimaalne erinevus rõhkude vahel on ligikaudu 4,8 bar-i, mis tekitab sellel hetkel kui katkise akuga süsteem jõuab süsteemi



töörõhuni. Väljaarvutatud teoreetiline rõhu erinevus oli piisavalt suur, et minna edasi reaalsete katsetustega.

Järgnevas tehti katsetusi valminud hüdraulika keskuse peal mehaanikute ruumis. Selleks ühendati süsteemi külge kaks 4 liitrist hüdroakut ja üks 10 liitrine hüdroaku, mis moodustavad poole liinil kasutatavatest akudest. Enne iga katse algust avati süsteemi rõhu maha laskmise klapp, mis tähendas, et süsteemi rõhk oli ligikaudu 0 bar-i. Seejärel käivitati hüdropump ning salvestati süsteemi rõhuanduriga mõõdetud rõhku 10 sekundi vältel. Kolm esimest katset tehti olukorrale, kus kõik akud on töökorras. Seejärel vahetati üks 4 liitrine hüdroaku katikse hüdroaku vastu välja ning tehti järgmised kolm katset.

Esimese kolme katse mõõtetulemused erinesid üksteisest vähem kui 0,4 bar-i võrra. Sama palju erinesid ka järgmise kolme mõõtetulemused üksteisest. See näitab seda, et katse tulemused olid suhteliselt konstantsed. Tervete akudega tehtud katsetest kanti graafikule (joonis 4.14) katse, mille käigus saavutati kõige kõrgem rõhk 10 sekundi jooksul. Katkise akuga tehtud katsetest kanti samale graafikule katse, mille käigus saavutati kõige madalam rõhk 10 sekundi jooksul. Need tulemused valiti selle pärast, et see näitab ära rõhkude erinevuse kõige kehvemate tingimuste korral.



Joonis 4.14 Katseliselt mõõdetud rõhu kasvamine süsteemis pumba käivitamisel. Oranž graafik näitab rõhu kasvamist, kui süsteemis on 18 liitrise mahutavusega hüdraulikaakud. Hall graafik näitab rõhu kasvamist, kui süsteemis on 14 liitrise mahutavusega hüdraulikaakud

Katseliselt mõõdetud graafikute (joonis 4.14) põhjal on võimalik öelda, et katkise hüdroaku korral on süsteemi rõhu kasvamine erinev tervete akudega süsteemist. Katsete lõpus mõõdetud rõhkude erinevus oli minimaalselt 1,2 bar-i, mis on piisav eristamiseks katkise akuga süsteemi tervete akudega süsteemist. Idee toimivust kinnitas ka valmis kirjutatud programmi katsetamine.

Peale uue hüdrokeskuse paigaldamist süsteemi leiti katsete põhjal sobivad parameetrid katkise hüdroaku tuvastamiseks. Sobivaks mõõteajaks leiti 15 sekundit, mille jooksul tervete hüdroakude korral ei ületa süsteemi rõhk 76 bar-i. Kui 15 sekundi jooksul ületab süsteemi rõhk 76 bar-i, siis on süsteemis mõni hüdroaku purunenud.

Kuna sellist mõõteviisi võib mõjutada ka õli viskoossus süsteemis, siis on vaja talvel lahenduse toimivus üle kontrollida ning vajadusel viia sisse näiteks temperatuurist sõltuv parandustegur.

#### **4.3.5 Hüdropumba tootlikkuse kontrollimine**

Pärast hüdalulika akude kontrollimist sooritatakse pumba tootlikkuse kontroll. Tootlikkuse kontrolli eesmärk on kindlaks teha, kas hüdraulika pump suudab välja anda piisavalt suurt vooluhulka ja rõhku. Selle kontrollimiseks avatakse töötava pumba korral rõhu maha laskmise klapp. Rõhu maha laskmise klapp on reguleeritav drosselklapp, mille ava läbimõõt on reguleeritud pumba tootlikkuse mõõtmiseks. Drosseli läbimõõt on reguleeritud nii, et stabiilse oleku saavutamisel püsib süsteemi rõhk natukene üle 70 bar-i. Pärast klapi avamist ei tohi ettemääratud aja jooksul süsteemi rõhk langeda alla 70 bar-i. Kui süsteemi rõhk langeb alla 70 bar-i, siis on pumba tootlikkus mingite tingimuste tõttu halvenenud ning olukorda tuleb lähemalt uurida.

Peale uue hüdrokeskuse paigaldamist tehti katseliselt kindaks, et stabiilne olek saabub ligikaudu 20 sekundit peale drosseli avamist. Nii pikk aeg tuleneb sellest, et liini peal olevates hüdraulika akudes on rõhu all olev õli, mis peab sealt osaliselt katse käigus välja voolama. Kindluse mõttes määrati katse pikkuseks 25 sekundit, peale mida suletakse rõhu maha laskmise klapp.

#### **4.3.6 Viide diagnostika etappide vahel**

Enne hüdraulika süsteemi lekete kontrollimist on vaja oodata, et pump saavutaks süsteemis töö rõhu. Selleks koostati diagnostika programmi viide diagnostika etappide vahele. Viite aja töötab hüdropump ning viite pikkus on määratud nii, et süsteem saavutaks töö rõhu.

Nagu varasemalt mainitud, siis oli kasutusel oleval PLC piiratud arv taimereid. Selleks, et mitte ära kasutada kõiki taimereid oli vaja leida teistsugune lahendus diagnostika funktsioonis aja mõõtmisteks.

Lahendus probleemile seisnes protsessori sisese kella lugemises. Protsessori sisese kella väärtus antakse millisekundites ning see näitab kui kaua aega on möödunud protsessori käivitamisest. Kui lugeda mingi protsessi alguses protsessori sisemise kella väärtust protsessori mällu, on võimalik kindlaks teha, kas protsess on piisavalt kaua kestnud. Selle teadasaamiseks loetakse iga programmi tsükli käigus uus sisemise kella väärtus teisele mäluaadressile. Seejärel leitakse just loetud aja ja tegevuse alguse aja väärtuste vahe. Saadud aegade vahet võrreldakse soovitud aja pikkusega. Kui aegade vahe on väiksem soovitud aja pikkusest, siis järelikult ei ole piisavalt aega möödunud. Kui vahe on võrdne või suurem, siis on piisav aeg möödunud.

### **4.3.7 Hüdraulika süsteemi lekete kontrollimine**

Hüdraulika süsteemi lekete kontrollimise eesmärgiks on avastada süsteemi sees olevaid hüdraulika lekkeid. Sellised lekkesed võivad tekkida näiteks hüdro silindrite mansett tihendites ja suunaventiilides. Lekete avastamiseks lastakse hüdraulika pumbal töötada niikaua, kuni saavutatakse töö rõhk. Seejärel jäetakse pump seisma ning käivitatakse taimer. Kahekümne sekundi möödudes mõõdetakse süsteemi rõhku. Kui süsteemi rõhk on langenud rohkem kui 0,5 bar, siis on hüdraulika süsteemis leke. Kui rõhu langemine jääb alla 0,5 bar-i, siis võib lugeda süsteemi lekkevabaks, ning tekkinud rõhulangust võib pidada normaalseks süsteemi pihkumiseks.

Lekke olemasolul süsteemis on vaja järgnevat leida milline koht lekib ning see leke kõrvaldada. Seda on võimalik teha liinioperaatori pausi ajal. Selleks tuleb pausi ajal ligikaudu 15 minutiks tööle jätta hüdropump. Selle aja möödudes on võimalik termokaamera abil tuvastada, millistes hüdro silindrites või suunaventiilides leke esineb. Lekkivatest sõlmedest hakkab läbi voolama ümbritsevast õhust soojem hüdroõli, mis neid sõlmi soojendab. Lekkivate sõlmede temperatuuri tõus on tuvastatav termokaamera pildilt. Selliselt on võimalik ennetavalt välja vahetada palgisorteeri käppade silindrid enne, kui nende tihendid täielikult purunevad.

### **4.3.8 Keskmäärimise programm**

Keskmäärimise programmi osa tuli kohandada uue hüdrokeskusega installeeritud taseme anduri järgi. Varemalt puudus keskmäärimise õli mahutil nivoo andur. Mahutis oleva õli hulga teada saamiseks pidi mehaanik seda palgisorteeri kohapeale vaatama

minema. Sageli unustati või ei viitsitud minna seda tegema. Õli otsa saamisest andis märku ainult keskmäärimise õli rõhu häire. Rõhu häire tekkis sellest, et tühja paagi korral ei saavutanud keskmäärimise süsteem etteantud aja jooksul vajalikku õli rõhku. See aga seiskas liini töö, mille peale kutsusid liini operaatorid välja mehaaniku. Sellest lähtuvalt tuli mehaanikul sõltumata kellaajast ja ilmast minna koheselt mahutit täitma. Lisaks suurendas pumba ilma õlita töötamine selle kulumist.

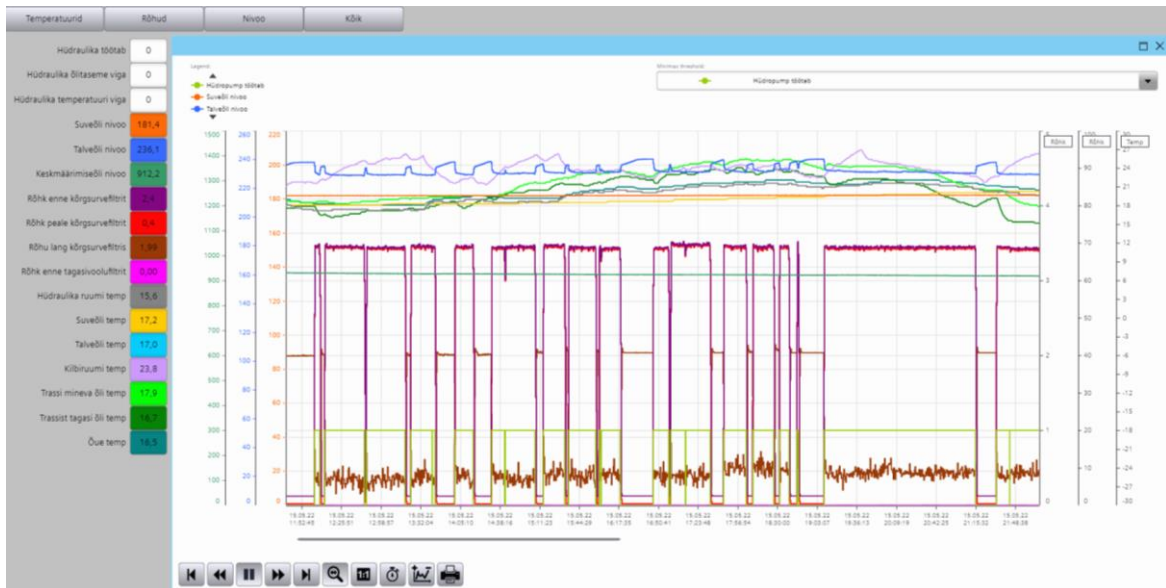
Uues süsteemis kasutatakse aga andurit, mis väljastab nivoo kõrguse millimeetrites, mis teisendatakse peale mõõtmist liitritesse. Sellest lähtuvalt kirjutati programmi nivoohäire nii, et kui õli kogus paagis langeb alla 400 l, siis süttib elektrikilbil oranž hoiatus LED ning mehaanikute arvutisse tuleb teavitus, et mahutit on võimalik täita. Juhul kui õli kogus langeb alla 100 l, siis peatub liini töö, elektrikilbil süttib punane LED ning mehaanikute arvutisse tuleb häireteade. Lisaks tuli määrata keskmäärimise rõhureleele uus sisendi aadress, mis tulenes uue sisendite mooduli kasutusele võtmisest.

## 4.4 Andmete salvestamine

Hüdraulikakeskuse töö reaajas ja tagantjärgi mehaanikute arvutist jälgimiseks oli vaja salvestada kõikide vajalike parameetrite väärtusi. Andmete salvestamiseks kasutati Siemensi TIA Portal programmi. Ülesannet lihtsustas veidi see, et varasemalt oli sama programmi kasutatud mõnede teiste saeveski liinide parameetrite salvestamiseks.

Andmete salvestamiseks loodi esmalt PLC programmi andmeplokk, kuhu kannab kontrolleri andmed, mida soovitakse sellest välja lugeda. Andmeid uuendatakse igal programmitsükliil. Järgnevas loodi TIA Portal-is andmete plokk, kuhu loetakse PLC-st andmeid. Kõikide andmete lugemissagedust on võimalik individuaalselt muuta, kuid selles süsteemis loetak kõik andmeid ühe sekundilise intervalliga. Kõik loetud andmed salvestatakse ka kõvakettale, kust on neid vajadusel võimalik hiljem vaadata.

TIA Portal-is loodi olemasolevate vahelehtede kõrvale uus vaheleht (joonis 4.15). Vahelehe nimeks sai „Palgisorteer hüdraulika“. Selle vahelehe alla koostati veel neli eraldi vahelehte. Nelja eraldi vahelehe koostamise eesmärk oli eraldi graafikutele kanda hüdraulika keskuse rõhkude, temperatuuride ja nivooade andmed ning neljandale vahelehele kanda kõik graafikud koos. See parandab graafikute loetavust ja vähendab nende valesti lugemise võimalust. Algseadetena näidatakse graafikul andmeid ühe päeva lõikes, kuid seda on võimalik vastavalt vajadusele suurendada või vähendada ja võimalik on ka andmete ajaloos tahapoole liikuda.



Joonis 4.15 TIA Portal-is koostatud andmete kuvamise leht. Graafikul on välja toodud kõik salvestatavad andmed palgisorteri hüdraulika süsteemi kohta.

## 4.5 Hüdraulika keskuse installeerimine

Uue hüdraulika keskuse installeerimiseks oli palgisorteri 28.04.2022 võimalik seisma jätta kuni 2,5 tunniks. Selle aja sees oli vaja lahti ühendada ja ruumist välja saada vana hüdraulika keskus. Pärast vana keskuse eemaldamist oli vaja uus hüdraulika keskus ruumi tõsta ja vajalikud hüdraulika ja elektri ühendused teha (joonis 4.16). Seejärel oli võimalik laadida PLC peale uus palgisorteri programm, millesse oli sisse integreeritud hüdraulika keskuse juhtimiseks vajalikud funktsioonikoodid. Peale programmi laadimist oli võimalik katsetada programmi toimivust.



Joonis 4.16 Installeerimisjärgus uus hüdrokeskus

Tänu heale planeerimisele õnnestus keskuse installeerimine ilma suuremate probleemideta. Keskus sai installeeritud ja liin uuesti tööle 2 tunni ja 15 minutiga. Installeerimise protsessi kiirendas see, et kõik tegevused, mis olid võimalikud varasemate liinioperaatorite pauside ajal ära teha, need said enne installeerimise päeva tehtud. Nendeks tegevusteks oli näiteks hüdraulika akude installeerimine sorteerimisliinile ja ka PROFIBUS-i kaabli vedamine PLC juurest hüdraulika ruumi. Lisaks aitas ka programmi ja hüdrokeskuse põhjalik katsetamine mehaanikute ruumis, mis tähendas, et enamik vigu neis oli leitud. Suurimaks takerduseks, mis hüdrokeskuse vahetamisel tekkis, tulenes keskmäärimise rõhurelee sisendiaadressi muutmisest programmis. Nimelt pandi programmi uus sisendiaadress paralleelselt vana aadressiga. Probleem tekkis aga sellest, et normaalses olekus peaks sisendil signaal olema, ning kui signaal ära kaob, siis tuleb programmis teha tegevusi. Kuna uus aadress kirjutati paralleeli vana aadressiga ja vanast aadressist ei tulnud enam signaali, kuigi uuest aadressist tuli signaal, siis arvas PLC kogu aeg, et tuleb vastavat tegevust teha. Õnneks leiti viga kiiresti ülesse ja parandati vana sisendi aadressi kustutamisega. Peale parandatud programmi laadimist sai palgisorteer oma tööd ilma probleemideta jätkata.

Paigaldusele järgnevatel päevadel tegeleti hüdraulika süsteemi diagnostika parameetrite täppishäälestusega. Häälestust viidi läbi liinioperaatori lõunapauside ajal. Häälestuse käigus leiti sobivad ajalised pikkused erinevate testide ja testide vaheliste viidete jaoks. Lisaks leiti sobivad rõhud ja ajapikkused katkiste hüdroakude tuvastamiseks.

## KOKKUVÕTE

Töö eesmärgiks oli Imavere saeveski palgisorteereri hüdraulika süsteemi optimeerimine ja moderniseerimine. Optimeerimise eesmärgiks oli vähendada ja lühendada liini ootamatute seisakute arvu. Lisaks sellele oli vaja lahendada praeguses hüdraulika süsteemis soojade ning külmade ilmade korral esinevad probleemid, mis aeglustaks liini tööd. Moderniseerimise ülesande lahendamiseks oli vaja muuta hüdraulika süsteemi töö paremini jälgitavaks ning lihtsustada ja kiirendada liini töö anomaaliate ja tõrgete leidmist ja kõrvaldamist.

Esimesena võeti vaatluse alla väga palavate ilmadega tekkivad liini seisakud mis on põhjustatud liiga kõrgest õlitemperatuurist. Selle probleemi lahendamiseks pakuti esmalt välja mitu lahendust, kuidas õli paremini jahutada. Leitud potentsiaalsed jahutamise lahendused osutusid aga ebapraktilisteks. Parimaks ning kasutusele võetud lahenduseks oli kasutatava õli vooluhulga vähendamine. Õli vooluhulka vähendati sellega, et liinil kasutusel olnud hüdmootor vahetati välja läbi sagedusmuunduri juhitava elektrimootori vastu. Kasutusel olnud 150 l/min hüdropump ja 22 kW asünkroonmootor olid juba varasemalt alakoormatud ning koos hüdmootori eemaldamisega oli võimalik need asendada 27 l/min pumba ja 4 kW mootoriga. Hüdmootor asendati 4 kW elektrimootoriga. Uus mootor installeeriti liini peale, hüdraulika ruumist välja, mis aitas vähendada kadudest tulevat hüdraulika ruumi soojendamist ning selle läbi parandada õli jahutamist.

Installeeritud väiksemad mootorid tarbivad 29% vähem aktiiv- ja 42% vähem reaktiivvõimsust kui varasemalt kasutusel olnud suurem mootor. Sellega säästetakse igal aastal üle 1000 € elektri pealt. Lisaks on väiksema mootori või pumba välja vahetamine nende katki minemisel soodsam ja lihtsam, mis vähendab ka hoolduskulusid ja aega.

Järgmisena otsiti lahendust probleemile, milles palgikäpad ei suuda iga kord palke õigesti liini pealt maha lüüa. See probleem esineb sagedamini külmemate ilmade korral. Esimeseks ideeks oli käppade löögiimpulsi muutmine, kuid selle lahenduse kasutusele võtmine oleks vajanud pikaajalist kalibreerimist ja oleks olnud keeruline rakendada. Järgmiseks lahenduseks vaadeldi hüdraulika torustiku suurendamist, mis võimaldaks mitme käpaga korraga löömise ajal väiksemat rõhukadu torustikus. Selle lahenduse elluviimiseks aga oleks olnud vaja teha 1-2 tööpäevane liini seisak, mis on palju pikem kui lubatud 2,5 tunnine seisak. Kuna probleem esineb sagedamini külmade ilmadega, siis võeti vaatluse alla liinil kasutatav talvine õli. Selgus, et talvel kasutatav õli on külmade ilmadega liiga viskoosne ning see võib tekitada suurt rõhu langemist torustikus. Lahendusena otsiti talviseks perioodiks sobivama viskoossuse ja

temperatuuri karakteristikuga õli. Probleem esines mõnikord ka soojemate ilmadega, millest lähtuvalt oli lisaks vaja leida lahendus mis aitaks ka soojemate ilmade korral. Lahendusena installeeriti liinile 36 liitrise mahutavusega gaasiga laetud hüdroakusid. Lisaks installeeriti üks 4 liitrine aku ka tagasivoolu torustikule, mis vähendab tagasivoolus tekkivat rõhu tõusu, mis hakkaks käppade liikumisele vastu töötama.

Palgisorteereri hüdraulika süsteemi moderniseerimise eesmärgil projekteeriti ja ehitati valmis uus hüdraulika keskus. Uus keskus varustati erinevate andurite ja sensoritega, mille abil on võimalik jälgida keskuse tööd nii reaalajas, kui ka neid andmeid salvestada. See võimaldab leida anomaaliaid hüdraulika süsteemi töös enne, kui süsteem täielikult katki läheb, mis omakorda võimaldab ennetavate hooldus ja remonttööde tegemist liinioperaatorite pauside ajal. Lisaks võimaldasid sensorid ja andurid koostada hüdraulika süsteemi jaoks diagnostikaprogrammi, mille abil saavad mehaanikud veenduda hüdraulika liini korrektses töös väga kiiresti. Uue hüdrokeskuse ehitamisega lahendati ära ka probleem, kus keskmäärimise õli mahuti oli liiga väikene, mis soodustas liini seisakute tekkimist ja valmistas ebamugavusi selle täitmisel.

Käesoleva töö kirjutamise ajaks ei ole sorteerimisliin uue hüdraulika süsteemiga töötanud piisavalt kaua, et saaks veenduda nende lahenduste täielikus toimivuses. Küll aga ei ole probleeme esinenud esimese kahe nädala jooksu peale uue süsteemi installeerimist. Töö autor usub, et probleemidele leiti sobivad ja töötavad lahendused.

Töö edasiarenduse võimalusteks oleks näiteks süsteemi keskmise õlikulu arvestamine, mille põhjal oleks võimalik välja arvutada ligikaudne aeg, millal tuleks mahutit täita. Selline süsteem võimaldaks õlipaakide enneaegset täitmist mehaanikule sobivamatel aegadel. Lisaks oleks vaja talvisel perioodil üle kontrollida diagnostikaprogrammi töö ja vajadusel programmi sisse viia temperatuurist sõltuvad parandustegurid.



## SUMMARY

The aim of the thesis was to optimise and modernise Imavere sawmill`s log sorting line`s hydraulic system. The objective of optimisation was to reduce and shorten the number of unexpected downtime on the line. In addition, it was necessary to solve the problems encountered in the current hydraulic system in the event of hot and cold weather, which slows down the operation of the line. To solve the task of modernization, it was necessary to make the working of the hydraulic system more observable, and to simplify and speed up the detection and elimination of anomalies and faults in the operation of the log sorting line.

The first to be dealt with was the line downtime in hot weather caused by too high oil temperature. To solve this problem, several solutions were first proposed to better cool the oil. However, the potential cooling solutions found, proved to be impractical. The best and also the solution introduced to the system was to reduce the flow of the oil. The oil flow was reduced by replacing the hydraulic motor used on the line with an electric motor controlled by a drive. The 150 l/min hydraulic pump and 22 kW asynchronous motor previously in use were underloaded and combined with the hydraulic motor removal they could be replaced by a 27 l/min pump and 4 kW motor. The hydraulic motor was replaced by a 4 kW electric motor. The new motor was installed on the sorting line, outside of the hydraulic room, which helped to reduce the heating of the hydraulic room and thereby improve the cooling of the hydraulic oil.

The smaller motors installed use 29% less active and 42% less reactive power than the larger motor used before. This saves over 1000 € on electricity every year. In addition, replacing the smaller motors or pump in the event of a breakdown is cheaper and easier, which also reduces maintenance costs and time.

Next, a solution was sought to the problem in which the log pushers could not hit the logs correctly off the line every time. This problem is more common in case of colder weather. The first idea was to change the stroke impulse of the pushers, but the introduction of this solution would have required long-term calibration and would have been difficult to implement. The next solution was to increase the size of the hydraulic piping, which would allow for a lower pressure loss in the piping during multiple pusher strokes at the same time. However, in order to implement this solution, it would have been necessary to take a 1-2 working day downtime, which is much longer than the permitted 2,5 hour downtime. As the problem is more common in cold weather, the winter oil used on the line was examined. It turned out that the oil used in winter is too viscous in cold weather and can cause a large pressure drop in the piping. As a solution, oil with a more suitable viscosity and temperature characteristic was sought for the

winter period. The problem sometimes also occurred with warmer weather, based on which it was necessary to find a solution that would also help in the case of warmer weather. As a solution, gas-charged hydraulic accumulators with a capacity of 36 litres were installed on the line. In addition, a four-liter accumulator was installed on the return line, which reduces the pressure rise in the return line that would counteract the movement of the hydraulic cylinders.

In order to modernize the log sorting hydraulic system, a new hydraulic center was designed and built. The new center was equipped with various sensors, which can be used to monitor the operation of the hydraulic system in real time, as well as to store this data. This allows anomalies to be found in the operation of the hydraulic system before the system is completely broken, which in turn allows preventive maintenance and repairs to be carried out during the breaks of the sorting line operator. In addition, the sensors made it possible to create a diagnostics program for the hydraulic system, which would allow mechanics to verify the correct operation of the hydraulic system very quickly. The construction of a new hydraulic center also solved the problem where the central lubrication oil tank was too small, which facilitated line downtime and caused inconvenience during filling.

At the time of writing, the sorting line has not worked long enough with the new hydraulic system to ensure that these solutions are fully operational. However, there have been no problems in the first two weeks after installing the new hydraulic system. The author of the thesis believes that suitable and working solutions to the problems were found.

Possibilities for further development of the topic could be to calculate the average oil consumption of the system, on the basis of which it would be possible to calculate the approximate time when the tank should be refilled. Such a system would allow the oil tanks to be filled prematurely at times more convenient for the mechanic. In addition, the operation of the diagnostic program should be checked during the winter and, if necessary, temperature-dependent correction factors should be included in the diagnostics program.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Stora Enso, „Stora Enso Imvare saeveski,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.storaenso.com/et-ee/about-stora-enso/stora-enso-locations/imavere-sawmill>. [Kasutatud 17 05 2022].
- [2] Stora Enso Eesti AS, „Best practices,“ 29 06 2018. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://estoniantimber.ee/best-practices/stora-enso-eesti-as/>. [Kasutatud 17 05 2022].
- [3] Bosch Rexroth, „Axial piston variable pump "A10VSO series 31",“ 17 05 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://www.boschrexroth.com/documents/12605/25209043/re92711\\_2021-05-17.pdf/87871801-d04c-bfb9-2111-ff5772eef06b](https://www.boschrexroth.com/documents/12605/25209043/re92711_2021-05-17.pdf/87871801-d04c-bfb9-2111-ff5772eef06b). [Kasutatud 17 05 2022].
- [4] Sauer Bibus, „Technical information orbital motors OMS, OMT and OMV,“ 02 2016. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://www.sauerbibus.de/fileadmin/editors/countries/sab/Produkte/Danfoss\\_Neu/Orbitalmotoren/Orbital\\_Motors\\_OMS\\_OMT\\_and\\_OMV\\_Tech.pdf](https://www.sauerbibus.de/fileadmin/editors/countries/sab/Produkte/Danfoss_Neu/Orbitalmotoren/Orbital_Motors_OMS_OMT_and_OMV_Tech.pdf). [Kasutatud 17 05 2022].
- [5] ABB, „General performance low voltage cast iron motors for Europe,“ 10 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK108196&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>. [Kasutatud 17 05 2022].
- [6] ABB, „ABB industrial drives ACS880, single drives 0.55 to 6000 kW,“ 14 12 2020. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AUA0000098111&LanguageCode=en&DocumentPartId=1&Action=Launch>. [Kasutatud 17 05 2022].
- [7] ABB, „Type Test Report (22 kW),“ 01 09 2015. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK106713A3143&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>. [Kasutatud 17 05 2022].
- [8] ABB, „Type Test Report (4 kW),“ 28 11 2020. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107991A6710&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>. [Kasutatud 17 05 2022].
- [9] Nord Pool, „Day-ahead prices,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.nordpoolgroup.com/en/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/EE/Monthly/?view=table>. [Kasutatud 17 04 2022].
- [10] Elektrilevi, „Elektrilevi võrguteenuse hinnakiri,“ 01 01 2020. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://www.elektrilevi.ee/-/doc/8644141/kliendile/Elektrilevi\\_hinnakiri\\_vorguteenuse\\_hinnad\\_alates\\_1\\_jaanuarist\\_2020\\_EST.pdf](https://www.elektrilevi.ee/-/doc/8644141/kliendile/Elektrilevi_hinnakiri_vorguteenuse_hinnad_alates_1_jaanuarist_2020_EST.pdf). [Kasutatud 17 05 2022].
- [11] Addinol, „Addinol hydraulic oil HLP,“ 02 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://oelluxx24.de/oelschuelerSharePoint/downloadPi/detailId/24053>. [Kasutatud 17 05 2022].
- [12] D. Sukhanitski, „Hydraulic oil viscosity,“ Fluid Power Pro, 6 10 2014. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://fluidpower.pro/oil-viscosity/>. [Kasutatud 17 05 2022].
- [13] Addinol, „Addinol Arctic Fluid 5606,“ 05 2020. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://addinol.hu/files/datasheet/734011arctic-fluid-5606-egb-enpdf.pdf>. [Kasutatud 17 05 2022].

- [14] Sick, „Level sensors LFP Cubic / TDR sensor,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.sick.com/pl/en/fluid-sensors/level-sensors/lfp-cubic/lfp1000-b4nmb/p/p285229>. [Kasutatud 17 05 2022].
- [15] T. Yener, Ş. Ç. Yener ja R. Mutlu, „Convection coefficient estimation of still air using an infrared thermometer and curvefitting,” Journal of Engineering Technology and Applied Sciences, Sakarya, 2019.
- [16] Hifi Filter, „Hydraulics,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://issuu.com/cyberiance/docs/lit\\_hy03h\\_-\\_web?e=5266084/7852070](https://issuu.com/cyberiance/docs/lit_hy03h_-_web?e=5266084/7852070). [Kasutatud 17 05 2022].
- [17] ABB, „Detailed information for: 3GBA092510-BEC,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://new.abb.com/products/3GBA092510-BEC/3gba092510-bec>. [Kasutatud 17 05 2022].
- [18] ABB, „Detailed information for: 3GBA112310-ADC,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://new.abb.com/products/3GBA112310-ADC/3gba112310-adc>. [Kasutatud 17 05 2022].
- [19] ABB, „Detailed information for: 3GBA182420-ADF,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://new.abb.com/products/3GBA182420-ADF/3gba182420-adf>. [Kasutatud 17 05 2022].
- [20] Bosch Rexroth, „Variable-speed pump drives,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://www.boschrexroth.com/ics/Modules/Configuration/?Modelcode=STX&p=g284382&Configurator=Sytronix&cat=Industrial-Hydraulics-Catalog&pi=8F60C235-E8EF-B979-8899BEAF3EF579BD\\_ICS\\_8801&scenario=portal&InitConfiguration=1&o=Deskt op](https://www.boschrexroth.com/ics/Modules/Configuration/?Modelcode=STX&p=g284382&Configurator=Sytronix&cat=Industrial-Hydraulics-Catalog&pi=8F60C235-E8EF-B979-8899BEAF3EF579BD_ICS_8801&scenario=portal&InitConfiguration=1&o=Deskt op). [Kasutatud 17 05 2022].
- [21] Schneider, „Pressure sensor 10 bar,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.se.com/eg/en/product/XMLF010D2025/pressure-sensor-10-bar-g1-4-female-24-v-no-or-nc-4-20-ma/>. [Kasutatud 17 05 2022].
- [22] Schneider, „Pressure sensors XMLR 160bar,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.se.com/ww/en/product/XMLR160M0T75/pressure-sensors-xmlr-160bar-g-1-4-24vdc-0-10-v-m12/>. [Kasutatud 17 05 2022].
- [23] Inov.AT, „Electrical Metal Cabinet AT1005,” 13 02 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://grabcad.com/library/electrical-metal-cabinet-at1005-1>. [Kasutatud 17 05 2022].
- [24] Siemens, „Advanced controllers,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/5000008?tree=CatalogTree>. [Kasutatud 17 05 2022].
- [25] Siemens, „SIMATIC S7-300 CPU 315-2,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7315-2EH14-0AB0>. [Kasutatud 17 05 2022].
- [26] Siemens, „6ES7321-1BH02-0AA0,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/catalog/product/6es7321-1bh02-0aa0>. [Kasutatud 17 05 2022].
- [27] Siemens, „6ES7322-1BH01-0AA0,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7322-1BH01-0AA0>. [Kasutatud 17 05 2022].
- [28] Siemens, „S7-300 SM331;AI 8x12 bit getting started part 2: voltage and PT100,” 11 2006. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/030/18971030/att\\_87177/v1/s7300\\_sm\\_331\\_teil2\\_getting\\_started\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/030/18971030/att_87177/v1/s7300_sm_331_teil2_getting_started_en-US.pdf). [Kasutatud 17 05 2022].
- [29] Endevor, „SIMATIC S7 MODULE SM331 SIEMENS 6ES7-331-7KF02-0AB0,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://endevoronline.com/gb/automatas/4108-simatic-module-s7-sm331-siemens-6es7-331-7kf02-0ab0-unpacked.html>. [Kasutatud 17 05 2022].

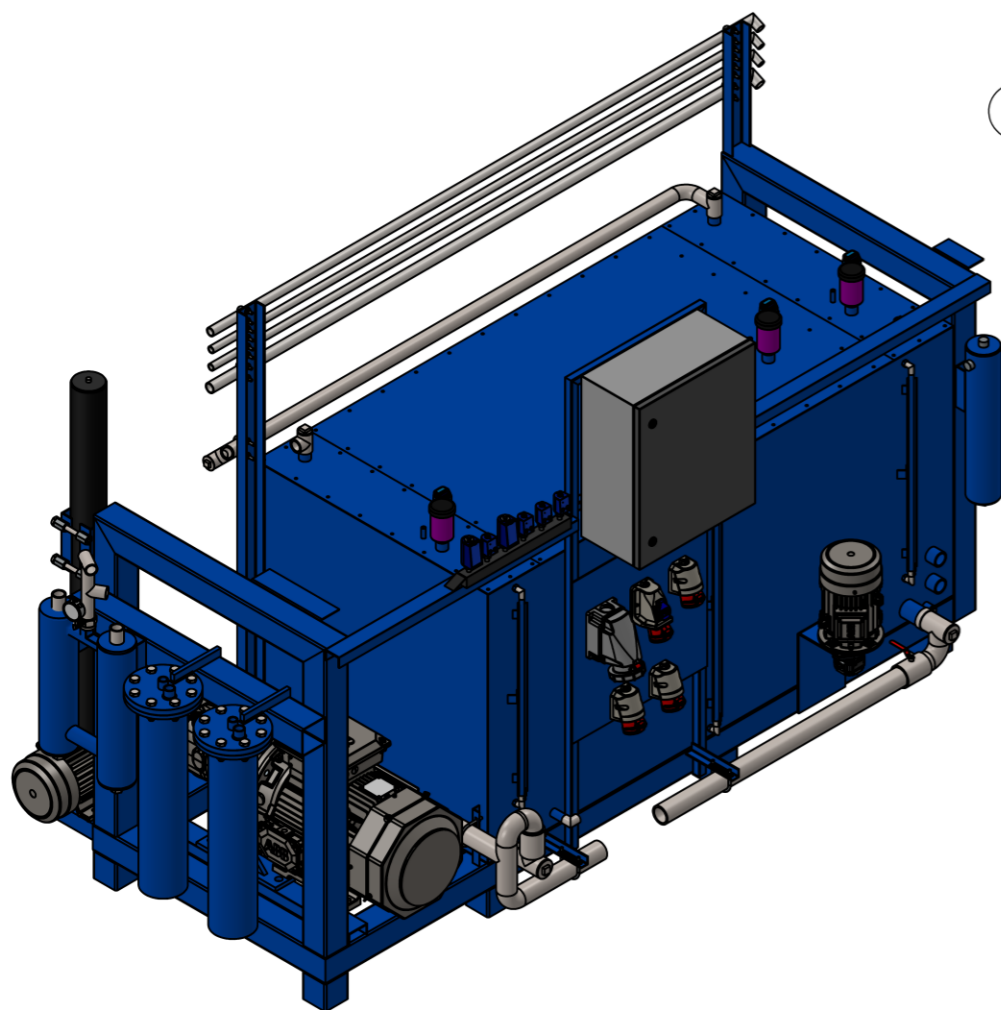
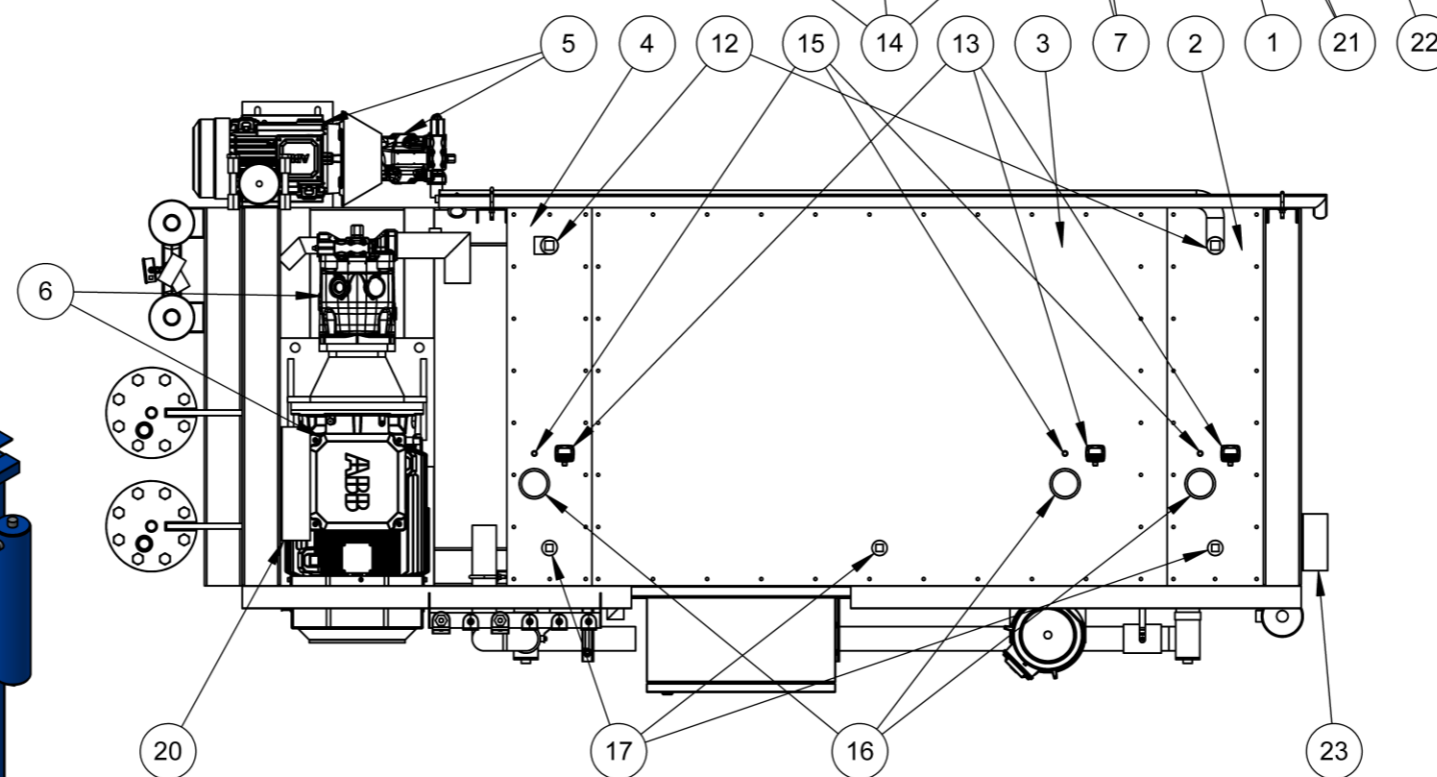
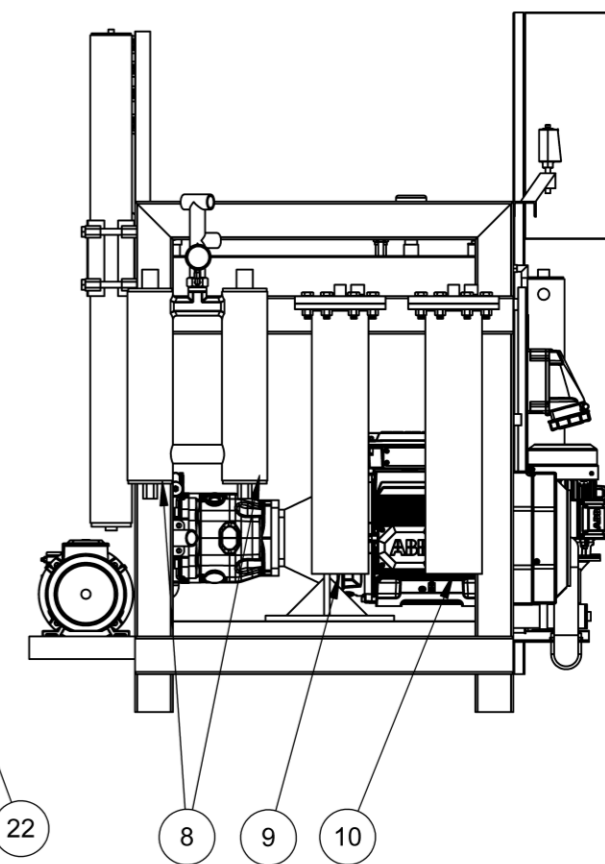
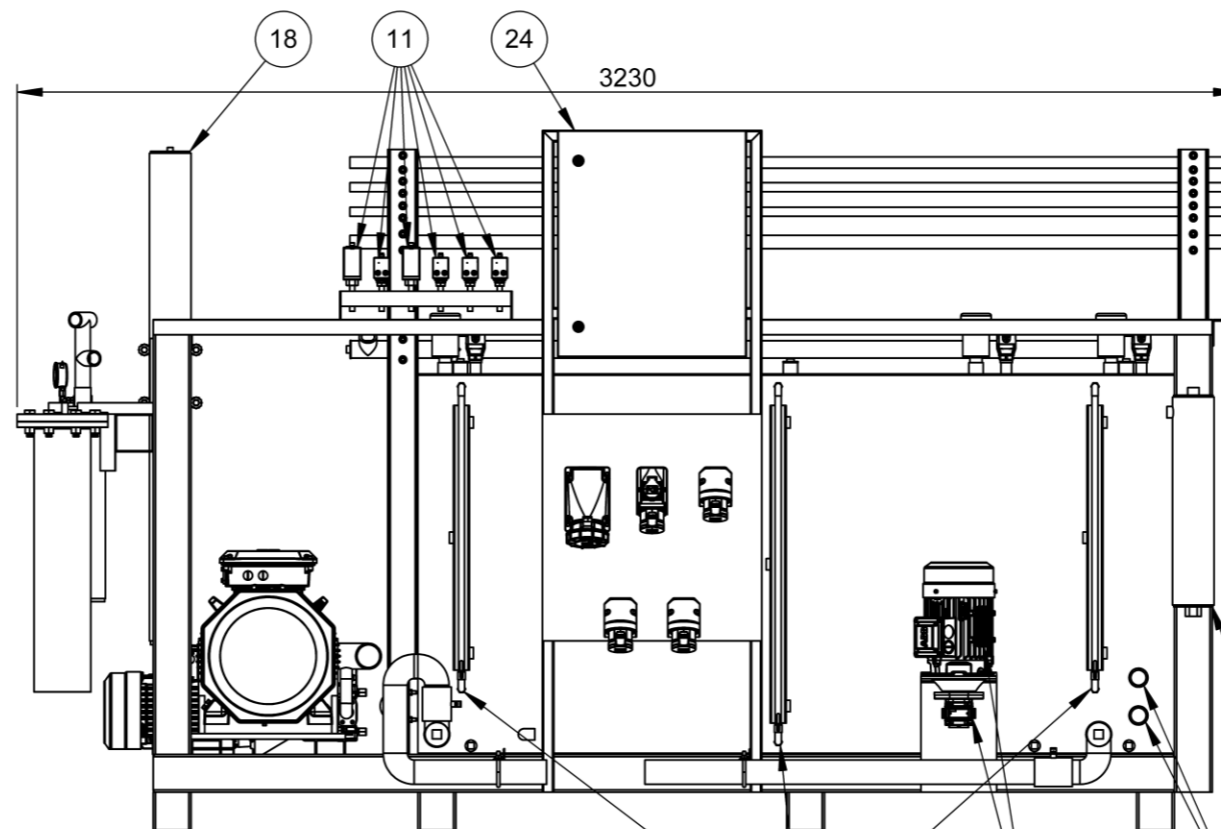
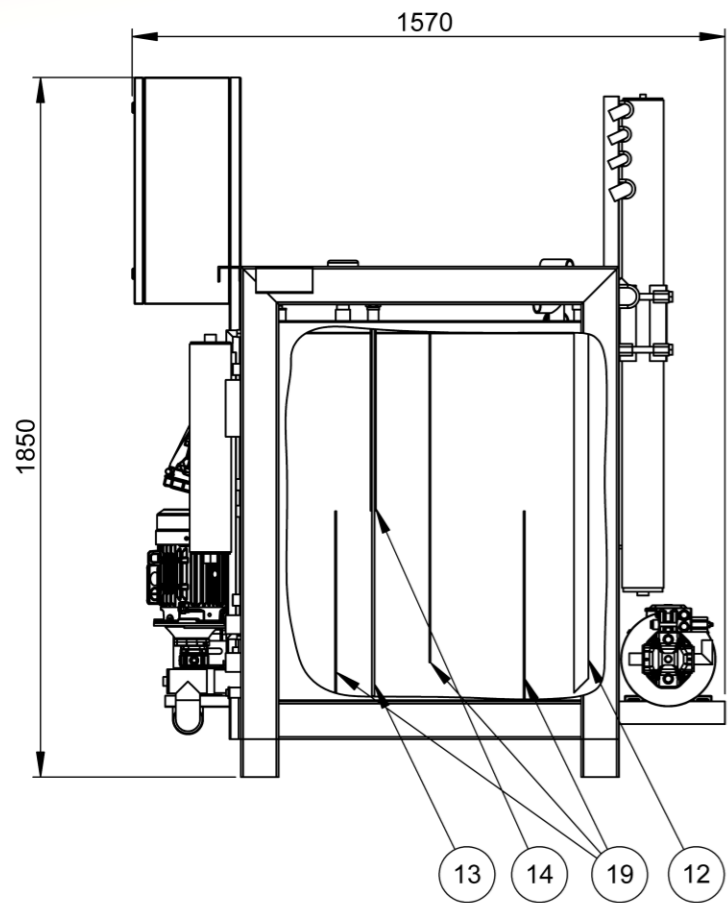
- [30] Siemens, „6ES7153-1AA03-0XB0,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/6es7153-1aa03-0xb0>. [Kasutatud 17 05 2022].
- [31] PCE, „CEE-Industrial plugs and sockets,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.pcelectric.at/shop/en/?plugin=dynamicsearch&filterKategorie1=CEE-Industrial%2520plugs%2520and%2520sockets&filterKategorie2=CEE-wall%20mounted%20sockets&filterPageType=shop&query=%2A&productsPerPage=42>. [Kasutatud 17 05 2022].

## **GRAAFILINE OSA**

Palgisorteeri hüdrokeskuse joonised

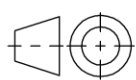
Palgisorteeri hüdraulikaskeem

Palgisorteeri hüdrokeskuse elektriskeemid



	Materjal:	Märkimata piirhälbed: DIN ISO 2768-mk	Mass: 1300 kg	Mööt: 1:20
Teostas:	Joel Õispuu	Nimetus: <b>Palgisorteeeri hüdrokeskus</b>		
Kontrollis:	Enno Niit			
Kinnitas:		Leht: <b>1/7</b>	Tähis:	Formaat: <b>A3</b>
Tallinna Tehnikaülikool				

Osa	Nimetus	Kirjeldus	Kogus
1	Raam		1
2	Talveõli mahuti	250 l	1
3	Suveõli mahuti	220 l	1
4	Keskäärmise õli mahuti	1400 l	1
5	Väike hüdropump ja mootor	27 l/ min ja 4 kW	1
6	Suur hüdropump ja mootor	150 l/ min ja 22 kW	1
7	Keskäärmise pump ja mootor	2,5 l/ min ja 1,5 kW	1
8	Kõrgrõhufiltrid	Filtrielement: SH 87163	2
9	Tagasivoolufilter talvine	Filtrielement: SH 63331	1
10	Tagasivoolufilter suvine	Filtrielement: SH 63331	1
11	Rõhuandurid	2 tk 10 bar, 3 tk 160 bar ja 1 tk 400 bar	6
12	Tagasivoolu toru	Suvine/talvine	
13	Õli tasapinna andur (elektrooniline)	SICK LFP1000-B5NMC	3
14	Õli tasapinna näidik (mehaaniline)	Läbikumav voolik	3
15	Temperatuuri sensor	Pt 100	3
16	Õhutusfilter	Hifi Filter FS 500	3
17	Mahutite täitmisavad		3
18	Hüdroaku	10 l gaasiga laetud kolb-aku	1
19	Mahuti vaheseinad	3 tk talvises, 3 tk suvises (erinevad laiused!)	6
20	Hüdraulika suunaventiilide alus		1
21	Õli soojenduse tennid	1 kW ja 3 kW	2
22	Keskäärmise õli filter	Filtrielement: SH 87163	1
23	Keskäärmise suunaventiilide alus		1
24	Elektrikilp	600x500x250	1



**Materjal:**

**Märkimata piirhälbed:**

DIN ISO 2768-mk

Mass:

Mõõt:

Teostas: Joel Õispuu

Nimetus:

Kontrollis: Enno Niit

**Palgisorteeri hüdrokeskus**

Kinnitas:

Leht:

Tähis:

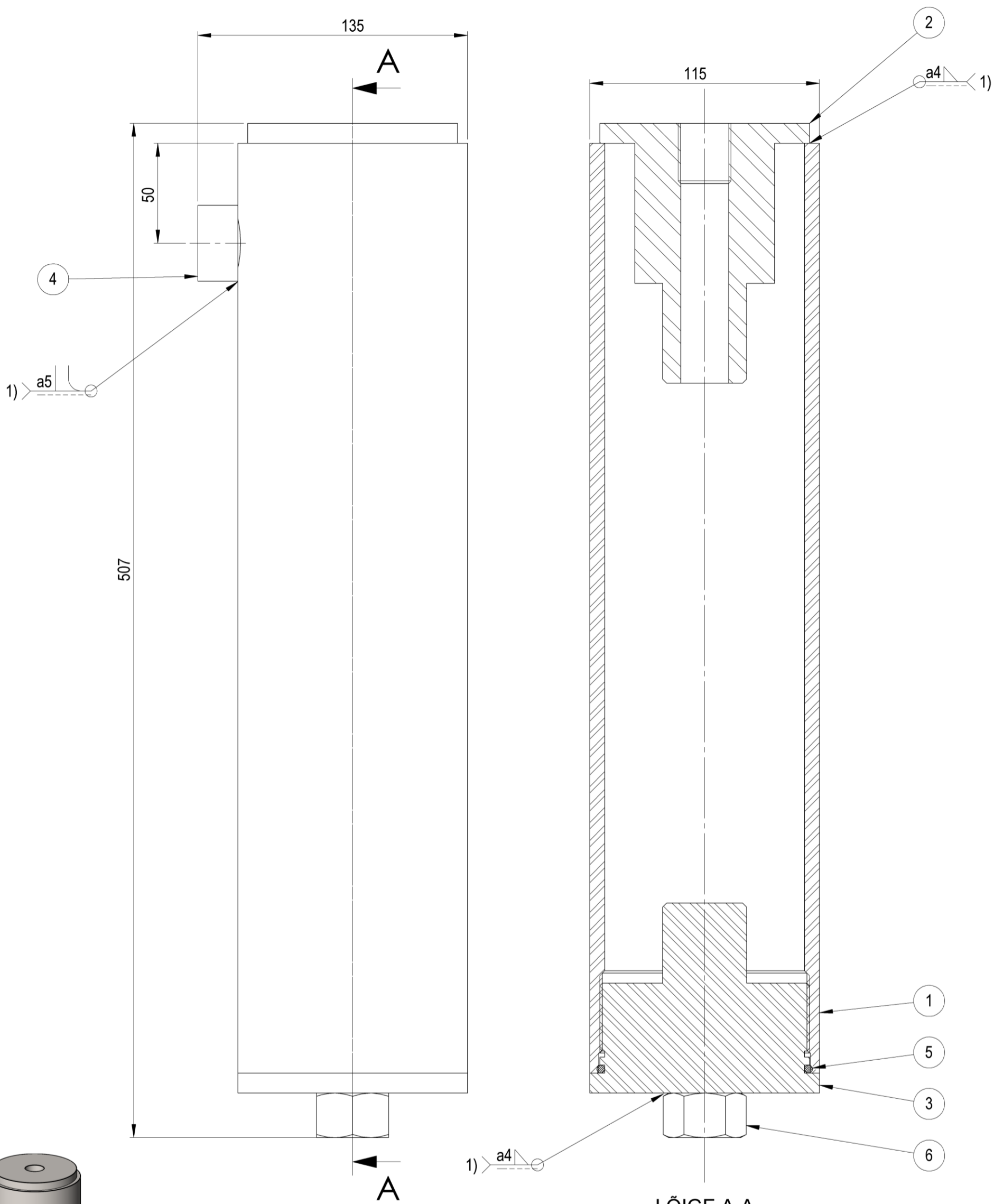
Formaat:

Tallinna Tehnikaülikool

**2/7**

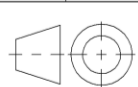
**A4**





1) ISO 5817/c VT100%

Osa	Nimetus	Kirjeldus	Kogus
1	Filtri hülss	Joonis 4	1
2	Filtri ülemine kaas	Joonis 5	1
3	Filtri alumine kaas	Joonis 6	1
4	Ühendusmuhv	Keere: 3/4", pikkus: 20mm, välimine läbimõõt 38mm	1
5	O-rõngas	100,0 x 4,0 NBR70	1
6	Mutter	M24 DIN 934	1



Materjal:

Märkimata piirhälbed:  
DIN ISO 2768-mk

Mass:  
16,2 kg

Mõõt:  
1:2

Teostas: Joel Õispuu

Nimetus:

Kontrollis: Enno Niit

**Keskmäärimise õli filter**

Kinnitas:

Leht:

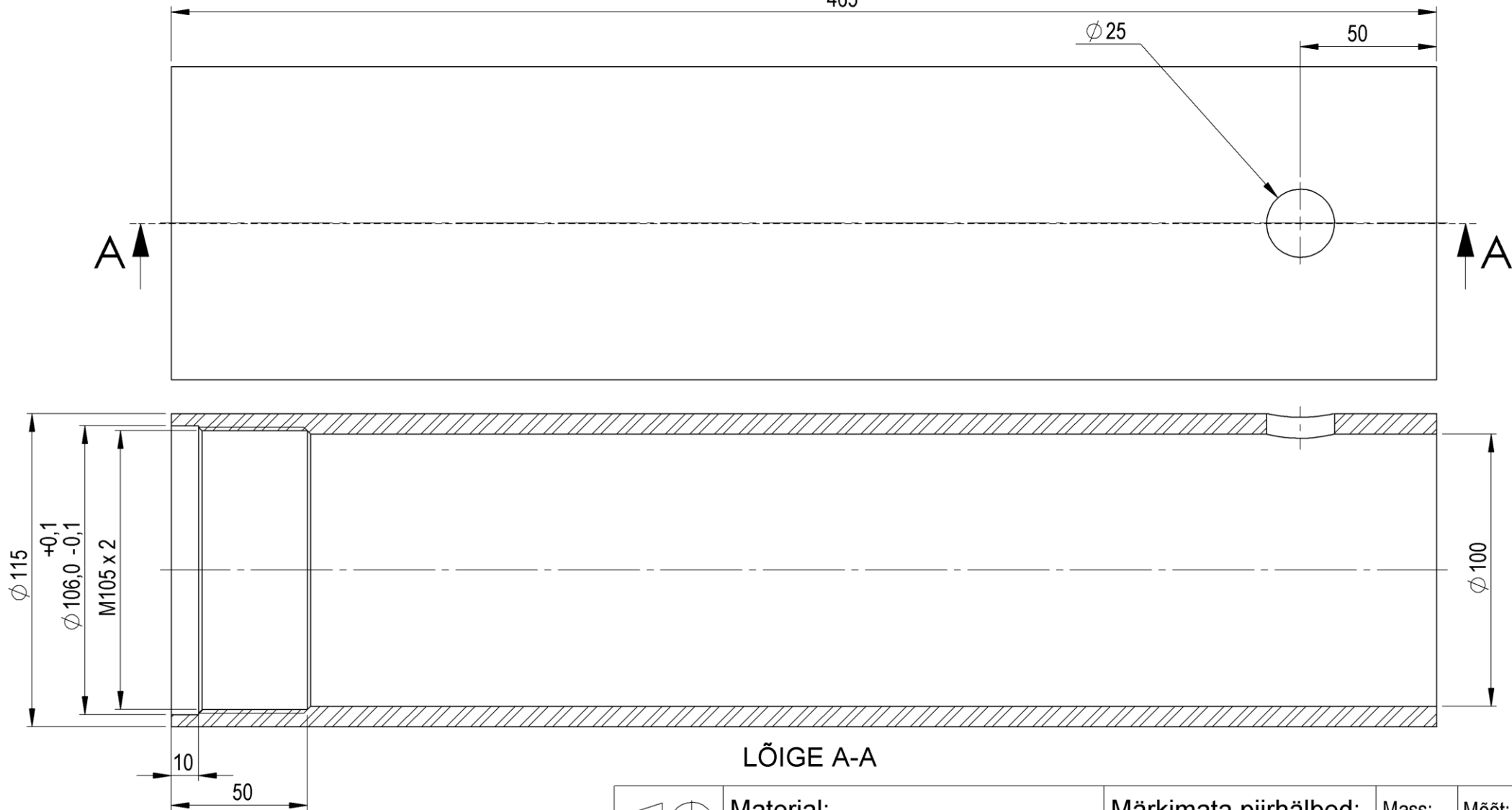
Tähis:

Formaat:

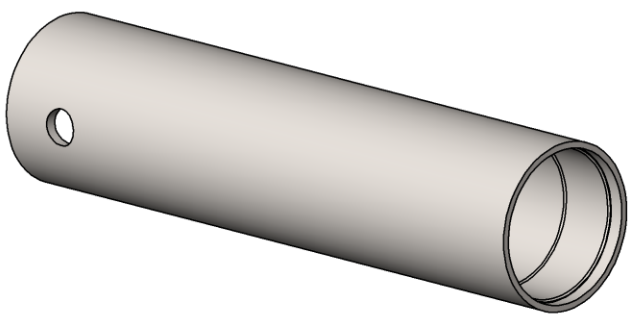
Tallinna Tehnikaülikool

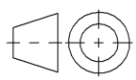
3/7

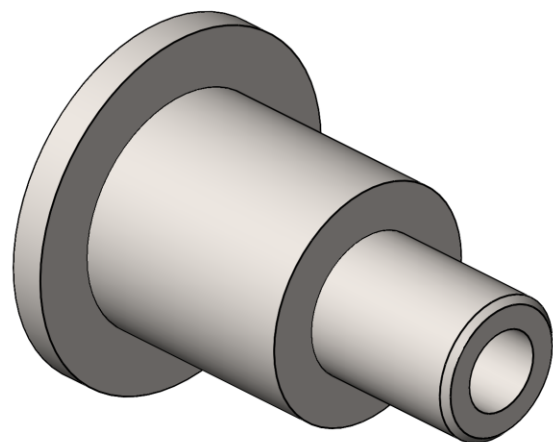
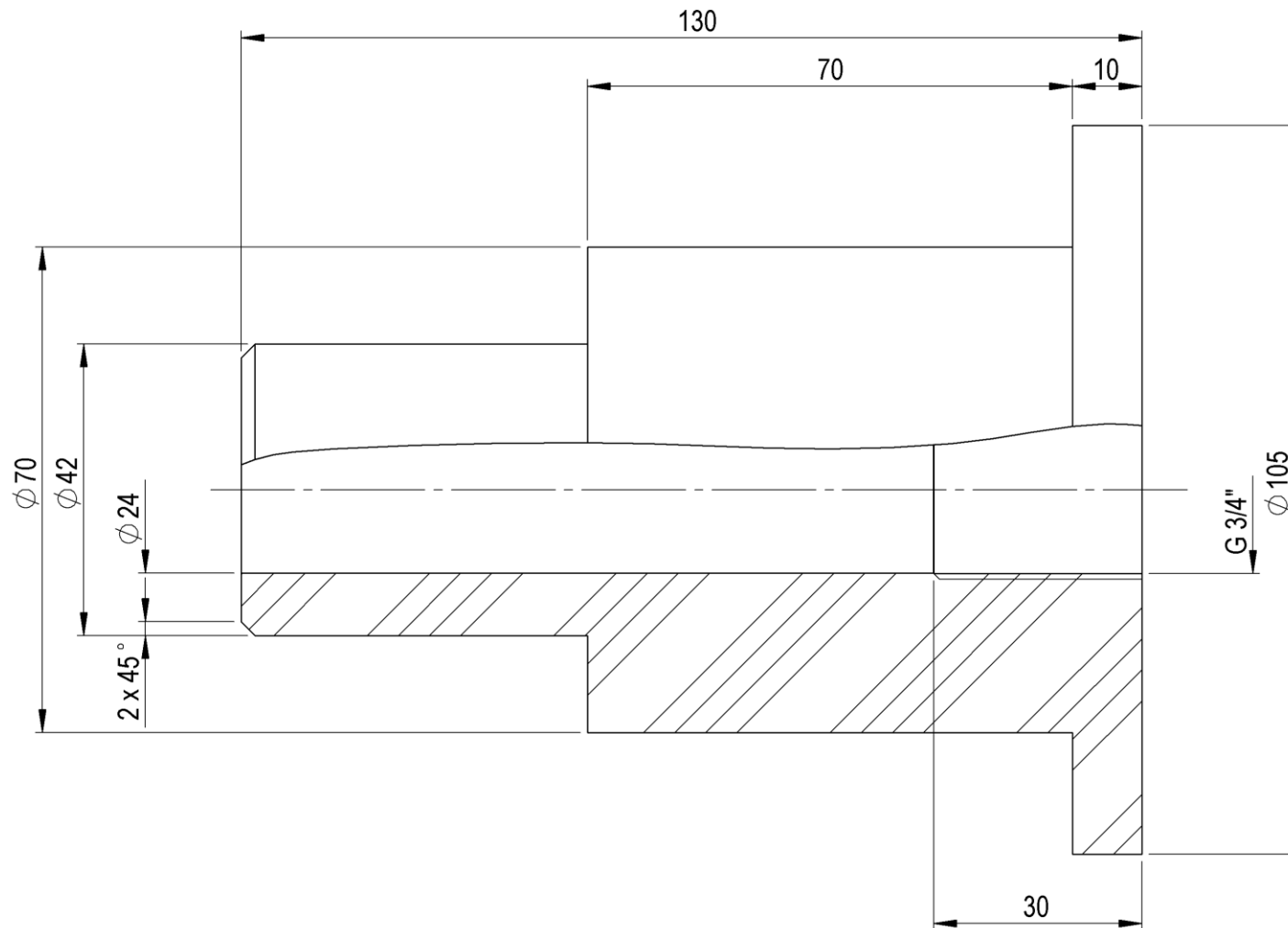
A3

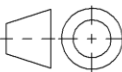


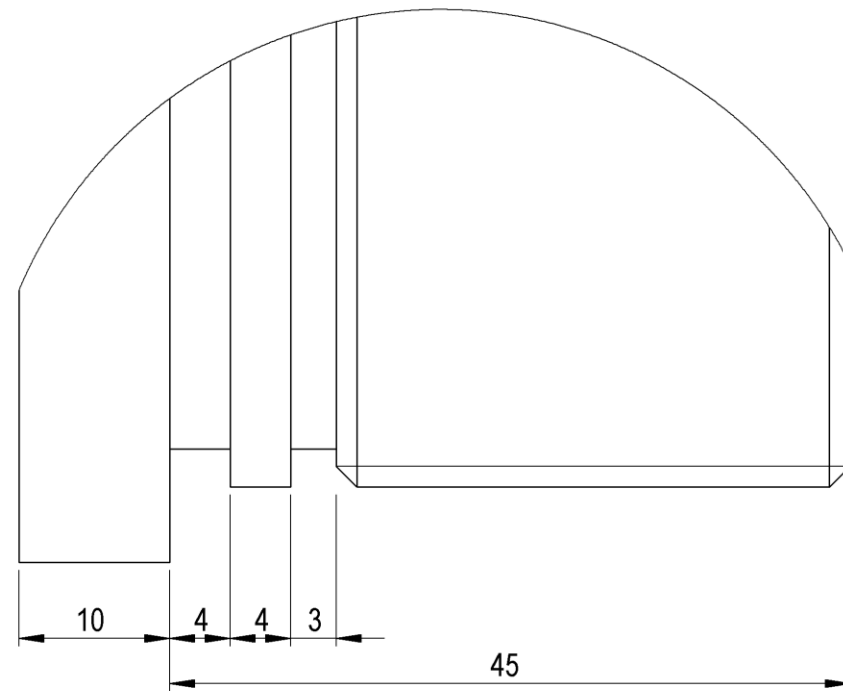
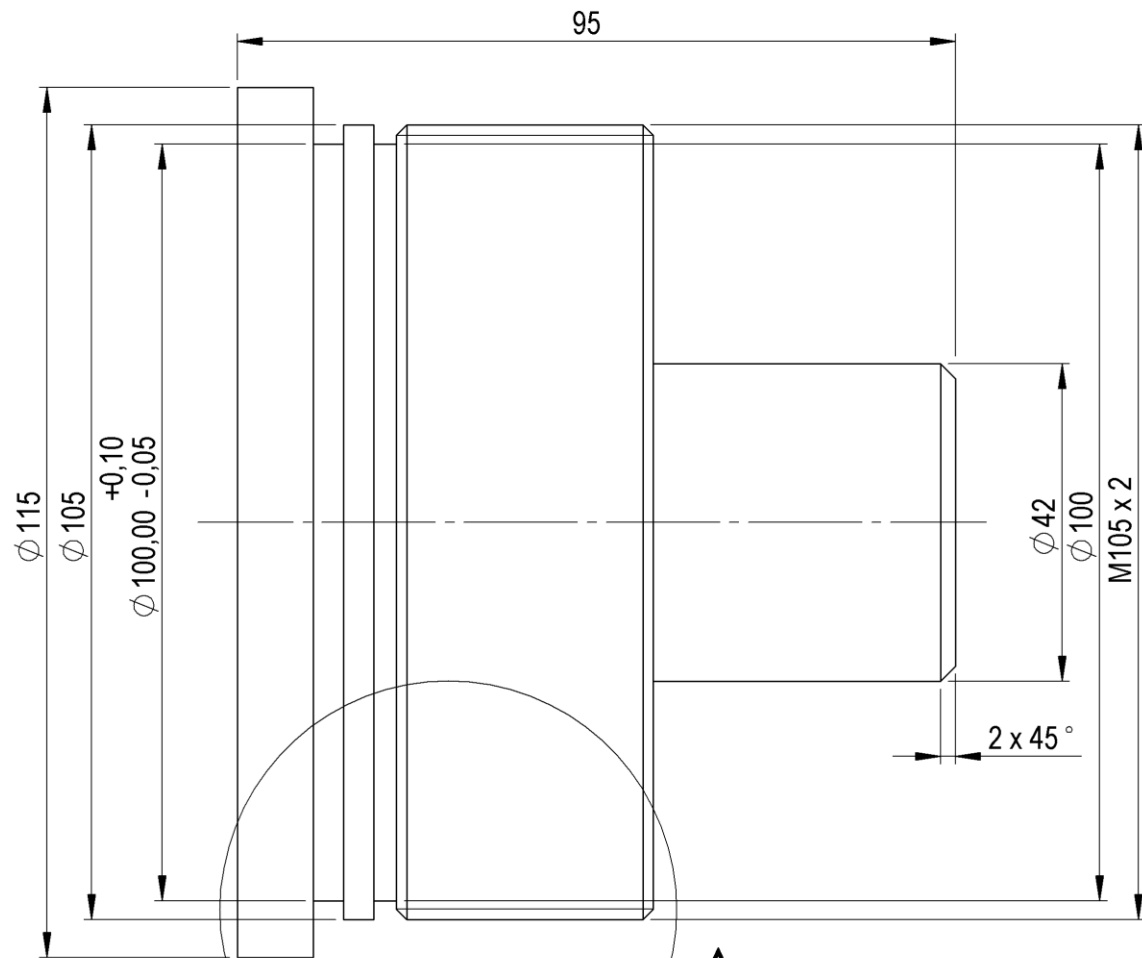
LÕIGE A-A



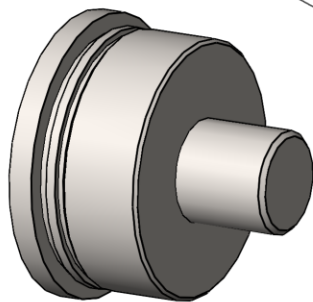
	Materjal:	S355J2	Märkimata piirhälbed:	DIN ISO 2768-mk	Mass:	9 kg	Mööd:	1:2	
	Teostas:	Joel Õispuu	Nimetus:	<b>Filtri hülss</b>					
Kontrollis:	Enno Niit								
Kinnitas:									
Tallinna Tehnikaülikool			Leht:	4/7	Tähis:			Formaat:	A4



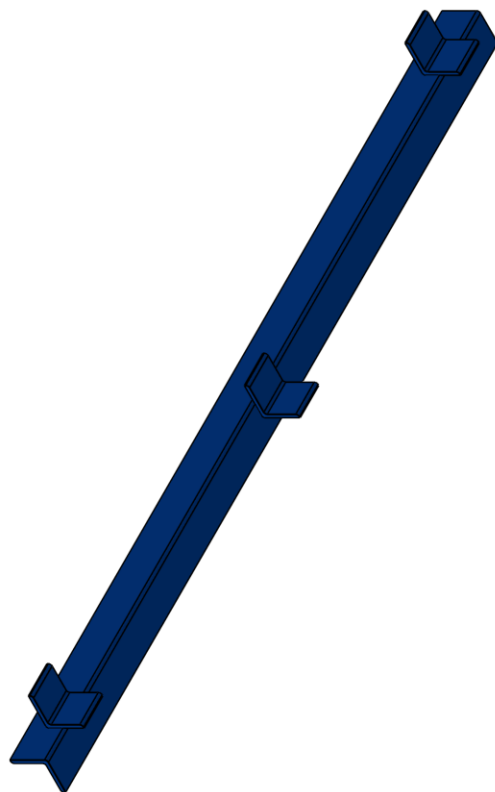
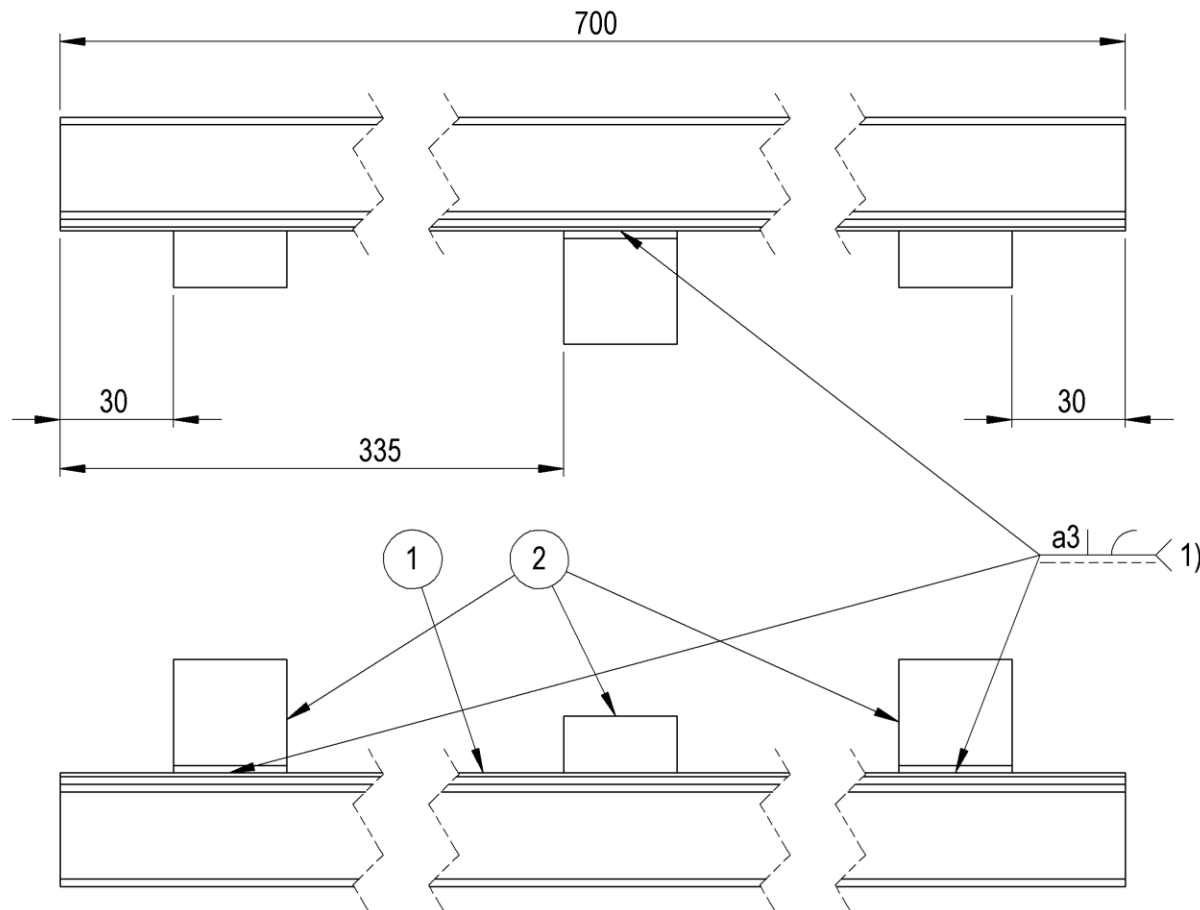
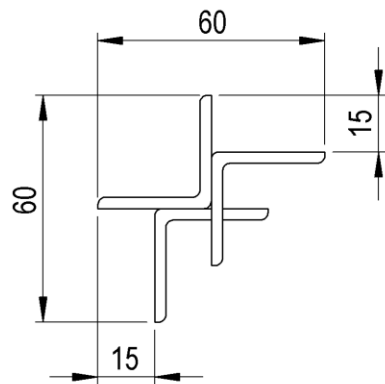
	<b>Materjal:</b> S355J2		<b>Märkimata piirhälbed:</b> DIN ISO 2768-mk		<b>Mass:</b> 2,9 kg	<b>Mõõt:</b> 1:1
	<b>Teostas:</b> Joel Õispuu	<b>Nimetus:</b>		<h1 style="text-align: center;">Filtri ülemine kaas</h1>		
<b>Kontrollis:</b> Enno Niit						
<b>Kinnitas:</b>						
<b>Tallinna Tehnikaülikool</b>		<b>Leht:</b> 5/7	<b>Tähis:</b>	<b>Formaat:</b> A4		



VAADE A  
SKAALA 2 : 1

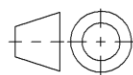


	Materjal:	S355J2	Märkimata piirhälbed:	DIN ISO 2768-mk	Mass:	4,2 kg	Mõõt:	1:1
	Teostas:	Joel Õispuu	Nimetus:	<b>Filtri alumine kaas</b>				
Kontrollis:	Enno Niit							
Kinnitas:								
Tallinna Tehnikaülikool			Leht:	6/7	Tähis:		Formaat:	A4



1) ISO 5817/c VT100%

Osa	Nimetus	Kirjeldus	Kogus
1	Kaitseraud	Nurkraud 30x30x3 mm, pikkus 700 mm	1
2	Kaitseraua jalad	Nurkraud 30x30x3 mm, pikkus 30 mm	3



Materjal:

S235

Märkimata piirhälbed:

DIN ISO 2768-mk

Mass:

1 kg

Mõõt:

1:2

Teostas: Joel Õispuu

Nimetus:

**Mehaanilise**

Kontrollis: Enno Niit

**tasapinnanäidiku kaitseraud**

Kinnitas:

Leht:

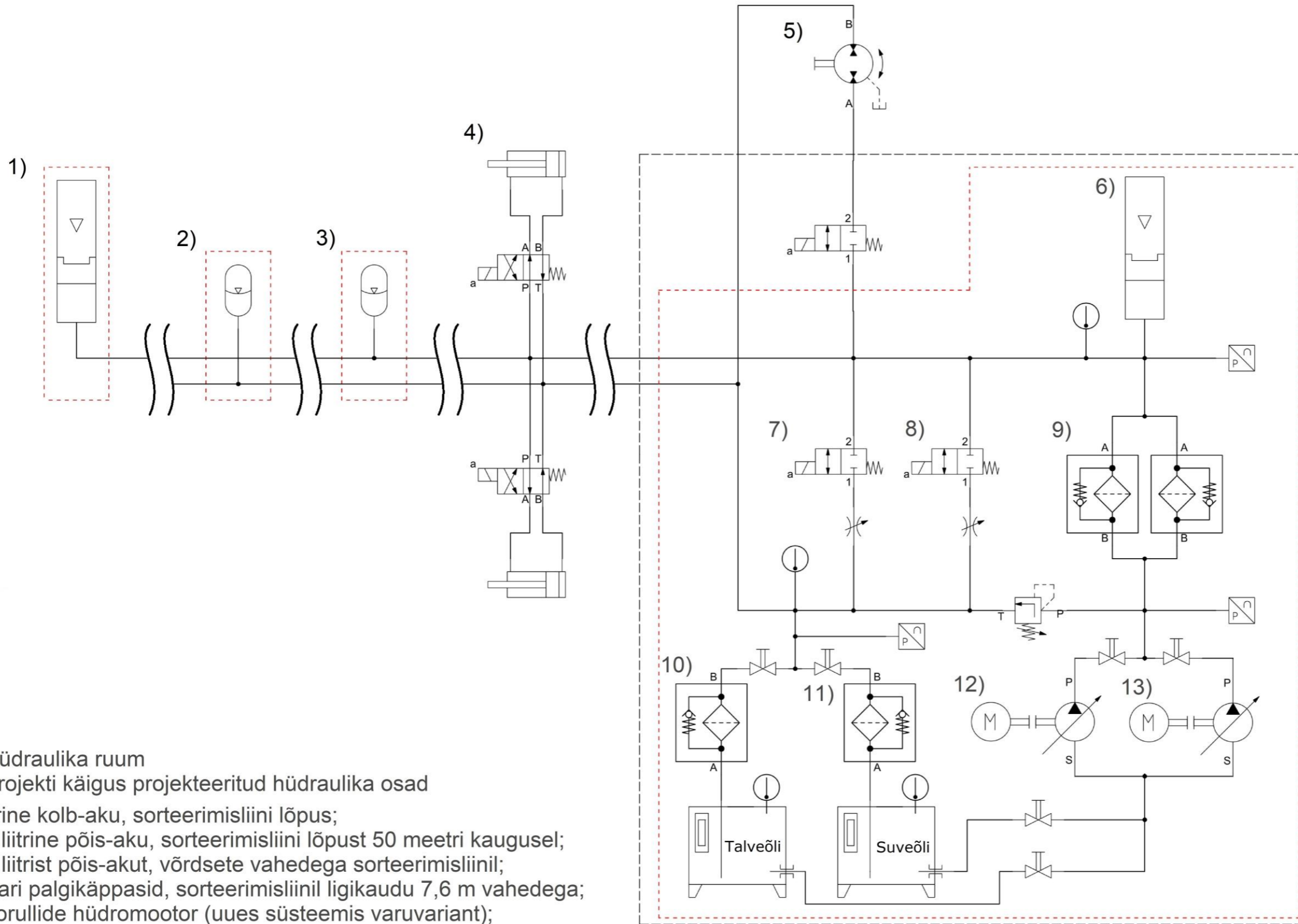
**7/7**

Tähis:

Formaat:

**A4**

Tallinna Tehnikaülikool



----- Hüdraulika ruum

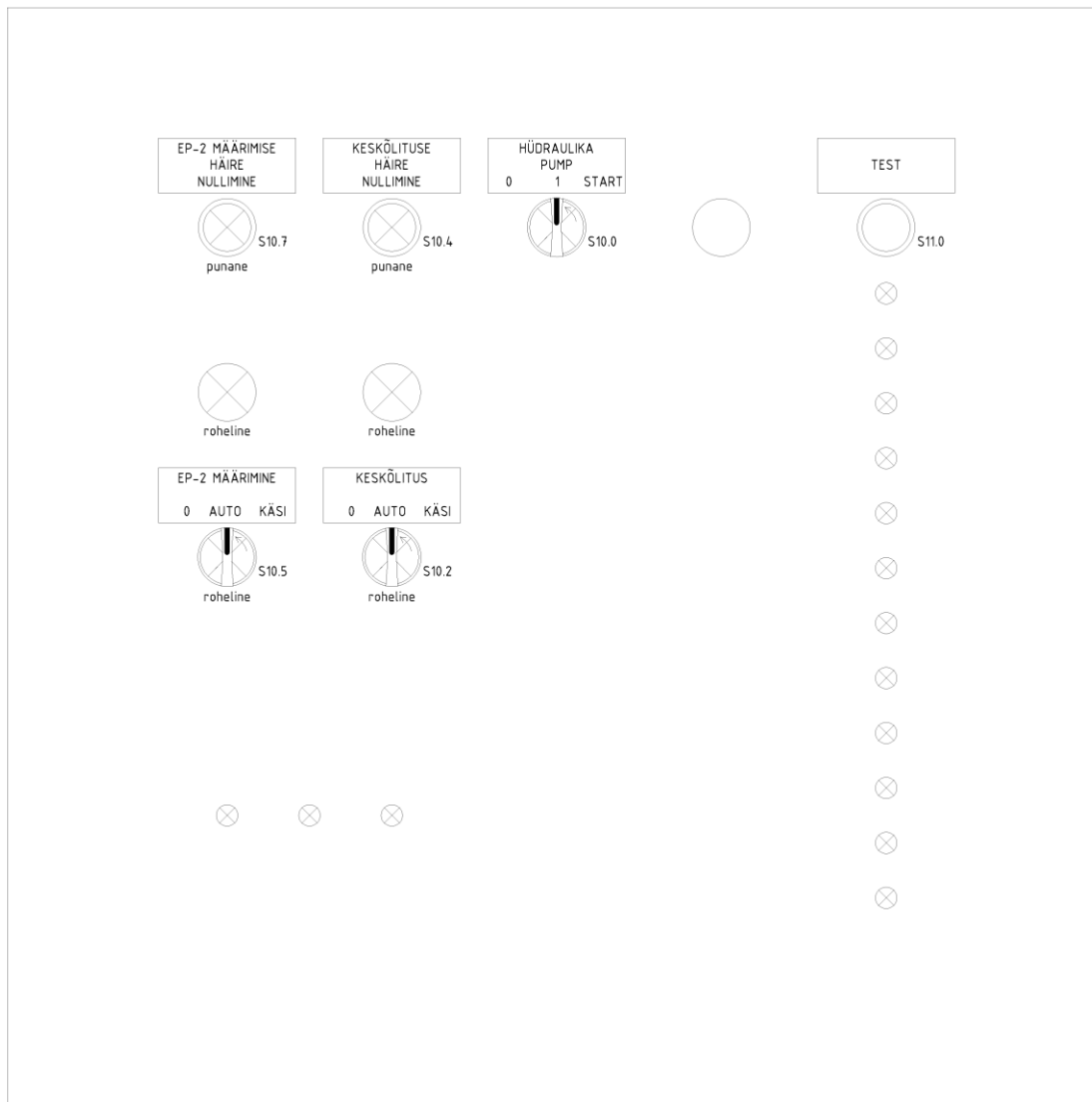
..... Projekti käigus projekteeritud hüdraulika osad

- 1) 10 liitrine kolb-aku, sorteerimisliini lõpus;
- 2) üks 4 liitrine põis-aku, sorteerimisliini lõpust 50 meetri kaugusel;
- 3) neli 4 liitrist põis-akut, võrdsete vahedega sorteerimisliinil;
- 4) 25 paari palgikäppasid, sorteerimisliinil ligikaudu 7,6 m vahedega;
- 5) üleveorullide hüdro mootor (uues süsteemis varuvariant);
- 6) 10 liitrine kolb-aku, hüdrokeskuse juures;
- 7) hüdroakude rõhu mahalaske klapp;
- 8) pumba tootlikuse kontrollimise klapp;
- 9) kõrgrõhufiltrid
- 10) talveõli tagasivoolufilter;
- 11) suveõli tagasivoolufilter;
- 12) 4 kW mootor ja 27 l/min pump;
- 13) 22 kW mootor ja 150 l/min pump (uues süsteemis varuvariant).

	Materjal:	Märkimata piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
Teostas:	Joel Õispuu	Nimetus: <b>Palgisorteeeri hüdraulikasekeem</b>		
Kontrollis:				
Kinnitas:				
Tallinna Tehnikaülikool		Leht: 1/1	Tähis:	Formaat: A3

A  
B  
C  
D  
E  
F  
G  
H  
J  
K  
L  
M  
N

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15



IMAVERE SAEVESKI  
 Palgisorteeeri hüdraulikakeskuse laienduskiilp  
 Juhtnupud - märgutuled

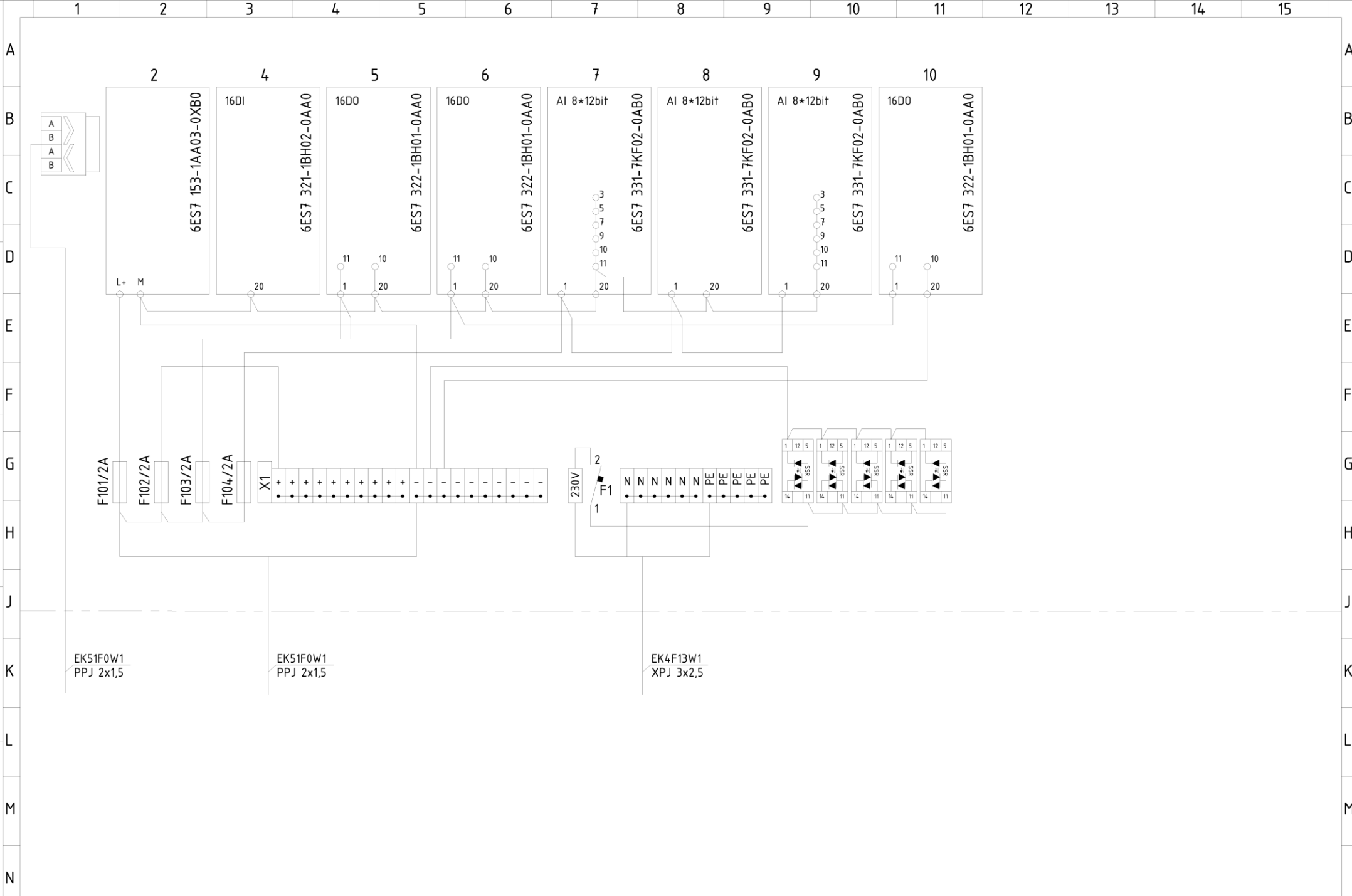
projekteerija: Joel Õispuu

joonestaja:

kuupaev: 15.05.2022

joonise nr.

40-OP

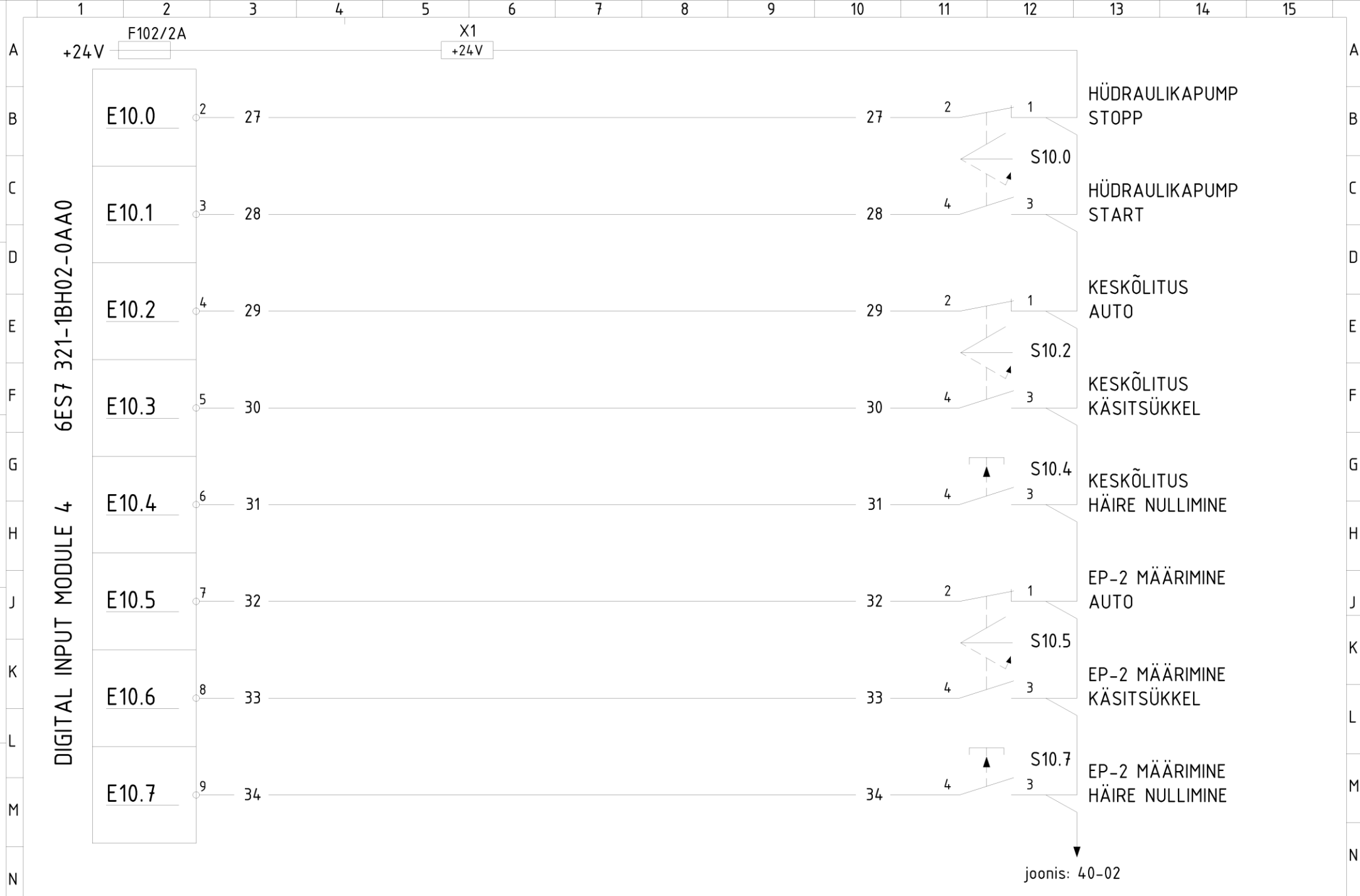


IMAVERE SAEVESKI  
 Palgisorteeri hüdraulikakeskuse laienduskiilp  
 Toitepinged

projekteerija: Joel Õispuu  
 joonestaja:  
 kuupaev: 15.05.2022

joonise nr.  
 40-Toited





IMAVERE SAEVESKI  
 Palgisorteeri hüdraulikakeskuse laienduskiip  
 SISENDID E10.0-E10.7

projekteerija: Joel Õispuu

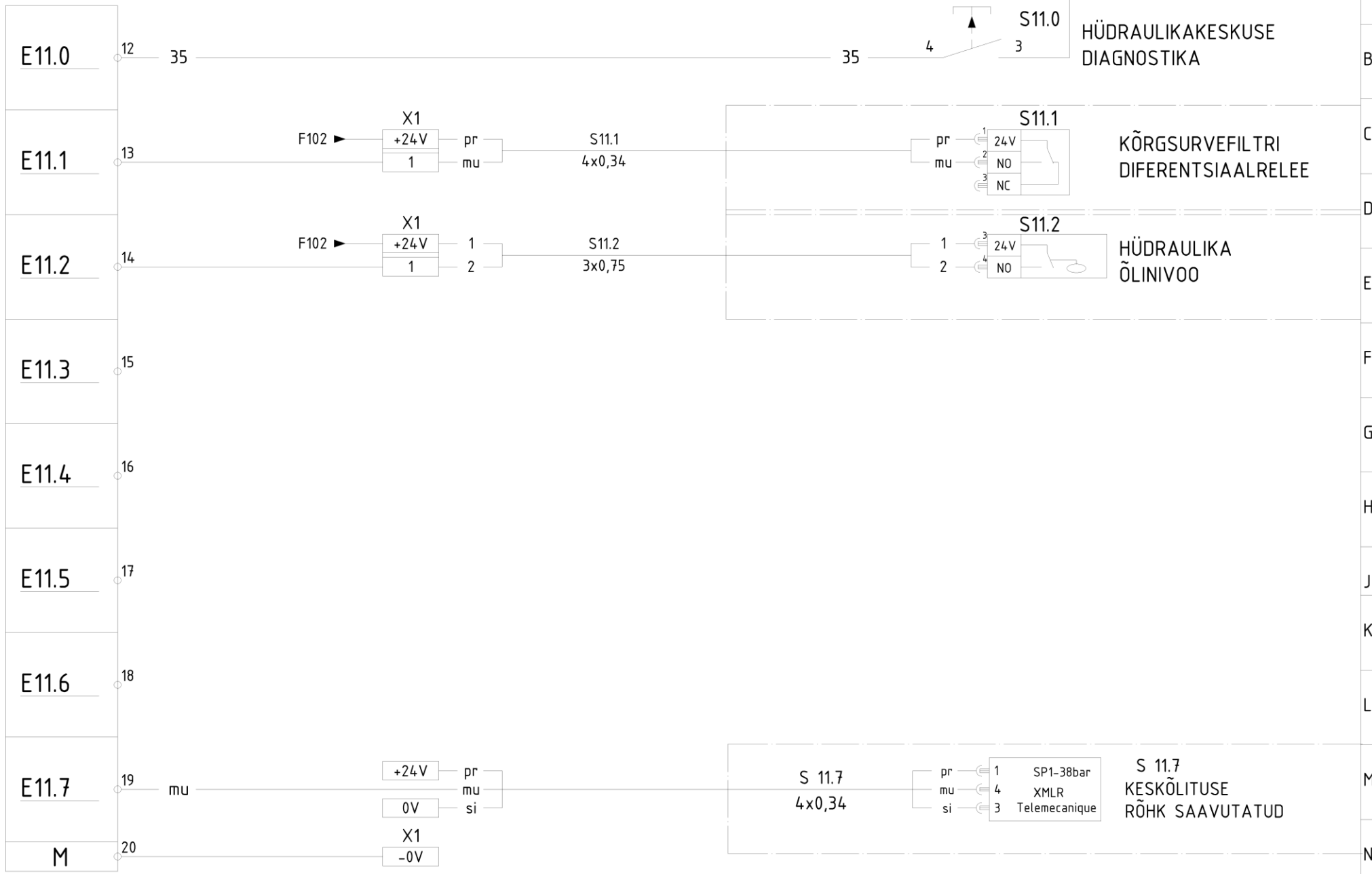
joonestaja:

joonise nr.

kuupaev: 15.05.2022

40-01

DIGITAL INPUT MODULE 4 6ES7 321-1BH02-0AA0



joonis: 40-01

+24V

S11.0

HÜDRAULIKAKESKUSE  
DIAGNOSTIKA

S11.1

KÕRGSURVEFILTRI  
DIFERENTSIAALRELEE

S11.2

HÜDRAULIKA  
ÕLINIVOO

S 11.7  
4x0,34

S 11.7  
KESKÕLITUSE  
RÕHK SAAVUTATUD

IMAVERE SAEVESKI  
Palgisorteeri hüdraulikakeskuse laienduskiilp  
SISENDID E11.0-E11.7

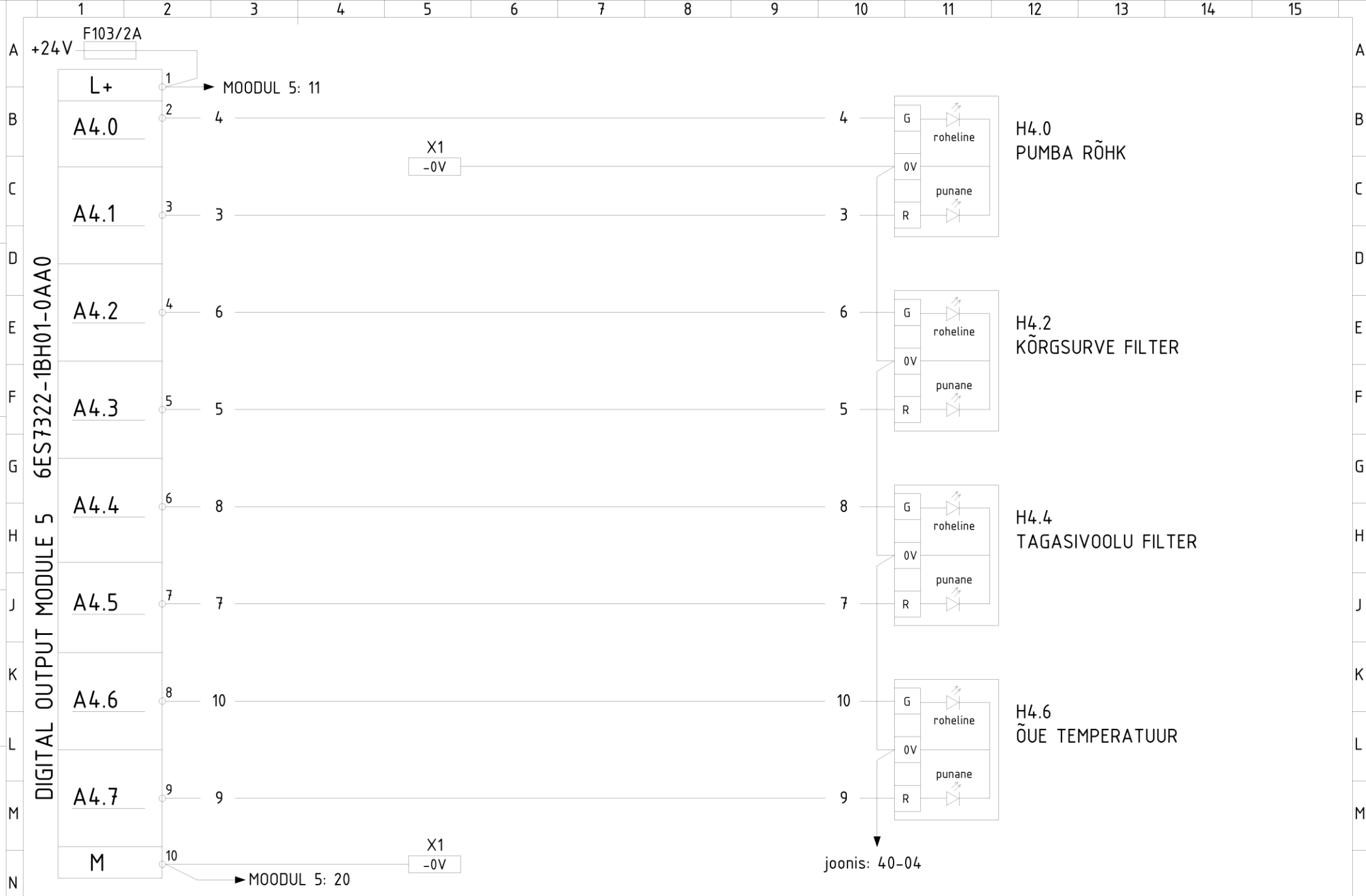
projekteerija: Joel Õispuu

joonestaja:

joonise nr.

kuupaev: 15.05.2022

40-02



IMAVERE SAEVESKI  
 Palgisorteeri hüdraulikakeskuse laienduskiip  
 VÄLJUNDID A4.0 - A4.7

projekteerija: Joel Õispuu

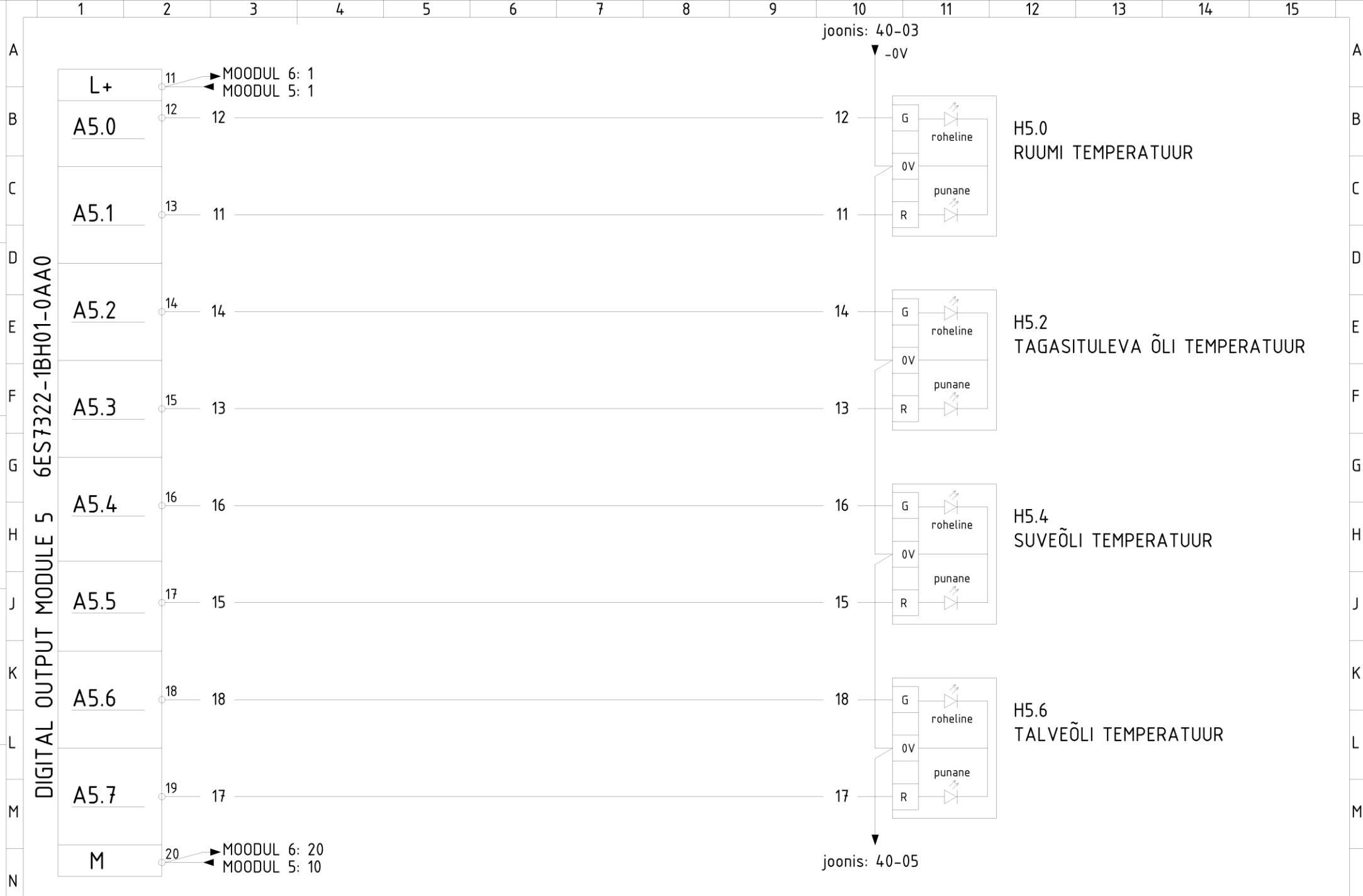
joonestaja:

kuupaev:

15.05.2022

joonise nr.

40-03



IMAVERE SAEVESKI  
 Palgisorteeri hüdraulikakeskuse laienduskiilp  
 VÄLJUNDID A5.0 - A5.7

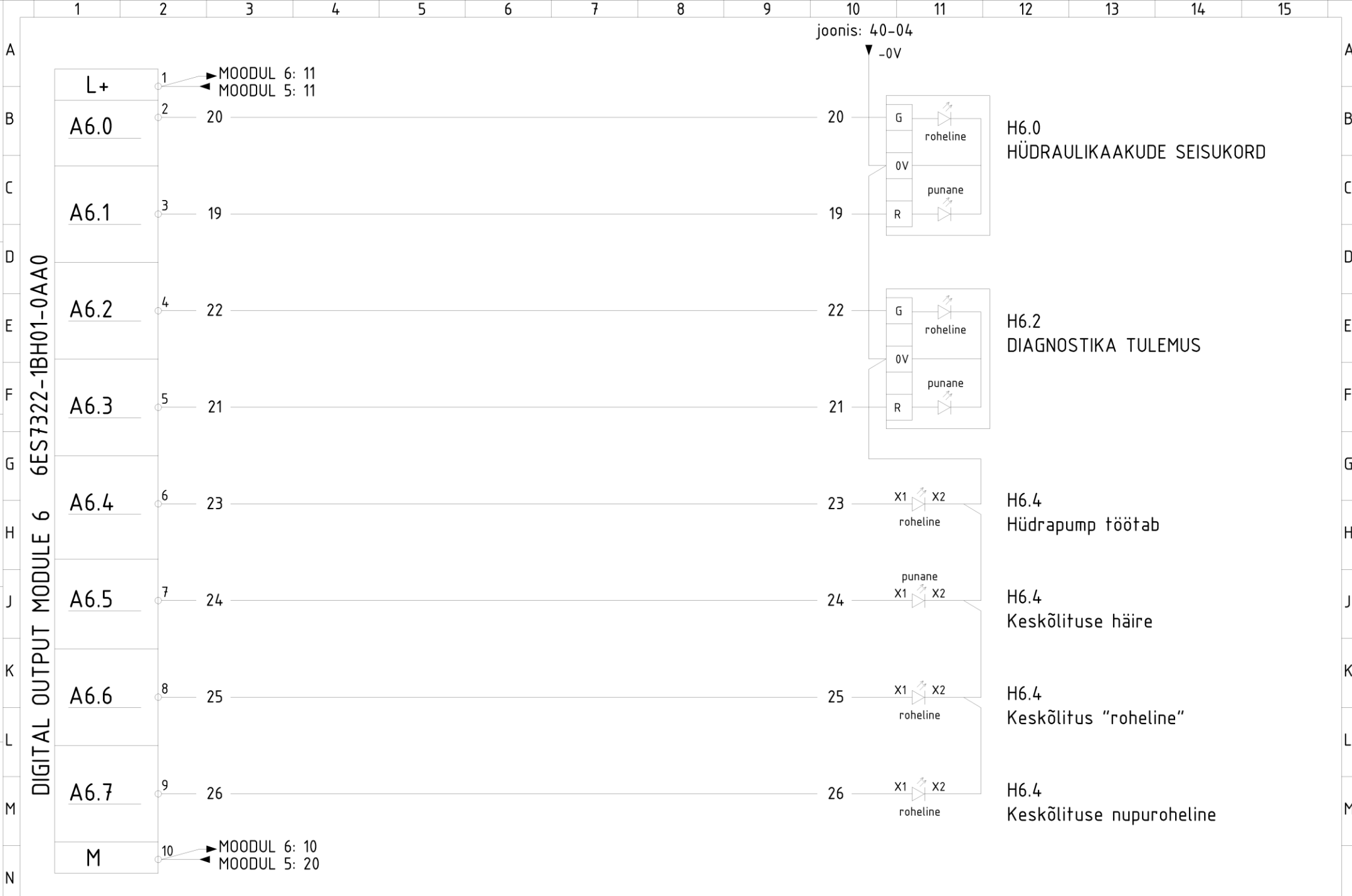
projekteerija: Joel Õispuu

joonestaja:

joonise nr.

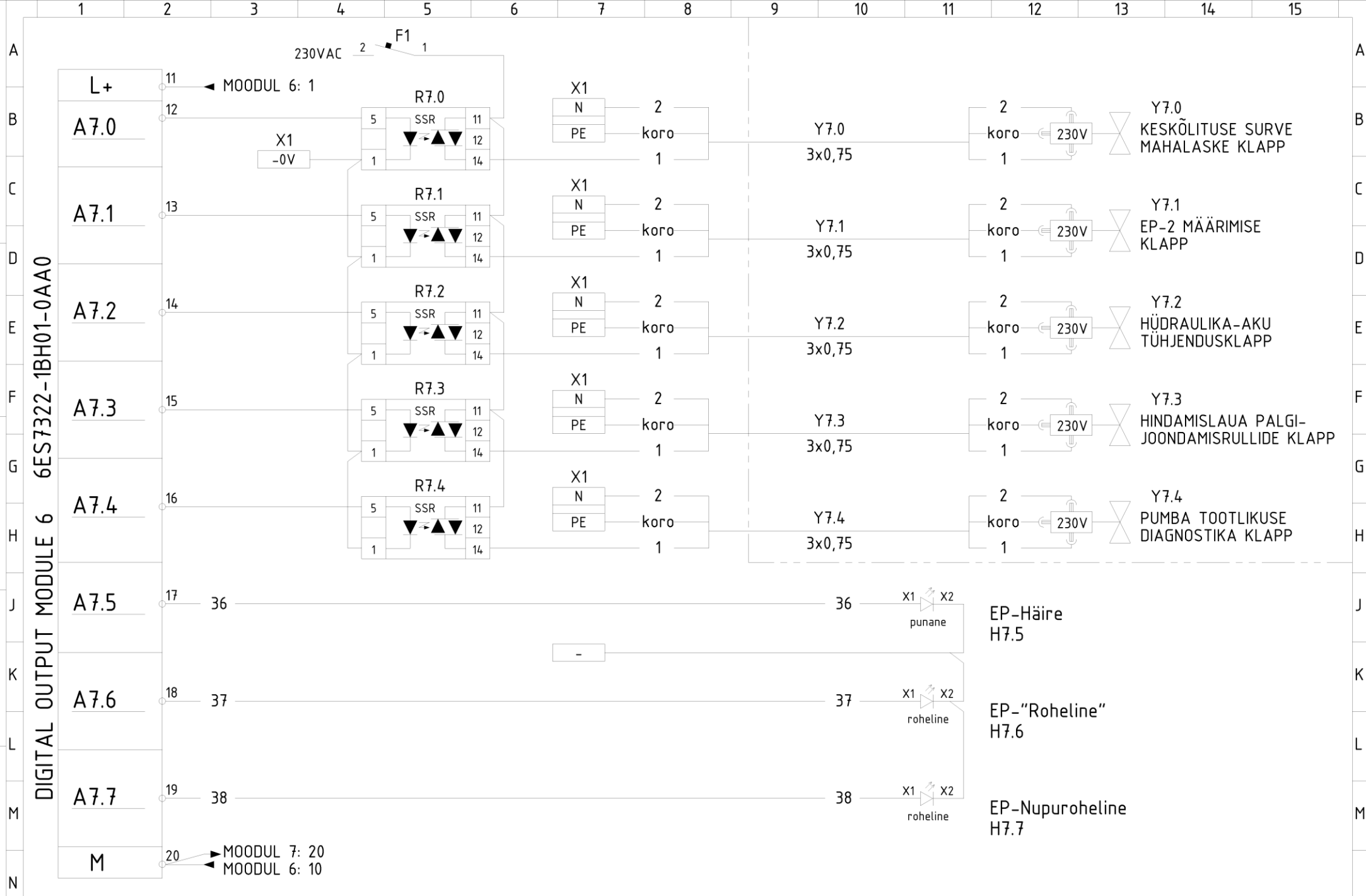
kuupaev: 15.05.2022

40-04



IMAVERE SAEVESKI  
 Palgisorteeri hüdraulikakeskuse laienduskiilp  
 VÄLJUNDID A6.0 - A6.7

projekteerija: Joel Õispuu	joonise nr. 40-05
joonestaja:	
kuupaev: 15.05.2022	



IMAVERE SAEVESKI  
 Palgisorteeri hüdraulikakeskuse laienduskiip  
 VÄLJUNDID A7.0 - A7.7

projekteerija: Joel Õispuu

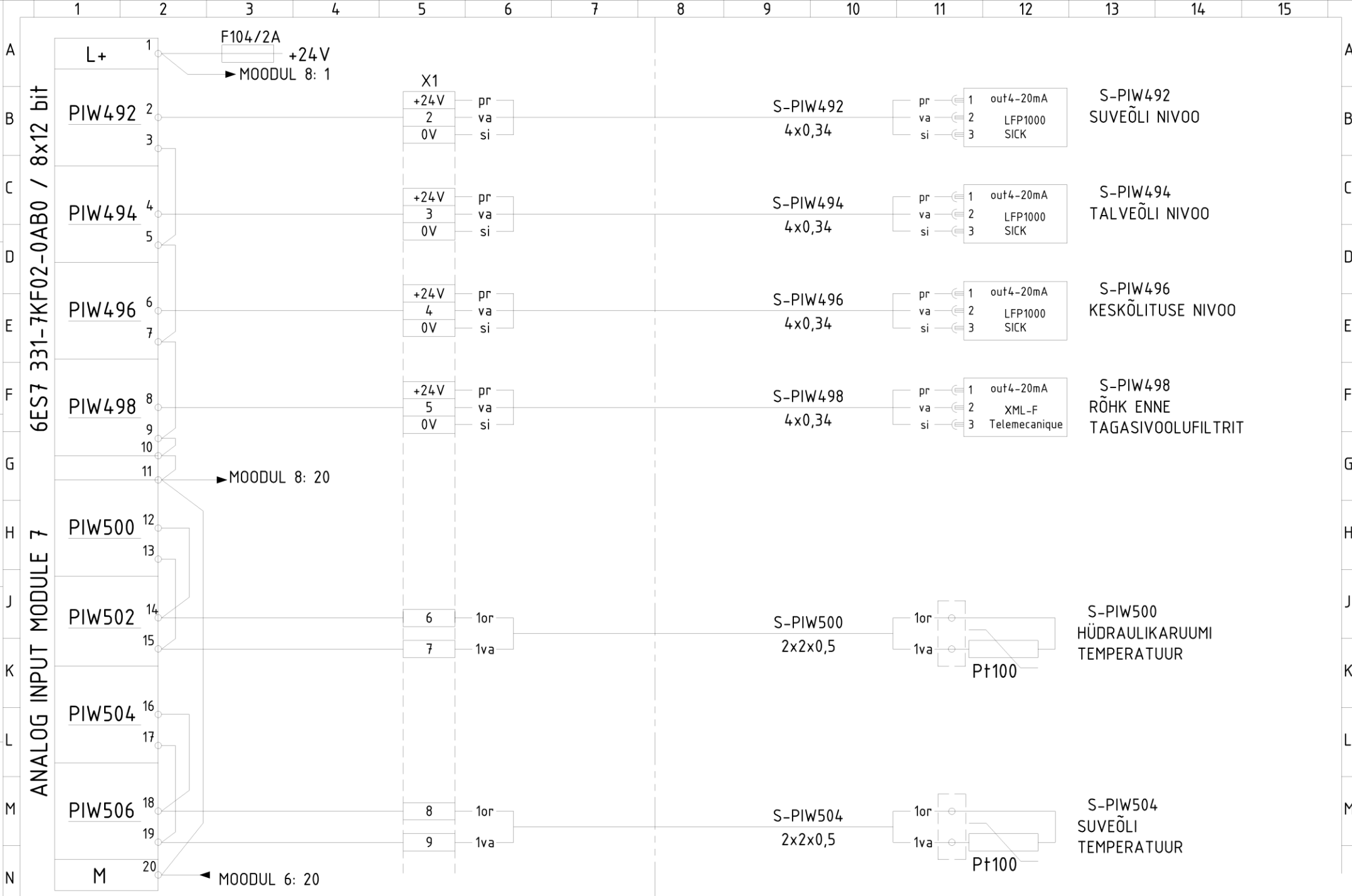
joonestaja:

joonise nr.

kuupaev:

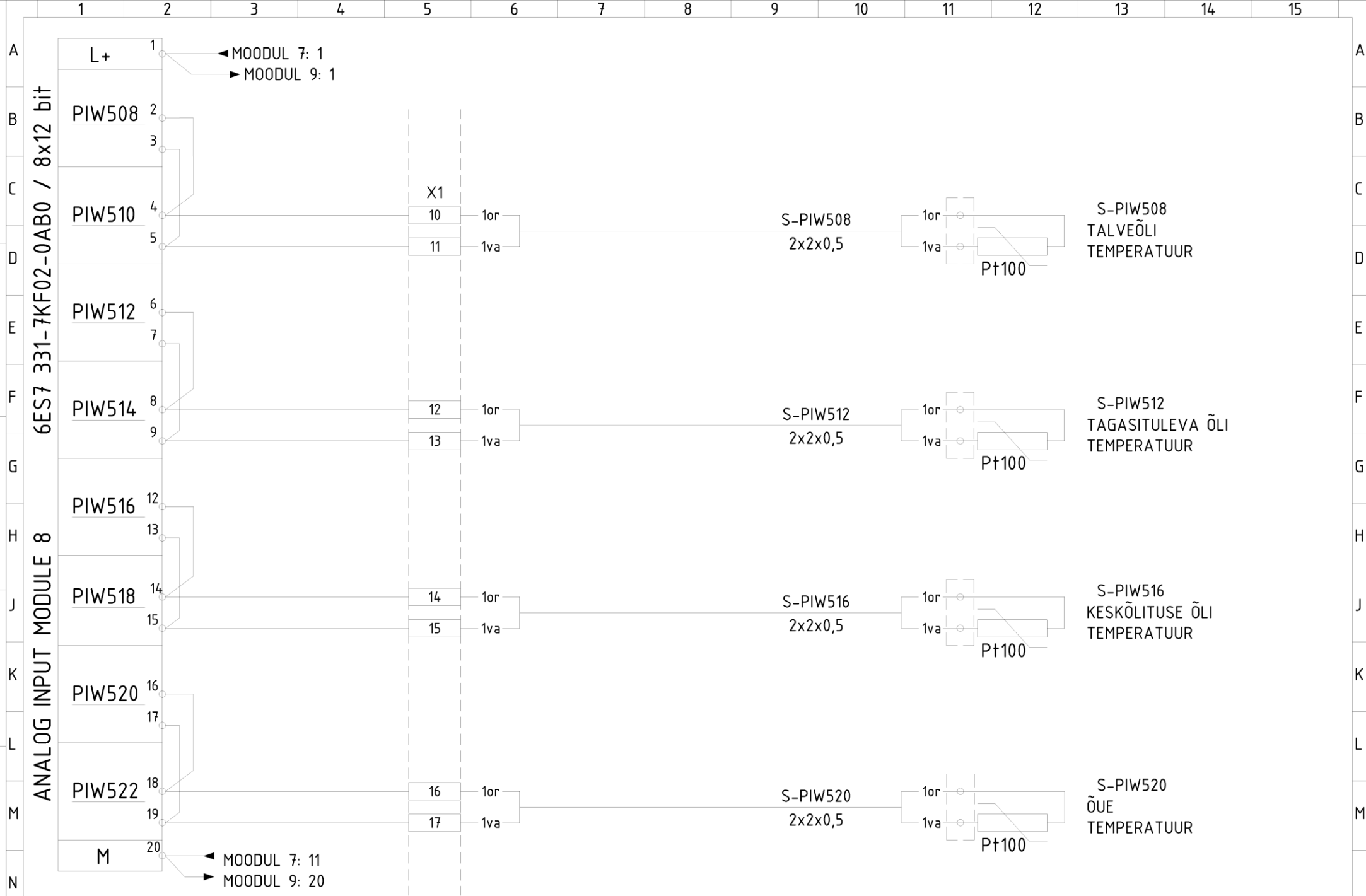
15.05.2022

40-06



IMAVERE SAEVESKI  
 Palgisorteeeri hüdraulikakeskuse laienduskiilp  
 Analoogsisendid PIW492-506

projekteerija: Joel Õispuu	joonise nr.
joonestaja:	40-07
kuupaev: 15.05.2022	



IMAVERE SAEVESKI  
 Palgisorteeri hüdraulikakeskuse laienduskiilp  
 Analoogsisendid PIW508-522

projekteerija: Joel Õispuu

joonestaja:

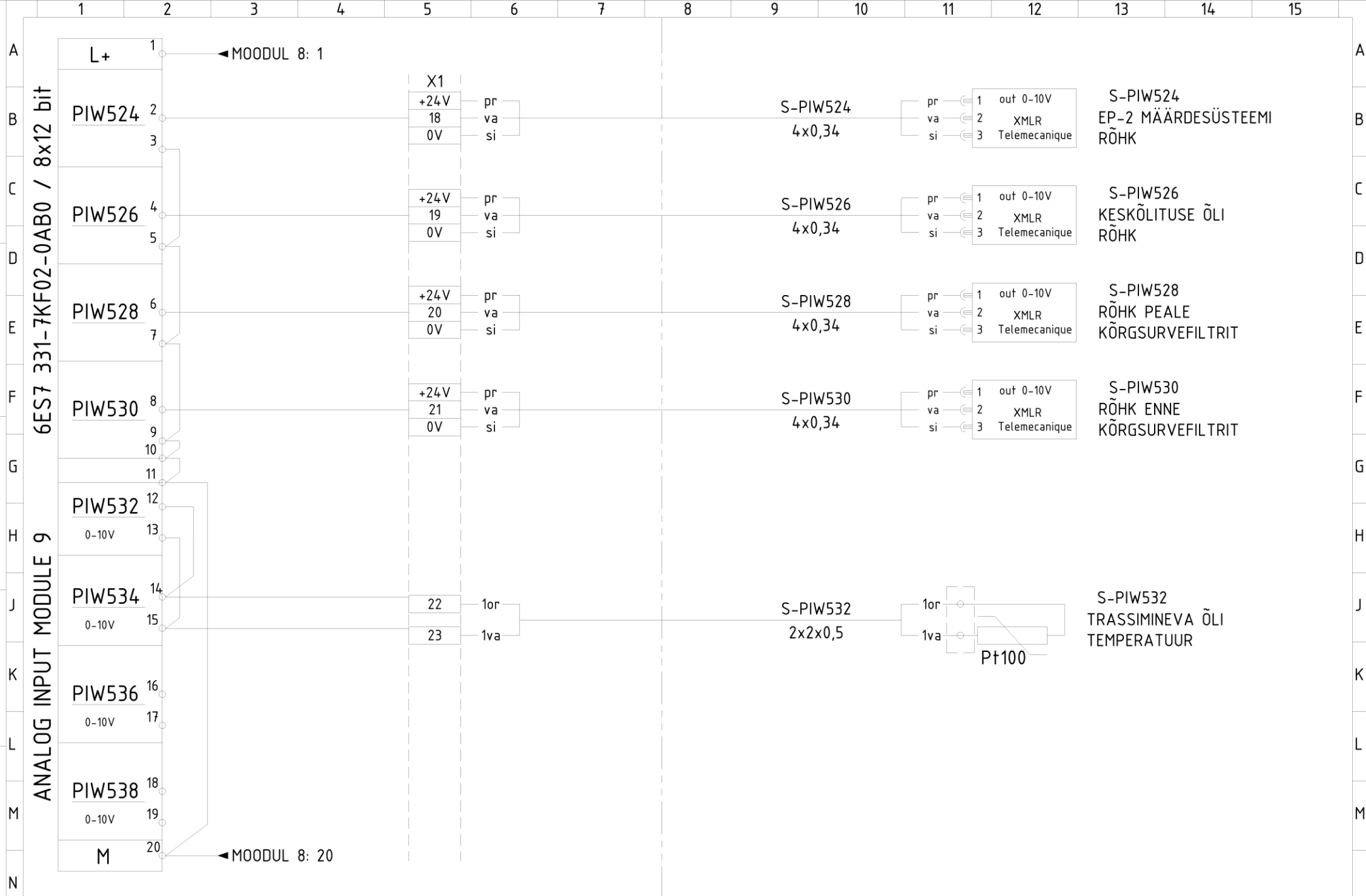
joonise nr.

kuupaev:

15.05.2022

40-08

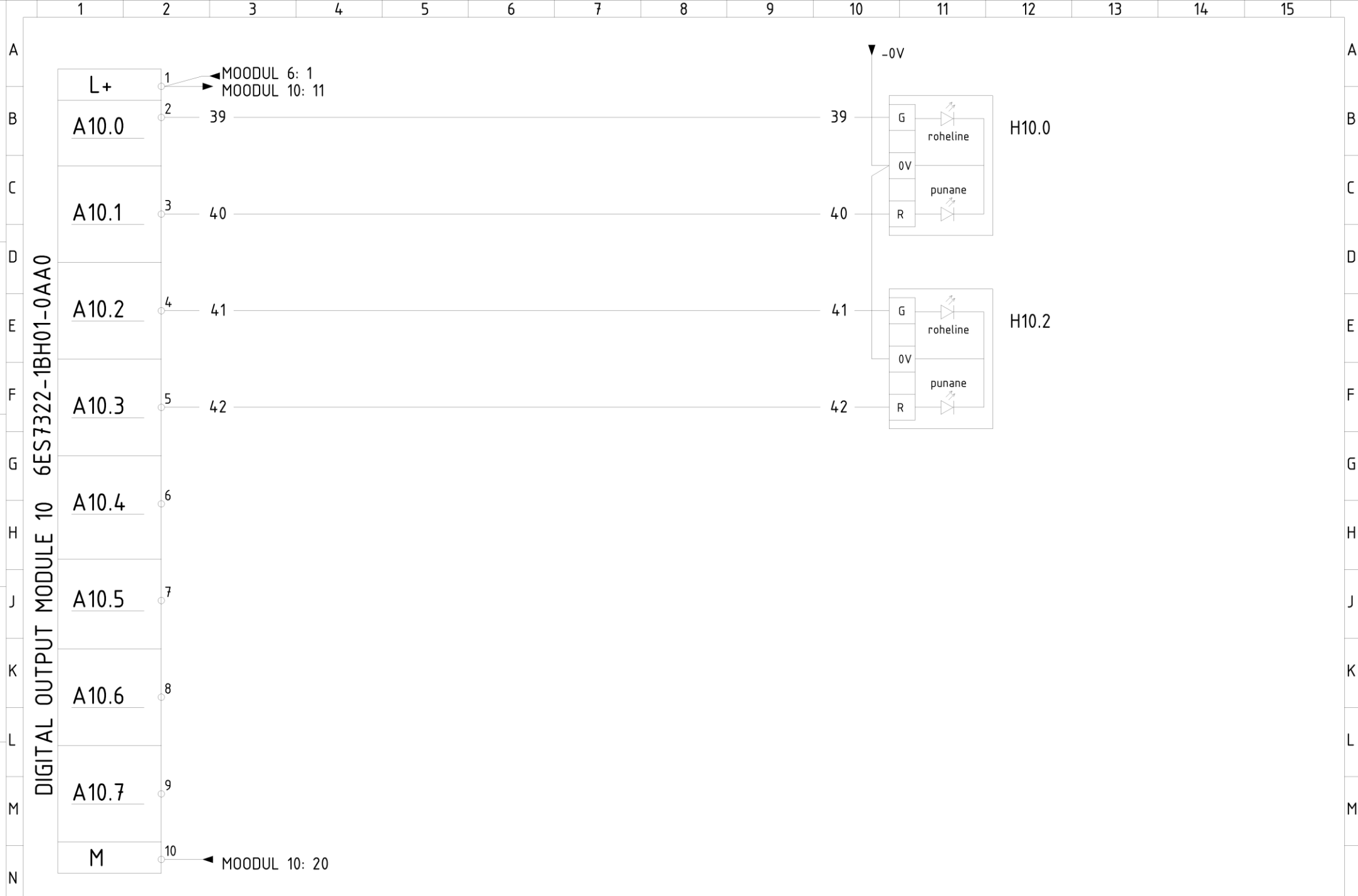




IMAVERE SAEVESKI  
 Palgisorteeri hüdraulikakeskuse laienduskipl  
 Analooisisendid PIW524-538

projekteerija: Joel Õispuu  
 joonestaja:  
 kuupaev: 15.05.2022

joonise nr.  
 40-09



IMAVERE SAEVESKI  
 Palgisorteeri hüdraulikakeskuse laienduskiip  
 VÄLJUNDID A10.0 - A10.7

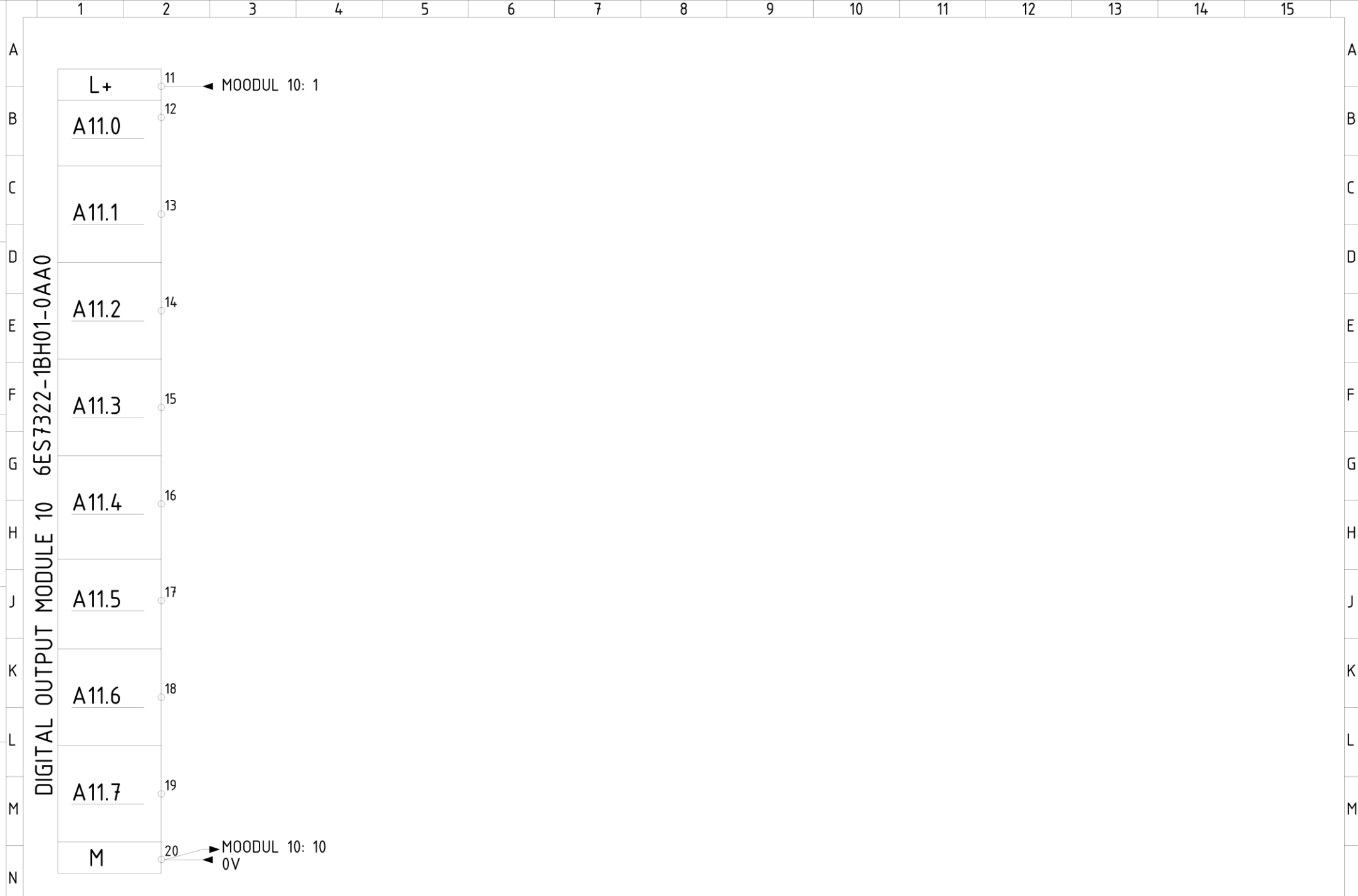
projekteerija: Joel Õispuu

joonestaja:

joonise nr.

kuupaev: 15.05.2022

40-10



IMAVERE SAEVESKI  
 Palgisorteeri hüdraulikakeskuse laienduskiip  
 VÄLJUNDID A11.0 - A11.7

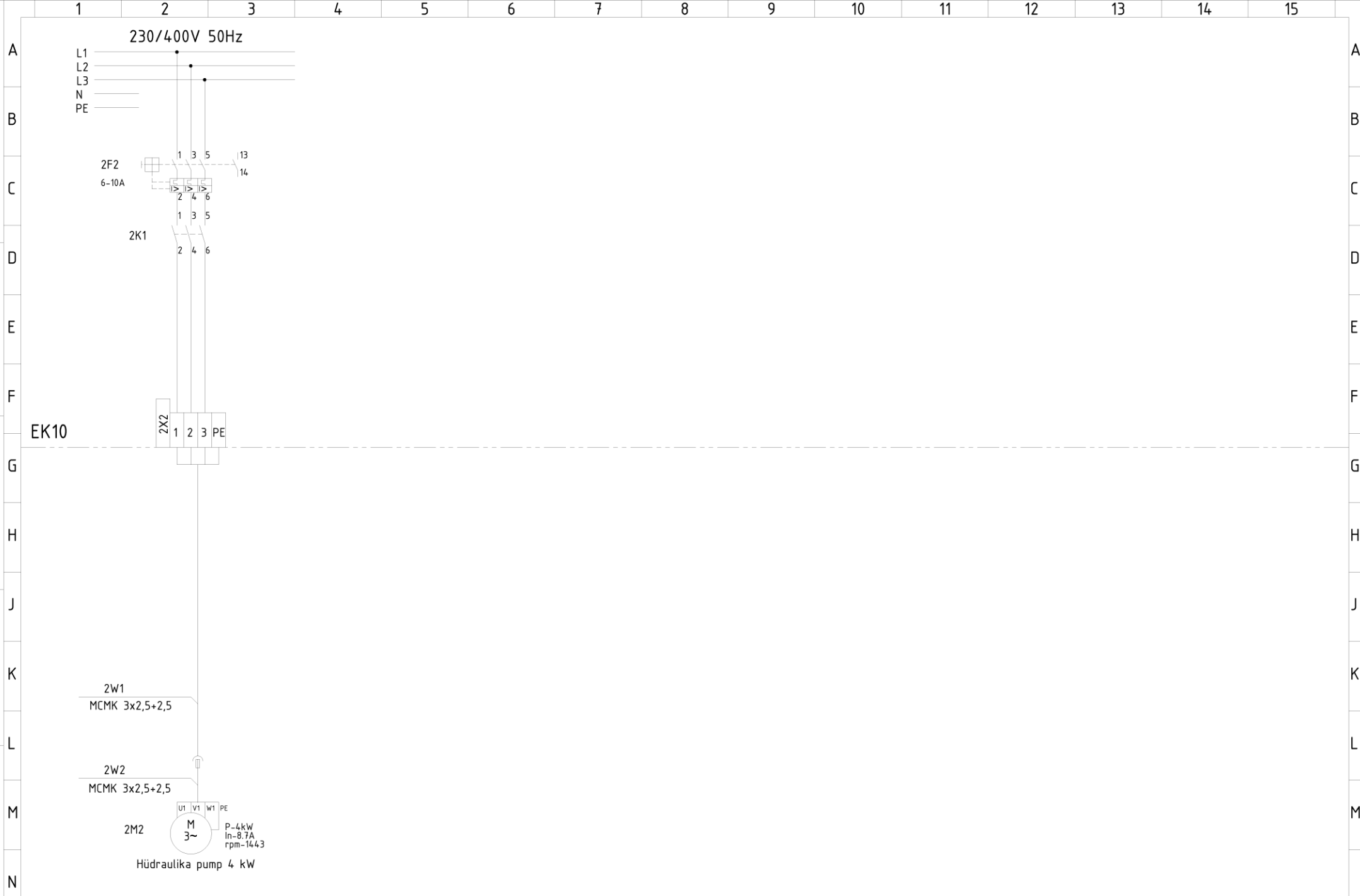
projekteerija: Joel Õispuu

joonestaja:

kuupaev: 15.05.2022

joonise nr.

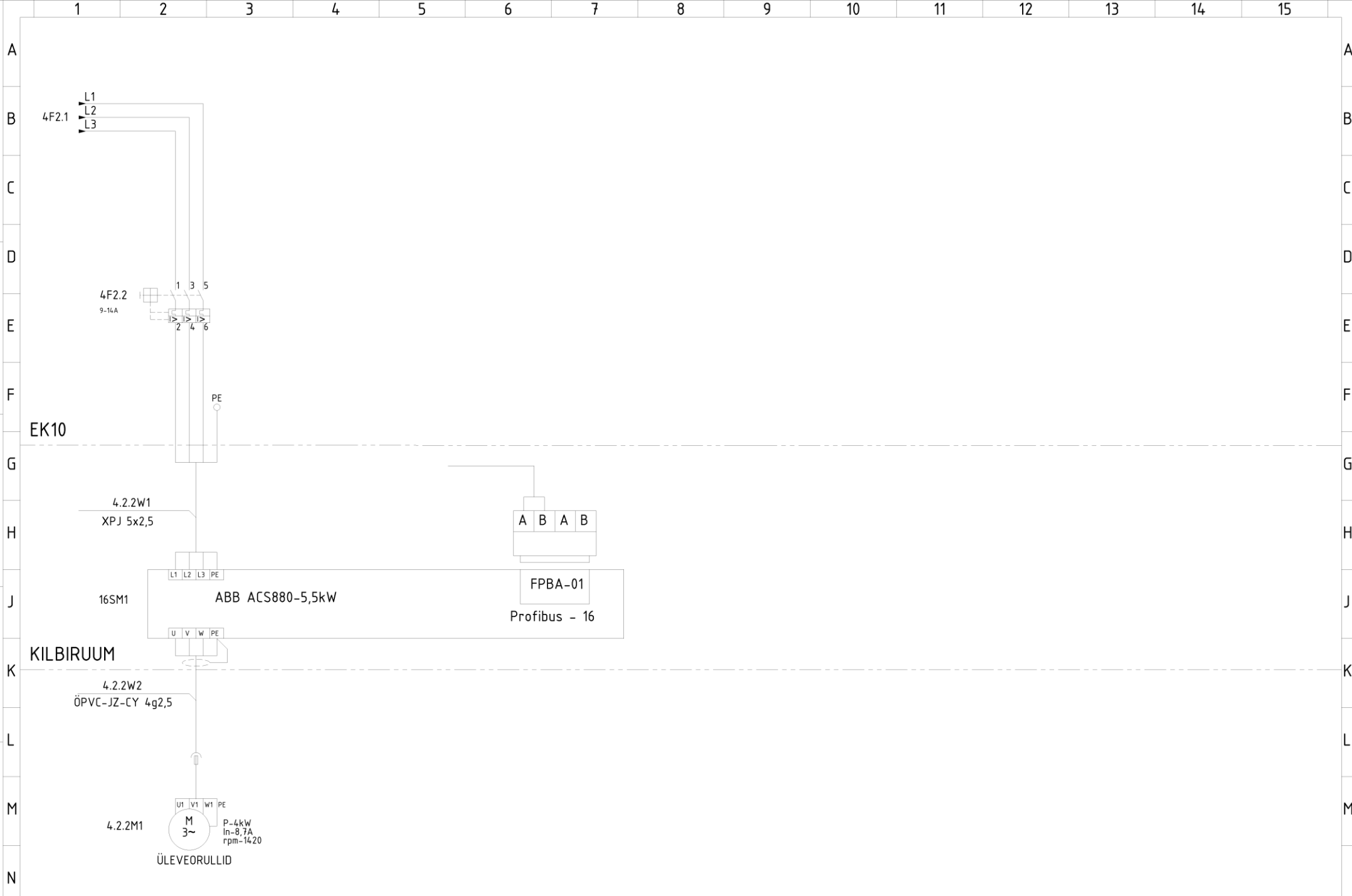
40-11



IMAVERE SAEVESKI  
 Palgisorteer  
 Hüdraulika pump 4 kW

projekteerija: Joel Õispuu  
 joonestaja:  
 kuupäev: 15.05.2022

leht 1  
 joon.nr  
 10-02



IMAVERE SAEVESKI  
 Palgisorteer  
 Üleveorullid

projekteerija: Joel Õispuu  
 joonestaja:  
 kuupäev: 15.05.2022

leht 1  
 joon.nr  
 10-04-4