



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

KAUGJUHITAV SONARI VINTS MEHITAMATA UURIMISALUSELE

REMOTE-CONTROLLED SONAR WINCH FOR UNMANNED RESEARCH VESSEL

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Oliver Nõgols

Üliõpilaskood 192125MATM

Juhendaja: Kristjan Tabri, vanemteadur

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad,

kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“26” mai 2021

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”.....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Oliver Nõgols (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 22.02.1995)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose "Kaugjuhitav sonari vints mehitamata uurimisalusele",
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Kristjan Tabri,
(*juhendaja nimi*)

- 1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
 2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
 3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.
-

26.05.2021 (kuupäev)

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

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Oliver Nõgols, 192125MATM
Õppekava, peeriala: MATM02/18 - Tootearendus ja tootmistehnika
Juhendaja(d): Kristjan Tabri, vanemteadur, 620 2566
Konsultant:

Lõputöö teema:

Kaugjuhitav sonari vints mehitamata uurimisalusele
Remote-Controlled Sonar Winch for Unmanned Research Vessel

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Teostada turuuuring olemasolevatele toodetele/lahendustele
2. Võrrelda erinevaid alamsüsteemide võimalusi
3. Luua kontseptsioon arvestades nõutud kriteeriume
4. Projekteerida terviklik lahendus

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Ülesande püstitus, eesmärkide sõnastamine	07.03.2021
2.	Turuuuring ja selle analüüs	21.03.2021
3.	Kontseptsiooni loomine, tehniliste lahenduste analüüs	11.04.2021
4.	Toote projekteerimine	09.05.2021

Töö keel: Eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: "26" mai 2021 a

Üliõpilane: Oliver Nõgols "26" mai 2021 a
/allkiri/

Juhendaja: Kristjan Tabri ".....".....20.....a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....20.....a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....20.....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	6
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	7
1. SISSEJUHATUS	8
2. UURIMISALUS KALAVARUDE SEIREKS	9
2.1 Arendatav autonoomne uurimisalus	10
2.2 Sonar Simrad ES38-7	11
2.3 Projekteerimise kriteeriumid ja lähteandmed	12
3. OLEMASOLEVAD TOOTED TURUL	13
3.1 Käsirull	14
3.2 Teeninduskaabli vints	14
4. TOOTE KONTSEPTSIOON	17
4.1 Sonari andmete vahetus	17
4.1.1 Sonar koos lisaanduritega	17
4.1.2 Võimendiga sonar	17
4.2 Veeskamissüsteem	18
4.2.1 Horisontaalse teljega trummel	18
4.2.2 Vertikaalse teljega trummel	19
4.2.3 Polüspast	21
5. TOOTE DISAIN	24
5.1 Trummel	24
5.1.1 Mootori ja ülekande valik	24
5.1.2 Rihma ja rihmarataste valik	27
5.1.3 Võlli ja trumli projektarvutus	29
5.1.4 Soonega trummel	31
5.1.5 Kaabli suunaja	32
5.1.6 Kaabli pingutaja, rullija	33
5.2 Tugevusanalüüs	34
5.2.1 Trummel	35
5.2.2 Võll	36
5.2.3 Rihmarattad	37
5.2.4 Raam ja trumli kodarad	39
5.3 Juhtimine ja elektroonika	51
5.4 Toote maksumus	53
KOKKUVÕTE	55
SUMMARY	56
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	57
GRAAFILINE OSA	61

EESSÕNA

Antud teema pakuti autorile Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituudi Peipsi kalanduse töörühma poolt. Lõputööks on projekt, mille käigus arendatakse välja kaugjuhitav sonari vints mehitamata uurimisalusele.

Lõputöö juhendajaks valiti Kristjan Tabri, kellel on kõrgetasemeline kompetents laevaehituse ja merenduse valdkonnas. Lõputöösse kaasati ka ettevõtte MEC Insenerilahendused OÜ, kelle poolt oli tagatud vajalikud töövahendid projekti läbiviimiseks.

Töö autor soovib tänada magistritöö juhendajat Kristjan Tabrit, kes oli abiks terve projekti vältel ja oskas suunata töö edukaks valmimiseks. Samuti tänatakse ettevõtet MEC Insenerilahendused OÜ, eesotsas Meelis Mäesaluga, kes mõtles aktiivselt kaasa ja innustas töö autorit mõtlema erinevatele lahendustele.

Võtmesõnad: sonari vints, teeninduskaabel, alumiinium trummel, magistritöö.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

ASV (ingl k *Autonomous Surface Vessel*) - isejuhtiv veesõiduk

ROV (ingl k *Remotely Operated Underwater Vehicle*) - kaugjuhitav allveesõiduk

LEM - lõplike elementide meetod (ingl k *Finite Element Method*, FEM)

PWM (ingl k *Pulse-Width Modulation*) - pulsilaiusmodulatsiooni

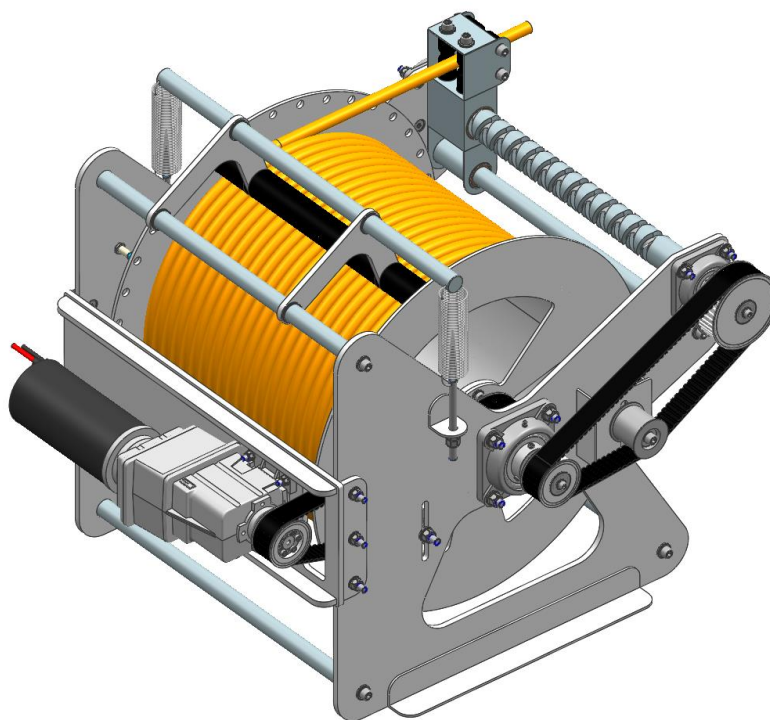
CFD (ingl k *Computation Fluid Dynamics*) - arvutuslik vedeliku dünaamika

1. SISSEJUHATUS

Isejuhtivad sõidukid on järjest enam populaarsust kogunud ja suure arenguhüppe teinud nii maal kui merenduses. Sel alal pole ka Eesti maha jäänud töötades 2019. aastal välja väikse autonoomse veesõiduki Nymo. Hetkel on arendamisel suurem mehitamata uurimisalus, mis võimaldab senisest oluliselt keskkonnasäästlikumalt ning kulutõhusamalt hinnata Eesti merevetes kalaparvede paiknemist ja suurust. Kalavarude hindamisel kasutatakse hüdroakustilise sonari meetodit, mille käigus veeskatakse uurimislaevalt sonar ja kogutakse selle lugemid.

Magistritöö eesmärk on luua kalasonari veeskamissüsteem eelnevalt mainitud mehitamata uurimislusele. Uurimisalus on autonoomne ja seetõttu peab olema projekteeritav toode kaugjuhitav. Samuti arvestatakse ka töökeskkonda, milleks on soolane merevesi. Käesoleva töö raames teostatakse taustauuring olemasolevatest lahendustest, tutvutakse erinevate funktsioonide ja sõlmlahendusega ning valitakse välja seatud kriteeriumitele sobivaimad. Vintsi projekteerides valitakse sobivad ostutooted ja sobitatakse omavahel erinevad komponendid.

Töö tulemusena saadi komplektne vintsi, mis arvestab seatud nõudmisi ja on vastupidav merevee keskkonnale. Vintsi vormistati tööjoonised, mis on aluseks hilisemaks prototüübi ehitusel. Projekteeritud vintsi 3D CAD mudel on esitatud järgnevalt (Joonis 1.1).

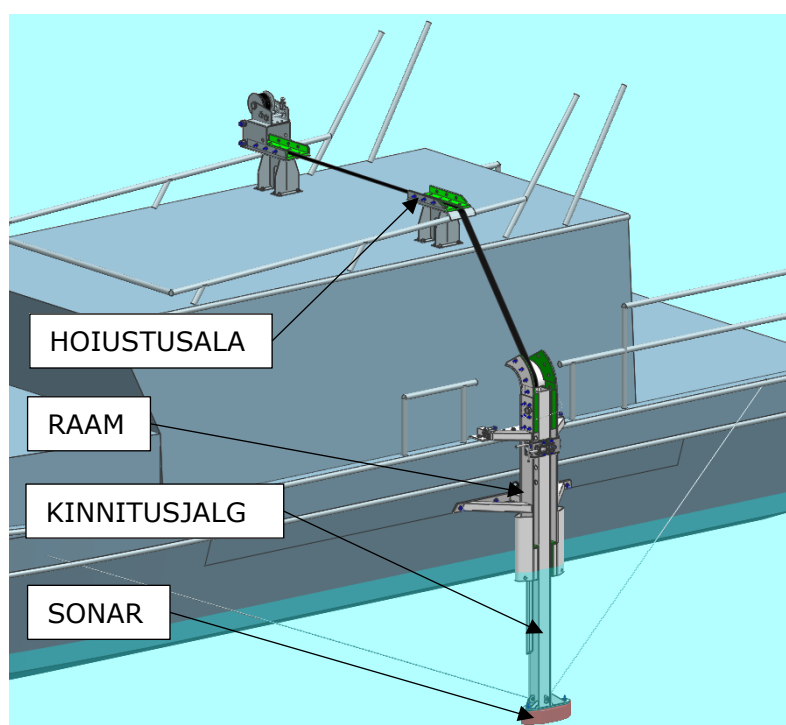


Joonis 1.1. Töö tulemusena projekteeritud vintsi 3D CAD mudel.

2. UURIMISALUS KALAVARUDE SEIREKS

Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituudi Peipsi kalanduse tööühm on välja töötamas autonoomset veesõidukit kalavarude seireks – hinnata kalaparvede paiknemist ja suurust. Läänemere pelaagiliste kalavarude hindamisel on juba mitukümmenda aastat kasutatud hüdroakustilise sonari ja traalimise kombineeritud meetodikat. Sonari abil antakse hinnang kalavarude üldkogusele ja traalipüügi abil liigilisele koosseisule. Selline meetod eeldab suurte merealade katmist vastava võimekusega uurimislaevadega.

Üheks selliseks uurimislaevaks on Aludevil, kus sonar on kinnitatud pika kinnitusjala külge, mis asetatakse üle parda. Pika kinnitusjala abil viiakse sonar laevakerest eemale, mis tõstab saadud lugemite korrektsus. Projekteeritud lahendusest laeva Aludevil pardal on näidatud järgnevalt (Joonis 2.1).

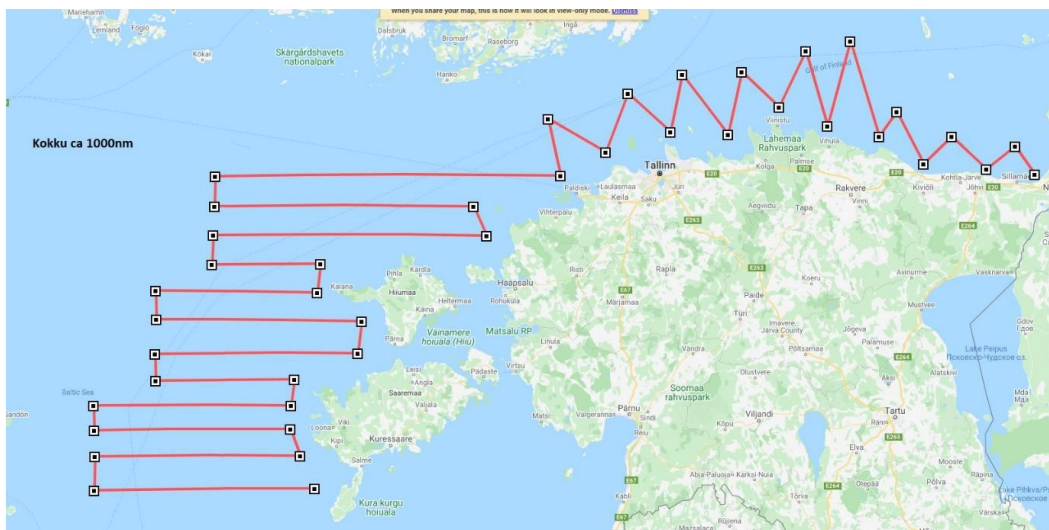


Joonis 2.1. Kalasonar Aludevil pardal.

Mehitatud laevad on oma meeskonna- ja kütusekulude tõttu ebaefektiivsed, mistõttu autonoomne uurimisalus oleks oluliselt säästlikum. Autonoomse sõiduki opereerimisel piisab ühest haldajast ja uurimisalus saab olla oluliselt väiksem.

Planeeritava autonoomne veesõiduk opereeriks Läänemere erinevates piirkondades, eeldatav uurimisaluse teekond on näidatud järgneval pildil (Joonis 2.2). Autonoomse uurimisaluse peamiseks eesmärgiks on koguda andmeid kalapüügi või

kalandusuuringute tarbeks, lisaks on võimalik alusele paigaldada ka veepõhja ja elupaiku kaardistavad sonarid ja proovivõtuaparatuurid.



Joonis 2.2. Autonoomse veesõiduki liikumise rada.

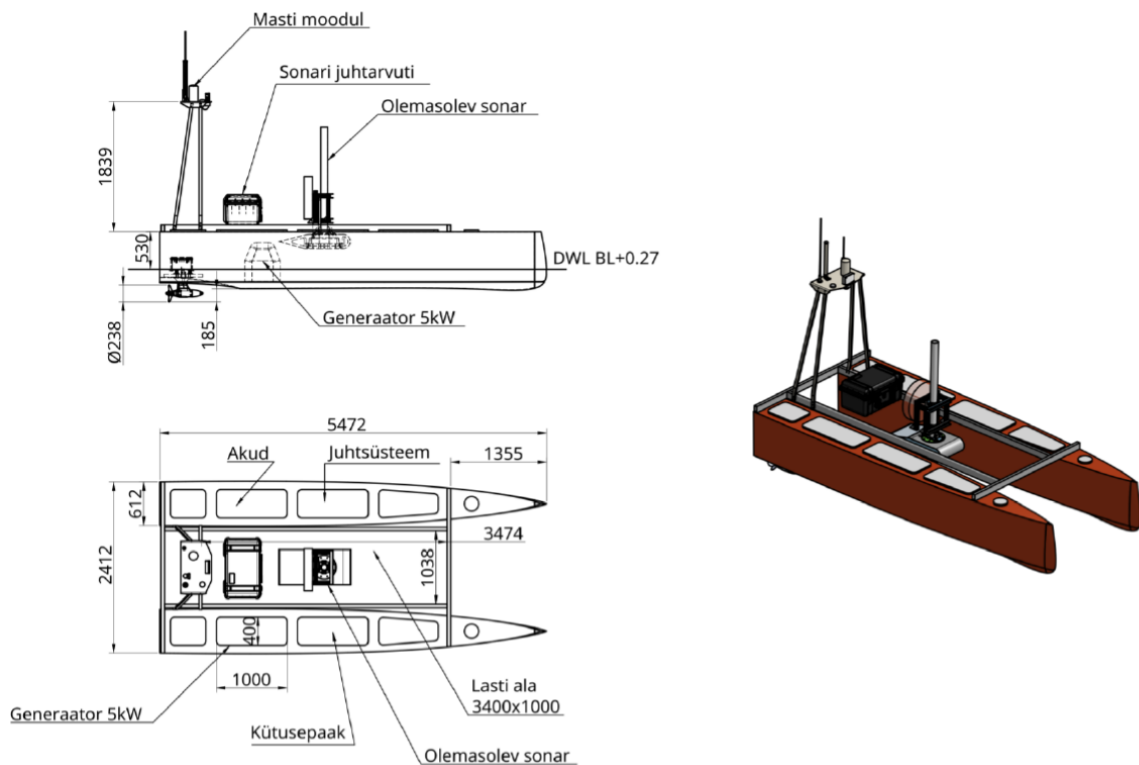
2.1 Arendatav autonoomne uurimisalus

Arendatav uurimisalus on kahe kõrvutise kerega veesõiduk ehk katamaraan ning selle tehnilised parameetrid on esitletud järgnevas tabelis (Tabel 2.1). Veesõiduki juhtsüsteemid on paigutatud kerede sisse tekitades kere kohale vaba lasti ala mõõtudega $\sim 3,4 \times 1,0$ m.

Tabel 2.1. Autonoomse veesõiduki tehnilised parameetrid.

Parameeter	Autonoomne veesõiduk
Veesõiduki tüüp	Katamaraan tüüpi veesõiduk
Pikkus, L_{max} (m)	5,5
Laius, B_{max} (m)	2,5
Süvis, T_{max} (m)	0,27
Maksimaalne kiirus, v_{max} (sõlm)	8 (~ 4 m/s)
Töökiirus, v (sõlm)	6 (~ 3 m/s)
Veeväljasurve, Δ_{max} (kg)	1000
Autonoomsus (h)	24
Keskkonnatingimusest tulenev lainekõrgus, $H_{1/3}$ (m)	2
Keskkonnatingimusest tulenev tuulekiirus (m/s)	11 (Beauforti skaalal 5 palli)

Autonoomne veesõiduki kasutab peamiselt alalisvoolu toitepingega 48 V, ning vastavalt sellele on pardal ka seda tüüpi generaator. Alalisvool toitepingega 48 V on eelistatud sonari veeskamissüsteemi juures, kuid kasutades muundureid on võimalik ka muud volukonfiguratsioonid. Autonoomse veesõiduki esialgne visioon on esitatud järgneval joonisel (Joonis 2.3).



Joonis 2.3. Autonoomse veesõiduki esialgne visioon.

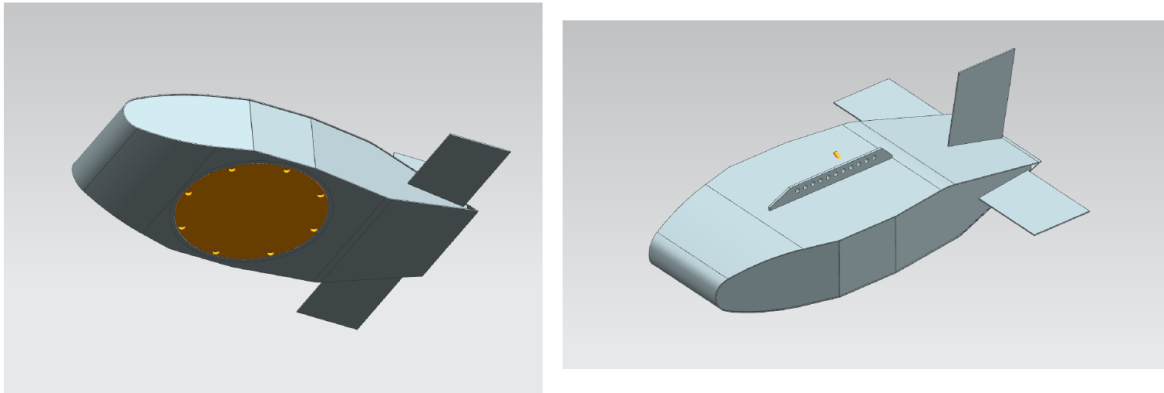
2.2 Sonar Simrad ES38-7

Kalavarude seireks kasutatakse sonarit Simrad ES38-7, mis lastakse vee alla kuni 20 m sügavusele (indikaatoriks sonariga kaasa tulev teeninduskaabel). Simrad ES38-7 kasutab töötamiseks 12 soonelist teeninduskaablit ning sonari massiks koos 20 m kaabliga on 68 kg [1].

Kasutamaks sonarit autonoomsel uurimisel on vajalik info ka sonari asend ja sügavus. Selle jaoks lisatakse kaks andurit (2 soont mõlemal) koos eraldi maandusega. Anduriteks on rõhuandur, et määrata sonari täpne sügavus ja güroskoop-andur, et aru saada ujuki asendist.

Vee all liikumisel mõjuvate hüdrodünaamiliste jõudude tasakaalustamiseks ehitatakse sonari jaoks ujuk. Ujuki projekteerimist ei vaadelda selle töö raames. Esialgse visiooni

kohaselt ehitatakse ujuki korpus alumiiniumist, ning sellest tulenevalt on ujuki korpuse mass 30 kg. Esialgne disain ujuki korpusest koos sonariga on näidatud järgnevalt (Joonis 2.4).



Joonis 2.4. Kalasonar ujuki korpuses, vaade alt ja pealt.

2.3 Projekteerimise kriteeriumid ja lähteandmed

Ujuki projekteerimisel teostati vedelike voolamise (CFD) analüüs, mille tulemusel saadi, et väljakeritud kaabliga (20 m) ja uurimisaluse töökiirusel (6 sõlme) asetseb ujuk vee all 3 m sügavusel. Kaabli nurk on sellisel juhul 19° ja kaablis mõjuv jõud vees on 50 N. Vee all mõjuvad jõud on oluliselt väiksemad kui sonari ja ujuki mass õhus. Arvestades, et ujuki disain pole lõplik, arvestatakse maksimaalseks vintsitavaks massiks 100 kg.

Vintsi kujule, massile, suurusele eraldi piiranguid ei kehtestata, kuid üldiselt võiksid gabariidid olla mõistlikud ning võtta uurimisalusel võimalikult vähe ruumi. Teeninduskaabli (20 m) kerimiseks kuluv aeg määratleti 1 min. Järgnevalt on esitatud mõningad punktid, mida projekteerimisel arvestada:

- Robustne ja töökindel disain
- Keskkonnale vastupidav (merevee keskkond)
- Kaugelt juhitud
- Kaabel ei tohi vigastada saada
- Piisav tööaeg/eluiga

Kalasonariga kogutakse andmeid kevadel ja sügisel 2-nädalase perioodi vältel. Planeeritavalt langetatakse ja tõstetakse sonarit päeva jooksul maksimaalselt 5 tsükli. Eeldatav tööaeg 5 aastat.

$$5 \text{ (aastat)} * 20 \text{ (päeva)} * 5 \text{ (tsükli)} = 500 \text{ tsükli}$$

3. OLEMASOLEVAD TOOTED TURUL

Viies läbi uuringut olemasolevate toodete kohta selgus, et hetkeseisuga sobilikku lahendust ostutootena ei pakuta. Sarnaste seirete jaoks on ehitatud spetsiaalsed vettelaske süsteemid, mille projekteerimisel on arvesse võetud kasutatavat sonarit ja platvormi.

Üheks neist on Žürichi järve veeõitsengu uurimiseks ehitatud spetsiaalne katamaraan Lisbeth, mille platvormile on paigaldatud vintsimissüsteem torpeedokujulise sonari vettelaskmiseks [2]. Katamaraan koos sonariga on näha järgnevalt (Joonis 3.1).



Joonis 3.1. ASV Lisbeth Lürichi järvel [3].

3.1 Käsirull

Manuaalset kaabli kerimissüsteemi pakub BlueRobotics tootega Fathom Spool (Joonis 3.2).



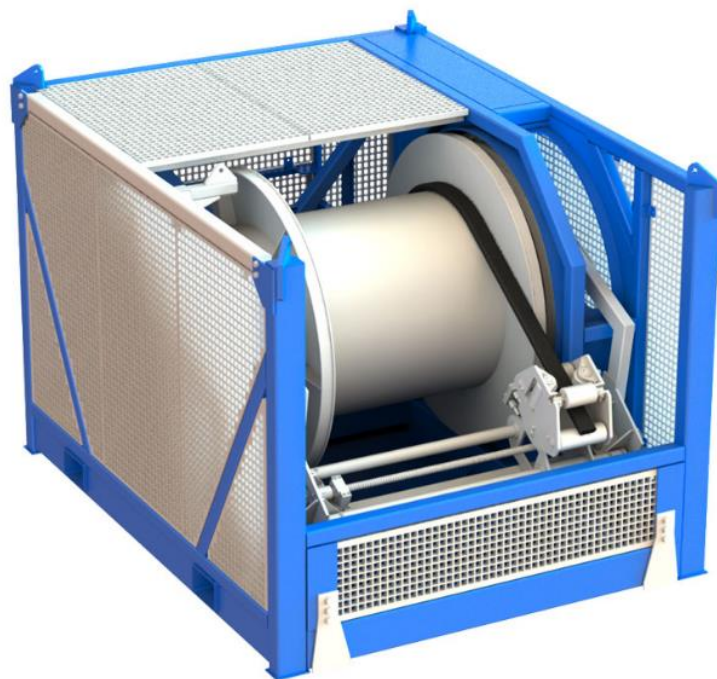
Joonis 3.2. Fathom Spool. BlueRobotics [4].

Toode on mõeldud veealuse allveesõiduki BlueROV2 kaabli hoiustamiseks. Rullis on 8 andmesidesoonega ja kevlariga tugevdatud kaabel ning rummul kasutatakse liugkontaktidega pöördlõbiviik ühendust (*slip-ring*). Standardsena mahutab rull 150 meetrit kaablit.

Hind on käsirullil \$519/435€, mis ei sisalda kaablit ega pistikut. 150 m pikkuse kaabli hind on \$800/670€ ja pistik \$15/13€ [4].

3.2 Teeninduskaabli vints

Teeninduskaabli vints (ingl *umbilical winch*) on vintsi tüüp, kus trumlile keritakse kaabel, mille kaudu edastatakse andmeid ja samuti on kaabel piisavalt tugev, et pidada vastu tõmmatavale koormusele. Mootoriga keritavat rulli pakutakse suurtematele kaugjuhitavatele allveesõitukitele ehk ROV'idele. Rulli kerimiseks kasutatakse elektri-, hüdro- või pneumomootoreid. Deck Marine System pakub vintsisüsteemi elektri või hüdro-mootoriga, toiteks 230/440 3-faasiline vahelduvvool [5]. Ühe toote kontseptsioon on näidatud järgnevalt (Joonis 3.3).



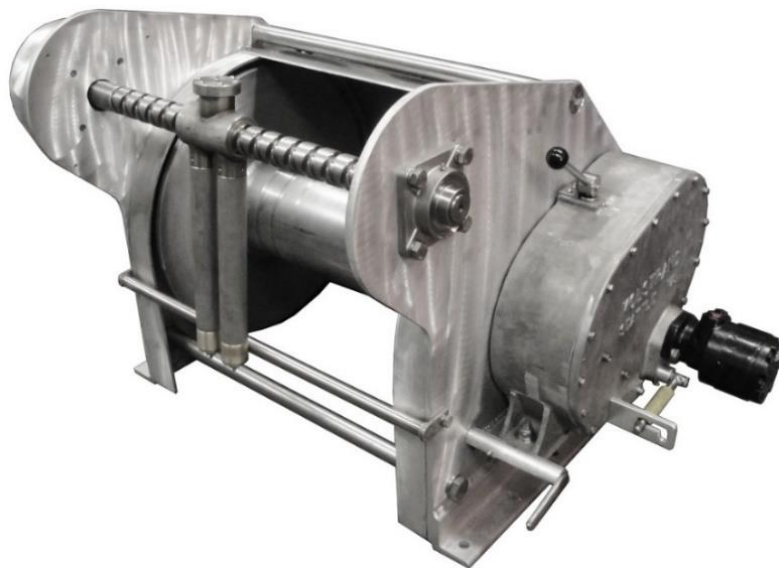
Joonis 3.3. Umbilical winch. Deck Marine Systems [5].

Sarnaseid tooteid pakub ka Subsea Technology & Rentals. Tooted suurused varieeruvad, kuid kõige väiksem nende poolt pakutav on STR ESW 500 seeria (Joonis 3.4), millel on 2.2 kW elektrimootor [6]. Kogu vintsi mass ilma kaablita on 250 kg.



Joonis 3.4. STR ESW-500-29/255. Subsea Technology & Rentals [6].

Kummagi toote kohta ei leidunud avalikku hinda, kuid hinna suurusjärg jääb samasse suurusjärku sarnaste tööpõhimõtetega vintsidega. Üheks selliseks on Kolstrand'i vints mudelikoodiga AKPW242D24W-FLW-AK-RE29 (Joonis 3.5). Vintsil on 8-tollise (203 mm) läbimõõduga tummel, mille paneb pöörlema hüdro mootor. Detailid on alumiiniumist või roostevabast materjalist, ning kaablit aitab trumlile kerida suunaja. Sellise vintsi maksumus on \$21 026 ehk 17 345€ [7].



Joonis 3.5. Kolstrand AKPW24D24W-FLW-AK-RE29 [7].

4. TOOTE KONTSEPTSIOON

Arvestades turul olevate seadmete disainlahendusi võrreldakse erinevaid alamsüsteemide võimalusi ja luuakse kriteeriumeid arvestades toote kontseptsioon.

4.1 Sonari andmete vahetus

Andmete edastusel kalasonarilt uurimisalusele on kaks erinevat võimalus. Kalasonarilt andmete edastamine võib toimuda otse või läbi võimendi, nendes mõlemast lähemalt järgnevates peatükkides. Uurimisaluse pardal on andmeside, mis võimaldab edastada infot mandrile, kus saadud andmeid töödeldakse.

4.1.1 Sonar koos lisaanduritega

Peatükis 2.2 mainituna kasutab sonar Simrad ES38-7 töötamisel 12-soonelist teeninduskaablit [1]. Vajalik info on ka sonari asend ja sügavus ning selle jaoks lisatakse kaks andurit (2 klemmi mõlemal) koos eraldi maandusega. Saates signaali otse sonarilt uurimisalusele on vaja kaablit 17 soonega.

Tüüpiliselt kasutatakse veealuste sonarite infovahetuseks CAT5 või kõrgema klassi internetikaabli, mis koosneb neljast omavahel punutud kaablipaarist. Kokkuvõtvalt 8 juhet, mille iga juhtme suurus on 26 AWG (0,14 mm²). Koos tugevusega varieerub kaabli koguläbimõõt vastavalt tootjale. Peatükis 3.1 käsitletud BlueRobotics Fathom kaabli läbimõõt on 7.6 mm [8], Teledyne kaabel TCS-10001 on läbimõõduga 0,375 tolli ehk 9,6 mm [9]. Kaabli minimaalse painderaadiusena staatilises olukorras tuuakse välja mõlemal puhul 3 tolli ehk 76 mm. Teledyne esitab ka painderaadiust dünaamilises olukorras ning annab selleks väärtuseks 4,5 tolli ehk 114 mm.

Sobivat kaablit 17 soonega ei leidu ostutootena, kuid Teledyne pakub välja varianti tellida kaabel eritellimusel.

4.1.2 Võimendiga sonar

Teine võimalus andmete edastamiseks on läbi võimendi Simrad EK80 (Joonis 4.1). Sonarilt kogutud andmed töödeldakse koheselt ja edastatakse uurimisalusel olevale vastuvõtjale läbi interneti kaabli [10]. Seadme suureks eeliseks on väiksema arvu juhtmete kasutamine vintsisüsteemis. Negatiivseks pooleks on andmekoguja voolu tarbimine 12 V, 5 A [10], mis tähendab, et minimaalselt on vaja kasutada kaablisuurst 14 AWG (2,08 mm²) [11].



Joonis 4.1. Simrad EK80 [10].

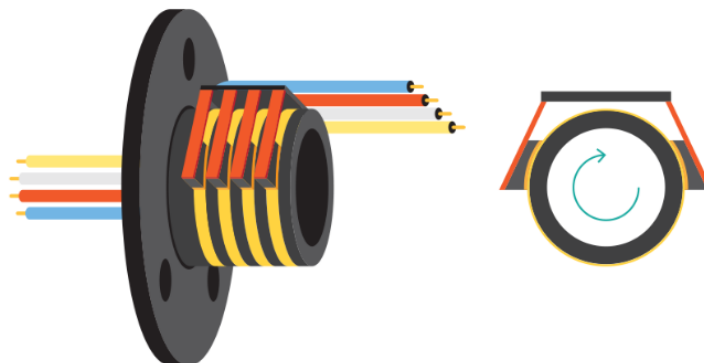
Sobivat kaablit samuti ei leidu. Teledyne Cable Solutions pakub peaaegu sobivat kaablit, mudeliks TCS-10002. Kaablil on 4 juhtmepaari läbimõõduga 26 AWG ja 2 juhet voolu tarnimiseks läbimõõduga 14 AWG (2,08 mm²), kuid ei too välja, et kaablil oleks tugevdatud isolatsioon [9]. Kogu kaabli läbimõõt on 0,490 tolli (12,5 mm). Minimaalne painderaadius staatilises olukorras on 4 tolli ehk 102 mm ja dünaamilises olukorras 6 tolli ehk 152 mm.

4.2 Veeskamissüsteem

Selles peatükis vaadeldakse erinevaid võimalusi sonari veeskamiseks ja tuuakse välja esialgsed kontseptsioonid visuaalsel kujul.

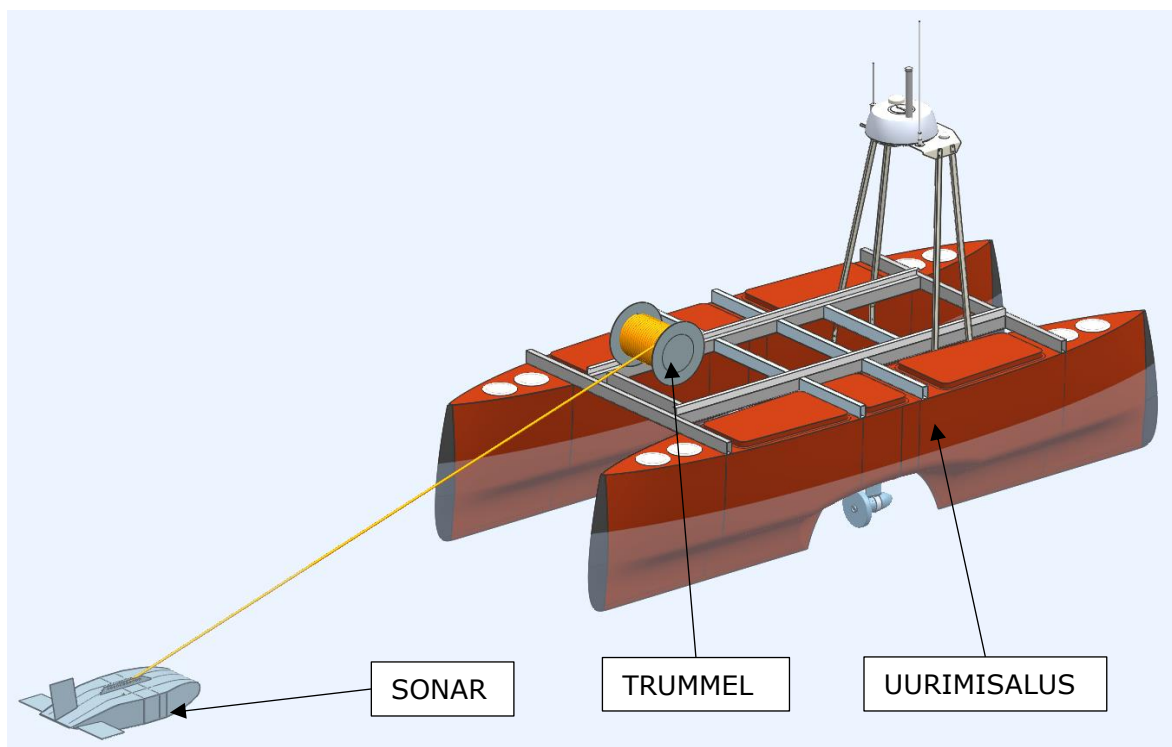
4.2.1 Horisontaalse teljega trummel

Levinuim lahendus on horisontaalse teljega trummel, mille peale keritakse teeninduskaabel. Teeninduskaabel juhatakse ühest servast läbi trumli seina võlli teljeni. Pöörleva trumli ja statsionaarse korpuse vahel kasutatakse liugkontaktidega pöördlääbiviiku (ingl *slip ring*), mille tööpõhimõtte eskiis on järgnev (Joonis 4.2).



Joonis 4.2. Liugkontaktidega pöördlääbiviik [12].

Üldiselt on selline lahendus kompaktne, mehaaniliselt lihtsalt teostatav ja annab võimaluse kasutada erinevad ülekande- ja andmesidelahendusi. Kontseptsioon horisontaalse teljega trumlist uurimisalusel on näidatud järgneval joonisel (Joonis 4.3).



Joonis 4.3. Horisontaalse teljega trummel uurimisalusel.

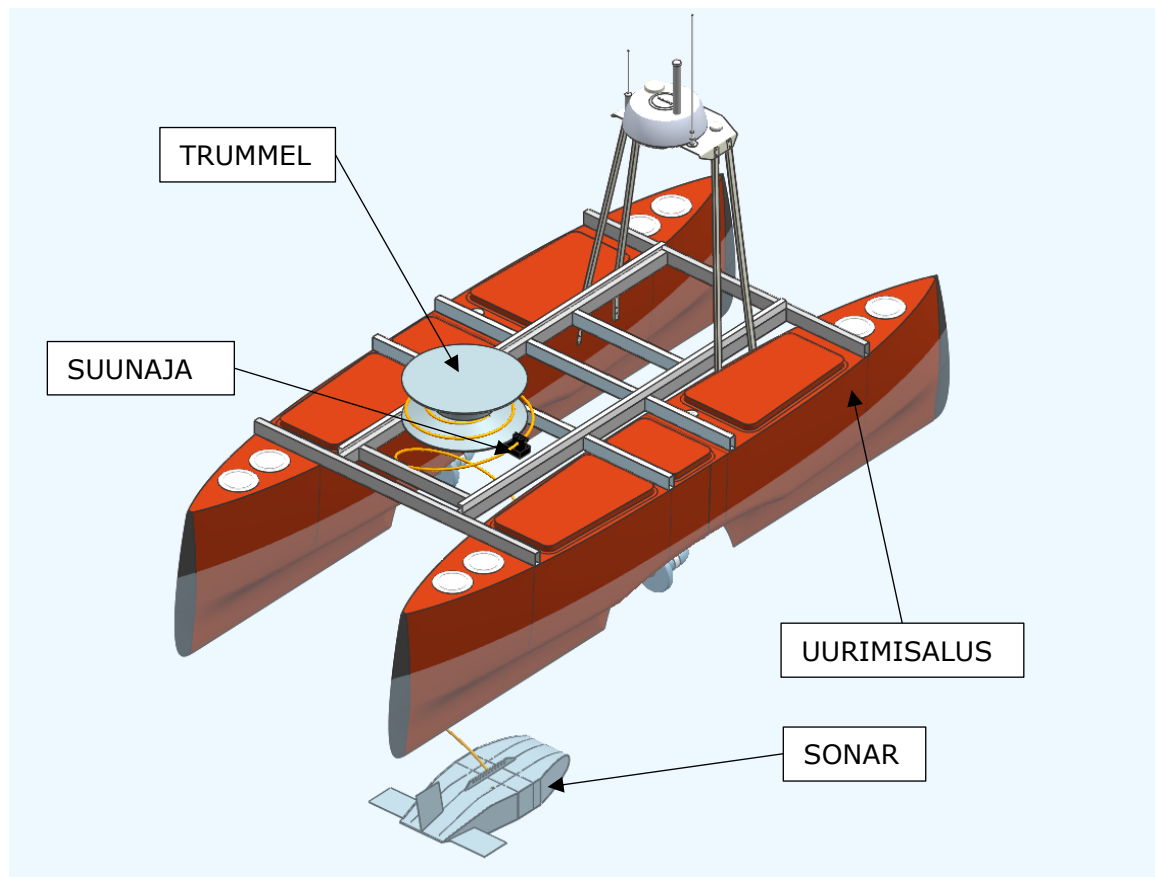
4.2.2 Vertikaalse teljega trummel

Vette laskmist on võimalik lahendada ka ilma *slip ring*'i kasutamata. Sellisel juhul fikseeritakse trumli pöörlemine ja kaablit keritakse pöörleva suunaja abil. Sarnast lahendust kasutatakse profileeriva allveerobotil „Salla“ (Joonis 4.4) veepealse poi kerimisel [13]. Kasutatakse vertikaalse teljega trumlit, ning pöörlevat suunajat, mis tõstab kaabli üle trumli ääres oleva flantsi ja suunab selle allveeroboti raami katuseava kaudu eemale. Kaabli otsas on poi, mis jääb vee piirile samal ajal kui robot sukeldub. Tulenevalt statsionaarsest trumlist veepealne poi pöörleb, sukeldumise ja pinnale tõusmise ajal, kuid antud olukorras ei ole see probleem.



Joonis 4.4. Profileeriv allveerobot "Salla" [13].

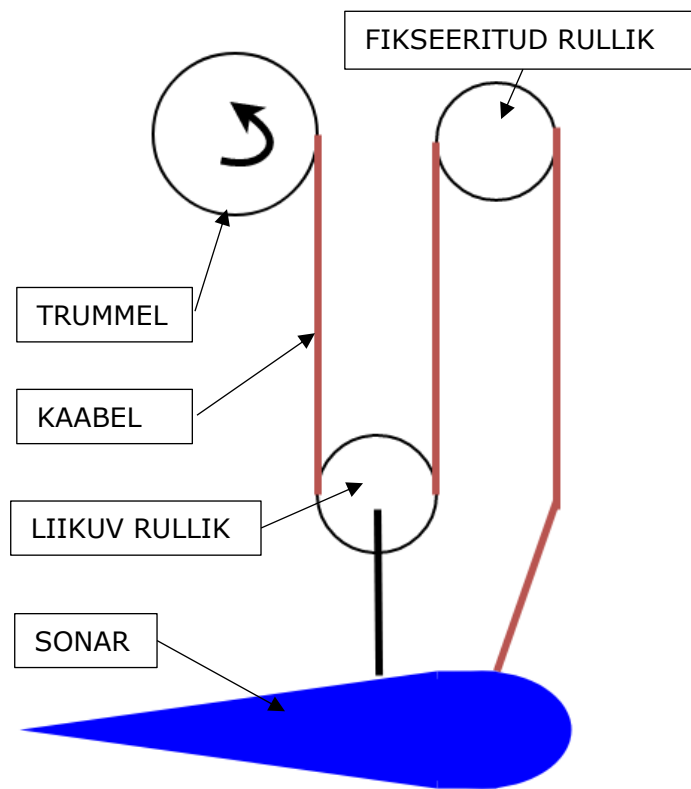
Antud süsteem on keeruline ja pole mõeldud sonari vettelaskmise funktsiooni täitmiseks, kuid sellist lahendust saaks ideeliselt kasutada. Suurimaks takistuseks on sonari pöörlamise takistamine, kuna trummel on statsionaarne (ei pöörle) ja kaablit välja kerides tekib kaablile spiraalne tee. Sonar tõmbab kaablit sirgemaks, spiraali raadius väheneb, ja distantsti suurenedes, tekib kaablis moment, mis ühel hetkel on piisavalt suur, et panna sonar pöörama. Isegi, kui moment tasakaalustatakse tekivad kaablis väikese raadiusega sõlmed, mis lõhuvad kaablit, mille kaudu toimub infovahetus. Kontseptsioon vertikaalse teljega trumlist uurimisel on näidatud järgneval joonisel (Joonis 4.5).



Joonis 4.5. Vertikaalse teljega trummel uurimisalusel.

4.2.3 Polüspast

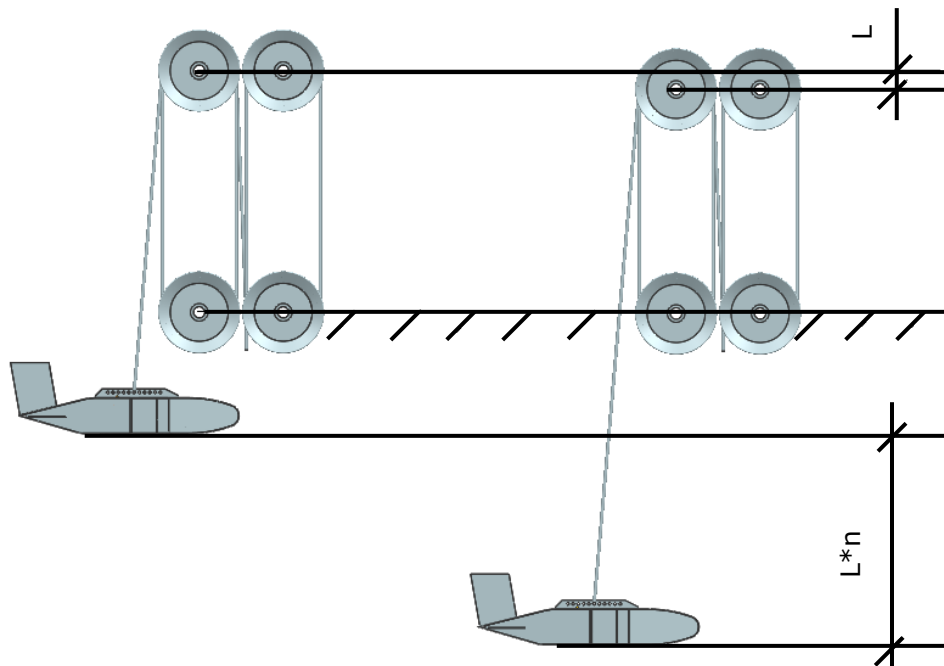
Polüspast on lasti tõstmise mehhanism. See koosneb ühest või mitmest grupist, mis on ümbritsetud köisega [14]. Paaritu arvulisel plokirataste ehk rullikute kordusel saab köisena kasutada tugevdatud teeninduskaablit, mille üks ots on kinnitatud lasti ehk antud juhul sonari külge ja teine ots uurimisalusel oleva trumli küljes (Joonis 4.6).



Joonis 4.6. Polüspasti kasutamise eskiis sonari veeskamiseks.

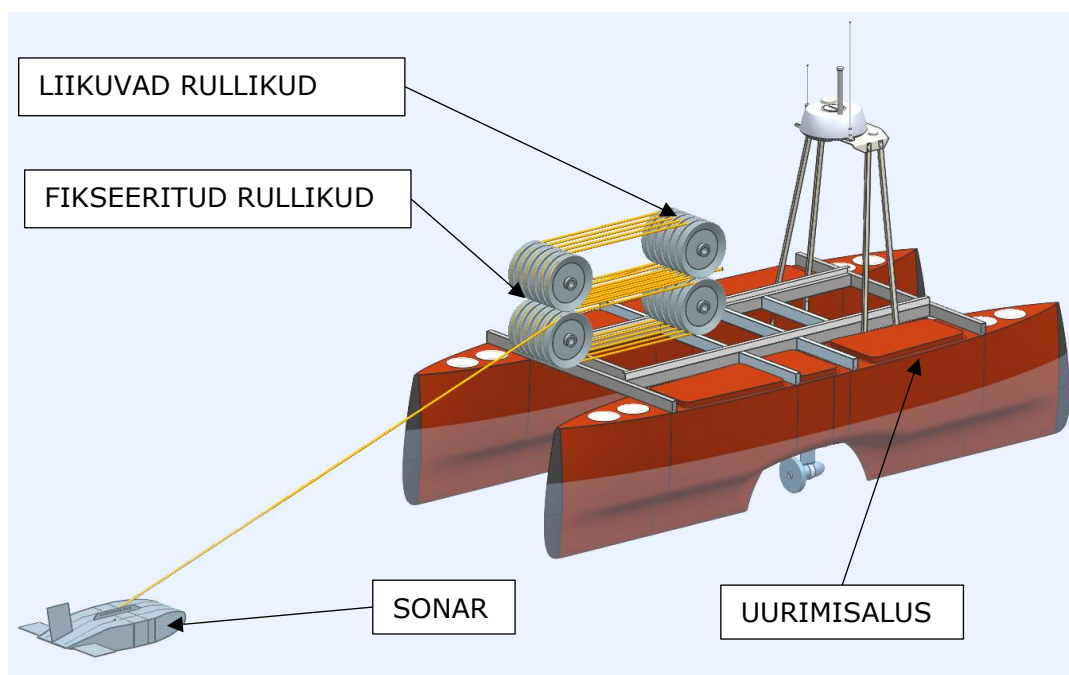
Eelneval viisil polüspasti kasutamine ei välista *slip ring'i* kasutamist trumlil, kuid annab võimaluse kasutada väiksemat mootorit või väiksema ülekandega reduktorit trumlil. Plokkliited jääksid vee keskkonda, mis tähendab, et nende mehhanismidel on suur tõenäosus määrduda, mis omakorda tähendab väiksemat eluiga ja suuremat võimalust riketele.

Muutes polüspastide ja kaabli konfiguratsiooni on võimalik trummel süsteemist eemaldada. Alumised plokirattad ja kaabli üks ots fikseeritakse platvormile, kaabli teine ots on sonari küljes ja tõstetakse ülemisi plokirattaid. Arvestades polüspasti süsteemi harusid, vähendades plokirastaste omavahelist kaugust, liigub sonari külge kinnitatud kaabliots nii mitmekordselt (Joonis 4.7).



Joonis 4.7. Polüspastide liikumine, kus L on liigutatavate rullikute vahemaa ja n harude arv.

Võidetakse distantsilt, kuid plokirattaid liigutades suureneb nende liigutamiseks vajalik jõud samuti mitmekordselt. Sonari veeskamiseks väljutatakse 20 meetrit teeninduskaablit, et mõistlikult platvormile plokirattad mahutada, oleks vajalik harude arv 24. Kontseptsioon sellisest lahenduses uurimisalusel on näidatud järgneval joonisel (Joonis 4.8).



Joonis 4.8. Polüspastide kasutamise kontseptsioon uurimisalusel.

5. TOOTE DISAIN

Eelnevas peatükis esitati kaks erinevat võimalust andmete jagamisel ja kolm erinevat võimalust sonari vette laskmiseks. Leiti, et kõige otstarbekam on kasutada sonarit lisaanduritega ja vintsi, millel on horisontaalse teljega trummel. Leidub palju infot sarnaste vintside kohta, sobivaid komponente pakutakse laialdaselt, mis kokkuvõttes viib toote hinna ka odavamaks.

Arvestades olukorda, kus uurimiseluse ja sonari ujuki disain pole lõplik, ei vaadelda sonari korpuse kinnitamist ega pardale lukustamist.

5.1 Trummel

Trumli arvutuse juures arvestatakse koormuseks sonar massiga $m = 100 \text{ kg}$. Kaabli läbimõõduks võetakse konservatiivselt $d_{tr} = 20 \text{ mm}$. Tõenäoliselt on reaalne kaabli läbimõõt väiksem, kuid see ei tekita probleemi trumli dimensioneerimisel. Trumli liigutamisel kasutatakse mootorreduktorit rihmülekandegaga. Materjalideks kasutatakse alumiiniumi või roostevaba terast.

5.1.1 Mootori ja ülekande valik

Maksimaalne koormus F leitakse järgnevalt:

$$F = m * g = 100 * 9,81 = 981 \text{ N} \quad (5.1)$$

Kus g - raskuskiirendus ($9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$)

Trumli läbimõõt D_{tr} leitakse järgneva valemiga:

$$D_{tr} = e * d_{tr} = 20 * 25 = 500 \text{ mm} \quad (5.2)$$

Kus e - töörežiimist sõltuv tegur, mille ulatus on vahemikus 20 ... 35 (antud olukorras võetakse $e = 25$)

d_{tr} - kaabli läbimõõt.

500 kuulub eelisarvude hulka, nii et arvutatud mõõt sobib trumli läbimõõduks. Arvestades sarnaste teeninduskaablite minimaalseid pöörderaadiusi on valitud läbimõõt sobilik.

Sonari langetamise ja tõstmise kiiruseks v võetakse 20 m/min ehk 0,333 m/s. Trumli pöörlemiseks vajalik võimsus leitakse järgneva valemiga:

$$P_{tr} = T * \omega \quad (5.3)$$

Kus P_{tr} - Mootorreduktori võimsus (W),
 T - pöördemoment (Nm),
 ω - nurkkiirus (rad/s).

Pöördemoment T leitakse järgnevalt:

$$T = F * \frac{D_{tr}}{2} = 981 * \frac{0,5}{2} = 245,25 \text{ Nm} \quad (5.4)$$

Nurkkiirus ω leitakse järgnevalt:

$$\omega = \frac{2 * v}{D_{tr}} = \frac{2 * 0,33}{0,4} = 1,665 \approx 1,7 \text{ rad/s} \quad (5.5)$$

Leitakse pöörlemiseks vajalik võimsus:

$$P_{tr} = T * \omega = 196,2 * 1,7 = 333,54 \approx 334 \text{ W}$$

Arvestades ülekande kadusid, leitakse mootorreduktori minimaalne vajalik võimsus tingimusest:

$$P_{min} = \frac{P_t}{n_1 * n_2 * n_3} = \frac{333,54}{0,94 * 0,98 * 0,99} = 365,72 \approx 366 \text{ W} \quad (5.6)$$

Kus n_1 - mootorreduktori kasutegur
 n_2 - rihmülekanne kasutegur
 n_3 - laagripaari kasutegur

Trumli pöörlemissagedus:

$$n_t = \frac{30 * \omega}{\pi} = \frac{30 * 1,7}{3,14} = 16,2338 \approx 16,2 \text{ min}^{-1} \quad (5.7)$$

Redukti pöörlemissagedus:

$$n_r = n_t * u_k = 16,2 * 1,6 = 25,92 \approx 26 \text{ min}^{-1} \quad (5.8)$$

Kus u_k - rihmülekanne ülekandearv (valitud 1,6)

Võimsus kriteeriumeid arvestades valitakse sobiv mootorreduktor, samuti arvestatakse ka keskkonna kriteeriumeid. Mootorreduktori võimsus peaks olema 20% suurem vajalikust. Mootoriks valiti Transtecno EC600.240.66 ja reduktori Transtecno ECMG600/023 (Joonis 5.1). Mootori ja reduktori andmed on esitatud järgnevalt (Tabel 5.1, Tabel 5.2).

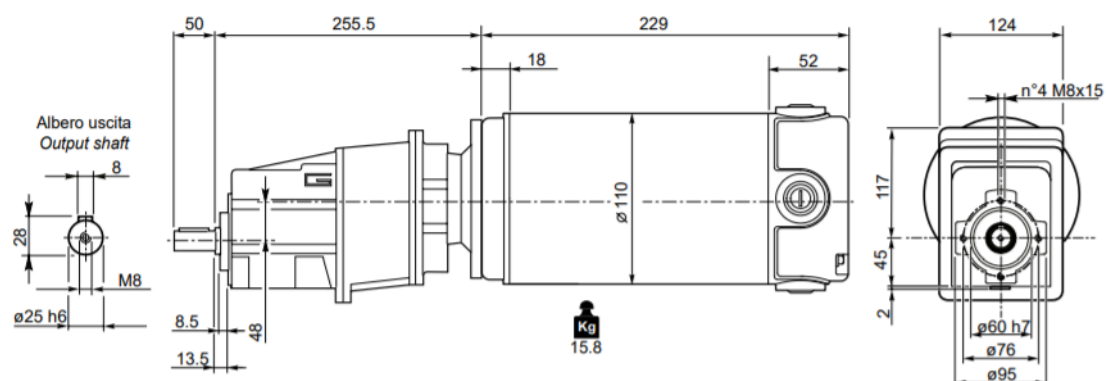
Tabel 5.1. Mootori andmed [15].

Nimetus	EC600.240.66
Võimsus S1, P (W)	600
Võimsus S2 30', P (W)	800
Pinge, U (V)	24
Voolutugevus S1/S2 30', I (A)	35,5/47,2
Väändemoment S1/S2 30', M_1 (Nm)	1,91/2,54
Pöörlemissagedus, n_1 (min^{-1})	3000
Keskkonnaklass	IP66
Mass, m (kg)	7,1
Gabariidid, d (mm)	Ø110

Tabel 5.2. Reduktiori andmed [16].

Nimetus	ECM600/023 H
Maksimaalne ülekantav võimsus, P (W)	800
Pöörlemissagedus, n_2 (min^{-1})	26
Väändemoment, M_2 (Nm)	223
Ülekandearv, i	114,46
Kinnitustüüp	H65x65
Mass koos kinnitusjalaga, m (kg)	9,4

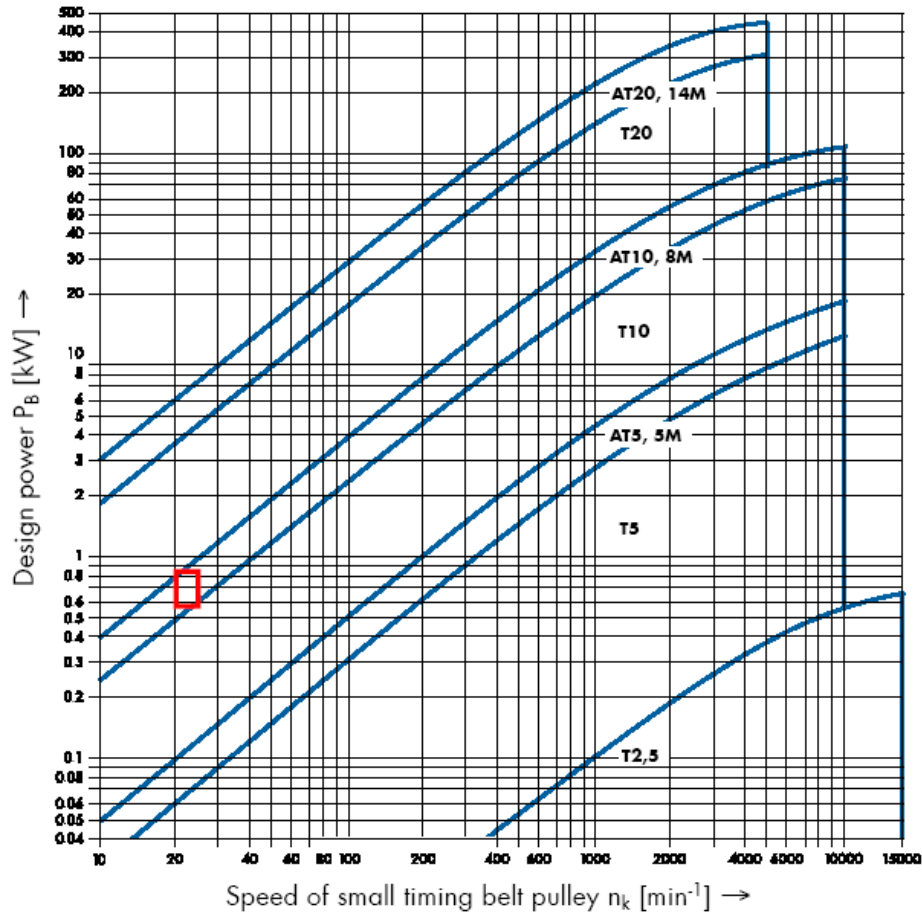
ECMG600/023 U



Joonis 5.1. Mootorredaktor [16].

5.1.2 Rihma ja rihmarataste valik

Valitakse sobilik rihma tüüp vastavalt Optibelt'i tehnilises manuaalis esitatud graafiku alusel (Joonis 5.2) kasutades mootor võimsust $P = 800 \text{ W}$ ja reduktori pöörlemissagedust $n_2 = 26 \text{ min}^{-1}$.



Joonis 5.2. Rihma valik. Optibelt [17].

Leitakse rihmas tekkiv jõud F_v raskuse tõstmise ajal.

$$F_v = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot T}{d_0} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 245,25}{127,32} = 3852,49 \approx 3853 \text{ N} \quad (5.9)$$

Kus d_0 - rihmaratta hammaste ringi läbimõõt (hammaste arvu $z = 40$ korral $d_0 = 127,32 \text{ mm}$).

Vaadeldakse ka olukorda, kus rihmale rakendub mootorreduktiori maksimaalne vääne. Rihmas tekkiv jõud $F_{v,max}$ leitakse kasutades valemit 5.9.

$$F_v = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot T_{max}}{d_0} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 223}{79,58} = 5604,42 \approx 5605 \text{ N}$$

Kus d_0 - rihmaratta hammaste ringi läbimõõt (hammaste arvu $z = 25$ korral $d_0 = 79,58 \text{ mm}$).

Rihmas tekkiva jõu $F_v = 3853 \text{ N}$ alusel valitakse sobilik rihma laius kriteeriumiga $F_{zul} \geq F_v$ (Joonis 5.3).

Cord tensile forces, belt weight

Belt width ¹ b [mm]	10	12	16	20	25	32	50	75	100
Breaking strength F_{Br} [N]	4760	5700	8560	10500	14300	18100	29500	45600	62000
Allowable tensile force ² F_{zul} [N]	1190	1425	2140	2625	3575	4525	7375	11400	15500
Weight per metre [kg/m]	0.065	0.078	0.104	0.130	0.163	0.208	0.325	0.488	0.650

¹ Other and intermediate widths possible ² Allowable tensile force F_{zul} equivalent to 25% breaking strength F_{Br} of the cords

Joonis 5.3. Rihma laiuse valik. Optibelt [17].

Sobilikuks osutub AT10 profiiliga ja vähemalt 32 mm laiusega rihm ($F_{zul} = 4525 \text{ N}$). Arvestatakse mootorreduktori väljundvõlli pikkust $l_{mv} = 50 \text{ mm}$ (Joonis 5.1) – ning valitakse rihma laiuseks mittestandardne 40 mm. Sellele vastava rihmaratta rummu pikkus $l_{rumm} = 55 \text{ mm}$.

Valitakse sobilikud alumiiniumist rihmarattad. Kindlustamaks rihma püsimise rihmaratastel, valitakse flantsiga rihmarattad. Kõige suurema hammaste arvuga rihmaratas valitakse veetavaks, $z_2 = 40$. Vedava rihmaratta hammaste arv on järelikut:

$$z_1 = \frac{z_2}{u_k} = \frac{40}{1,6} = 25 \quad (5.10)$$

Rihmarattad on valmistatud alumiiniumist EN AW-2017, ning selle mehaanilised omadused on esitatud järgnevas tabelis (Tabel 5.3).

Tabel 5.3. Alumiinium EN AW-2017 mehaanilised omadused [18].

Parameeter	Alumiinium EN AW-2017
Tihedus, ρ (kg/m^3)	2800
Tõmbetugevus, R_m (MPa)	250
Tinglik voolepiir, $R_{p0,2}$ (MPa)	135
Elastsusmoodul, E (MPa)	72500
Poissoni tegur, ν	0,33

5.1.3 Võlli ja trumli projektarvutus

Võlli materjaliks valitakse alumiinium EN AW-6082 T6, mille andmed on järgnevad (Tabel 5.4).

Tabel 5.4. Alumiinium EN AW-6082 T6 andmed [19].

Parameeter	Alumiinium EN AW-6082
Tihedus, ρ (kg/m^3)	2700
Tõmbetugevus, R_m (MPa)	310
Tinglik voolepiir, $R_{p0,2}$ (MPa)	260
Elastsusmoodul, E (MPa)	70000
Poissoni tegur, ν	0,33

Leitakse võlli läbimõõt rihmarattal:

$$d_v \geq \sqrt[3]{\frac{16 * T}{\pi * [\tau]}} \quad (5.11)$$

Kus $T = 245,25 \text{ Nm}$

$$[\tau] = 0,5 \dots 0,6 \frac{\sigma_Y}{[S]} = 0,5 \dots 0,6 * \frac{260}{8} = 16,25 \dots 19,5 \rightarrow [\tau] = 16,25 \text{ MPa}$$

$[S]$ - varutegur ($[S] = 8$)

$$d_v \geq \sqrt[3]{\frac{16 * 245,25}{3,14 * 16,25 * 10^3}} = 0,4251 \approx 0,43 \text{ m} = 43 \text{ mm}$$

Võlli läbimõõduks valitakse $d_v = 50 \text{ mm}$

Trumli materjaliks valitakse samuti alumiinium EN AW-6082 T6 (Tabel 5.4). Trumlile mõjuv koormus $F = 981 \text{ N}$ ja trumlil oleva kaabli läbimõõt $d_{tr} = 20 \text{ mm}$.

Trumli seinapaksus δ on leitav järgnevalt:

$$\delta \geq \frac{F}{t * [\sigma]} = \frac{981}{0,0225 * 130 * 10^6} = 0,00033538 \approx 0,001 \text{ m} = 1 \text{ mm} \quad (5.12)$$

Kus t - kaabli samm

$$[\sigma] - \text{lubatud pinge piirväärtus } ([\sigma] = \frac{\sigma_Y}{[S]} = \frac{260}{2} = 130 \text{ MPa})$$

$[S]$ - Varutegur ($[S] = 2$)

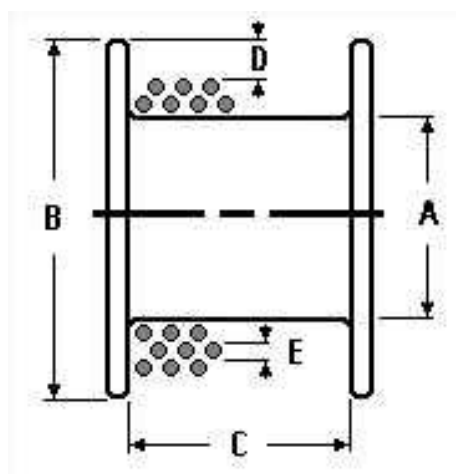
Kaabli samm t leidmiseks kasutatakse soonega trumli soone sammu üldist valemit:

$$t = d_{tr} + 2,5 = 20 + 2,5 = 22,5 \text{ mm} \quad (5.13)$$

Arvestades trumli keevitatavust ja trumli üldiseid gabariite valitakse seinapaksuseks $\delta = 4 \text{ mm}$. Trumli flantside paksuseks võetakse konstruktiivselt $b = 6 \text{ mm}$.

Vahekaugused leitakse konstruktiivselt lähtudes trumli mahutatavusest, sobilike laagrisõlmede laiuusest, korpuse ja trumli minimaalsest vahekaugusest. Trumli pikkuseks võetakse $l_{tr} = 500 \text{ mm}$.

Kontrollitakse trumli mahutavust kasutades internetis kättesaadavat kalkulaatorit „INGERSOLL-RAND Drum Capacity Estimator“ [20]. Sisestatakse trumli eeldatavad mõõdud (Joonis 5.4), kus $A = 500 \text{ mm}$, $B = 650 \text{ mm}$, $C = 495 \text{ mm}$, $D = 40 \text{ mm}$, $E = 20 \text{ mm}$ ja saadakse eeldatav trumli mahutavus (Joonis 5.5).



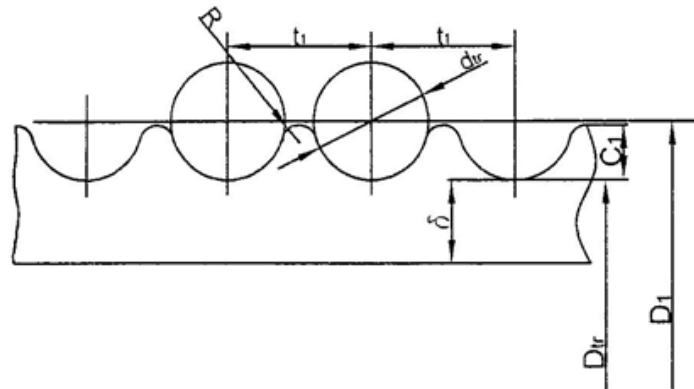
Joonis 5.4. Trumli mahutavuse sisendparameetrid [20].

Layer 1 = 38 meters	Total Drum Capacity:	<input type="text" value="38"/>	<input type="text" value="meters"/>
	Total Working Drum Capacity:	<input type="text" value="34"/>	<input type="text" value="meters"/>
	Recommended Working Capacity:	<input type="text" value="27"/>	<input type="text" value="meters"/>
	D / d ratio:	<input type="text" value="26"/>	
Layer 1 = 38 meters Layer 2 = 80 meters	Total Drum Capacity:	<input type="text" value="80"/>	<input type="text" value="meters"/>
	Total Working Drum Capacity:	<input type="text" value="75"/>	<input type="text" value="meters"/>
	Recommended Working Capacity:	<input type="text" value="60"/>	<input type="text" value="meters"/>
	D / d ratio:	<input type="text" value="26"/>	

Joonis 5.5. Trumli mahutavuse tulemus ühe ja kahe kihi korral [20].

5.1.4 Soonega trummel

Kaabli korrektseks kerimiseks trumlile kasutatakse soonega trumlit (Joonis 5.6), mille abil tagatakse töökindlus ja pikendatakse kaabli eluiga.



Joonis 5.6. Trumli soone eskiis

Trumli soone samm t_1 leitakse järgnevalt kasutades valemit 5.13:

$$t_1 = d_{tr} + 2,5 = 20 + 2,5 = 22,5 \text{ mm}$$

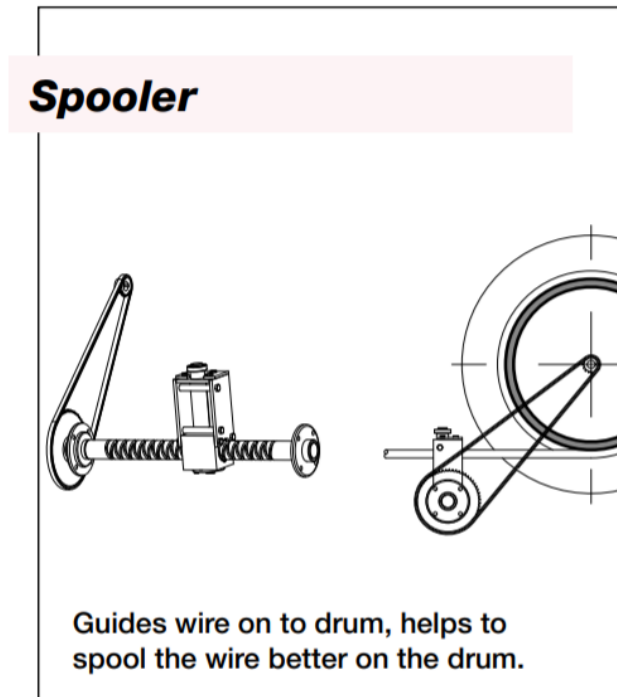
Trumli soone raadius R leitakse järgneva valemiga:

$$R = 0,54 * d_{tr} = 0,54 * 20 = 10,8 \text{ mm} \quad (5.14)$$

Projekteerimise käigus otsustati soonega trumlit mitte kasutada, kuna mõjuvad koormused on väikesed ja trumli pöörlemiskiirus aeglane. Samuti eeldab soonega trummel paksemat toorikut, mis teeb trumli raskemaks ja selle töötlus on oluliselt kallim võrreldes sileda trumliga. Kaabli kerimise abistamisel kasutatakse kaabli suunajat ja trumlil kaabli rullijat, mis tagab kaabli ühtlase kerimise ja pika eluea. Mõlemat lisa kirjeldatakse järgnevatel peatükkides.

5.1.5 Kaabli suunaja

Kerimise suunamisel kasutatakse ise ümberpöörava keerme kontseptsiooni, mille eskiis on järgnev (Joonis 5.7).



Joonis 5.7. Kaabli suunaja eskiis. Haacon [21].

Samu komponente kasutades valitakse suunaja ülekandes sama suurusega rihtm ja rihmarattad, kui trumli ülekandel.

Vedava rihmaratta hammaste arv: $z_{1,suunaja} = 25$.

Veetava rihmaratta hammaste arv: $z_{2,suunaja} = 40$

Rihmülekanne ülekande arv on jätkuvalt (valem 5.10):

$$u_{k,suunaja} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{40}{25} = 1,6$$

Kaabli samm trumlil: $t = 22,5 \text{ mm}$.

Suunaja võlli keerme samm $t_{suunaja}$ leitakse järgnevalt:

$$t_{suunaja} = t * u_{k,suunaja} = 22,5 * 1,6 = 36 \text{ mm} \quad (5.15)$$

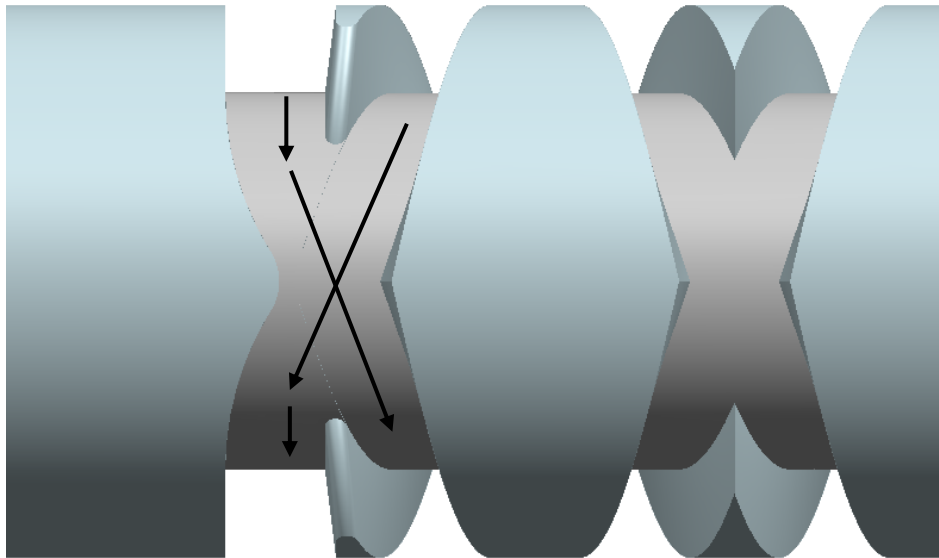
Keermete arv $k_{suunaja}$ leitakse järgnevalt:

$$k_{suunaja} = \frac{l_{tr} - d_{tr}}{t_{suunaja}} = \frac{500 - 20}{36} = 13,33 \approx 13 \quad (5.16)$$

Keermete arvuks valitakse 13 ning kogukeerme $l_{suunaja}$ pikkus tuleb järelikut:

$$l_{suunaja} = t_{suunaja} * k_{suunaja} = 36 * 13 = 468 \text{ mm} \quad (5.17)$$

Tagasi pööramiseks kasutatakse mõlemas keerme otsas sirget soont (Joonis 5.8), mis tähendab, et suunaja ei liigu koheselt tagasi, vaid ühe tiiru seisab külgsuunaliselt paigal.

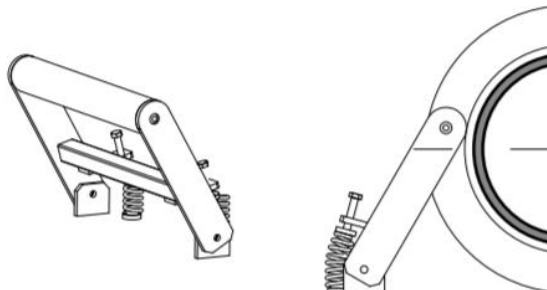


Joonis 5.8. Ise ümberkeerava keerme lõpusoon juhiku liikumist näitavate nooltega.

5.1.6 Kaabli pingutaja, rullija

Kaabli pingutaja tagab, et kaabel oleks trumlile kerituna fikseeritud. Juhul kui kaabli otsas olev koormus langeb (sonar kerkib hüdrodünaamiliste jõudude tõttu, uurimisalus aeglustub) ja kaabel ei ole enam pinge all, on kaabli pingutaja see, mis ei lase trumlil oleval kaablil vabaks minna. Ilma pingutajata tähendaks pingeta olukorras, et kaabel võib trumlil minna sõlme või takerduda mõne muu eseme taha, mis võib viia kaabli riknemiseni. Kaabli rullija eskiis (Joonis 5.9) on näha järgnevalt.

Pressure roller



Pushes slack wire to drum, helps to spool the rope better on the drum.

Joonis 5.9. Kaabli rullija eskiis. Haacon [21].

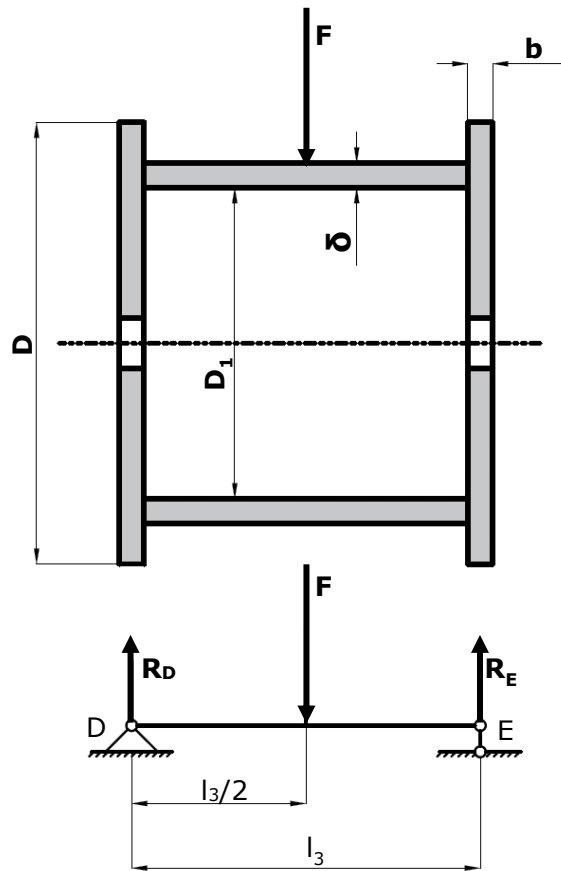
Kaabli rullijana kasutatakse plastikust rullikuid, mis on asetatud alumiiniumvõllile. Rulliku läbimõõduks võetakse konstruktiivselt $d_{rull} = 50 \text{ mm}$. Arvestades võimalikku rulliku libisemist kaablil jäetakse alles võimalus plastikrullikute läbimõõtu suurendada. Pingutamiseks kasutatakse kahte tõmbevedru.

5.2 Tugevusanalüüs

Vintsiga veetav koormus on väike (100kg) ja vints on disainitud robustne, kuid siiski kontrollitakse teatud sõlmpunkte tugevusanalüüsiga. Vintsi analüüsitakse analüütiliselt, kuid raami ja trumli kodarate disaini kontrollitakse kasutades lõplike elementide meetodit (LEM).

5.2.1 Trummel

Trumli eskiis tavalisel ja lihtsustatud kujul on esitatud järgnevalt (Joonis 5.10).



Joonis 5.10. Trumli eskiis.

Reaktsioonijõud:

$$R_D = R_E = \frac{F}{2} = \frac{981}{2} = 490,5 \text{ N}$$

Maksimaalne paindemoment:

$$M = R_D * \frac{l_3}{2} = 490,5 * \frac{0,5}{2} = 122,625 \text{ Nm}$$

Survepinge:

$$\sigma_s = \frac{F}{t * \delta} = \frac{981}{0,02 * 0,003} = 16,35 \text{ MPa}$$

Paindepinge:

$$\sigma_M = \frac{M}{W} \approx \frac{M}{0,1 * \frac{D^4 - D_1^4}{D}} = \frac{122,625}{0,1 * \frac{0,5^4 - 0,494^4}{0,5}} = 0,2080 \approx 0,2 \text{ MPa}$$

Väändepinge:

$$\tau = \frac{M}{W} \approx \frac{F \cdot \frac{D}{2}}{0,2 \cdot \frac{D^4 - D_1^4}{D}} = \frac{245,25}{0,2 \cdot \frac{0,5^4 - 0,494^4}{0,5}} = 0,2080 \approx 0,2 \text{ MPa}$$

Ekvivalentpinge:

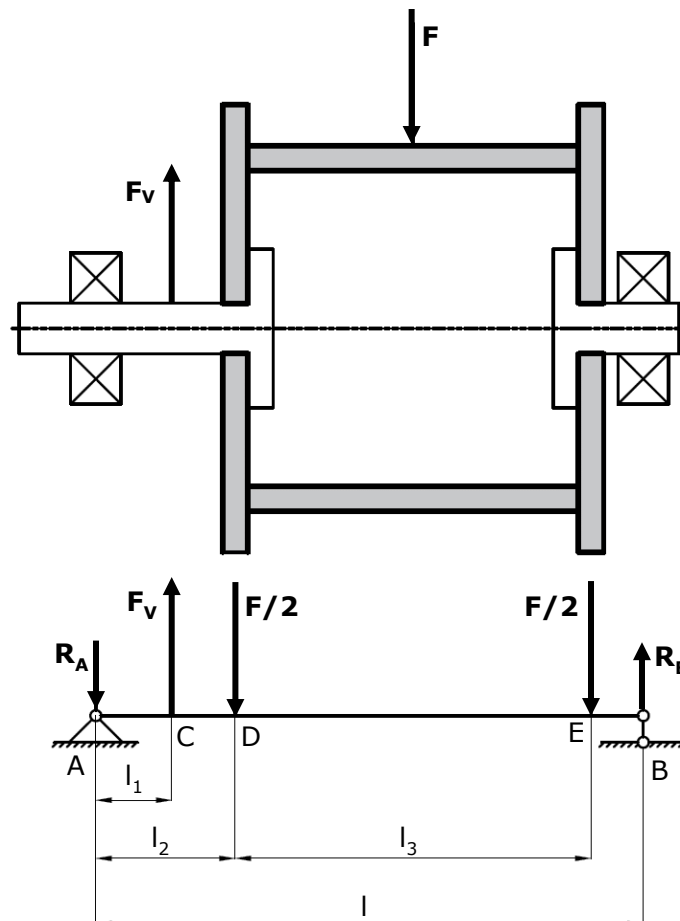
$$\sigma_{ekv} = \sqrt{(\sigma_s + \sigma_M)^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{(16,35 + 0,2)^2 + 4 \cdot 0,2^2} = 16,5548 \approx 16,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ekv} = 16,6 \text{ MPa} \leq [\sigma] = 130 \text{ MPa}$$

Projekteeritud trummel rahuldab tugevustingimusi.

5.2.2 Võll

Projekteeritud võll on kahe osaline, kuid fikseerides mõlemad osad trumli külge saadakse konsoolne võll, mida vaadeldakse ühtse talana (Joonis 5.11).



Joonis 5.11. Trumli ja võlli eskiis.

Reaktsioonijõud kriteeriumil $\sum M_A = 0$:

$$R_B * l - \frac{F}{2} * (l_3 + l_2) - \frac{F}{2} * l_2 + F_v * l_1 = 0$$

$$R_B = \frac{\frac{F}{2} * (l_3 + l_2) + \frac{F}{2} * l_2 - F_v * l_1}{l} = \frac{\frac{981}{2} * (0,13 + 0,5) + \frac{981}{2} * 0,113 - 3853 * 0,073}{0,678} = 110,4292$$

$$\approx 110,4 \text{ N}$$

Reaktsioonijõud kriteeriumil $\sum M_B = 0$:

$$R_A * l - F_v * (l - l_1) + \frac{F}{2} * (l - l_2) + \frac{F}{2} * (l - l_2 - l_3) = 0$$

$$R_A = \frac{F_v * (l - l_1) - \frac{F}{2} * (l - l_2) - \frac{F}{2} * (l - l_2 - l_3)}{l}$$

$$= \frac{3853 * (0,678 - 0,073) - \frac{981}{2} * (0,678 - 0,113) - \frac{981}{2} * (0,678 - 0,113 - 0,5)}{0,678}$$

$$= 2981,9195 \approx 2982 \text{ N}$$

Leitakse paindepinge punktides C, D, E:

$$M_C = -R_A * l_1 = -2982 * 0,073 = -217,68 \approx 218 \text{ Nm (-)}$$

$$M_D = -R_A * (l_1 + l_2) * F_v * l_2 = -2982 * (0,073 + 0,113) + 3853 * 0,113 = -119,32 \approx 120 \text{ Nm (-)}$$

$$M_E = R_B * (l - l_1 - l_2 - l_3) = 110,4 * (0,678 - 0,113 - 0,5) = 7,17 \approx 8 \text{ Nm (-)}$$

Leitakse ekvivalentne moment M_{ekv}^{IV} ohtlikus lõikes kasutades IV tugevusteooriat:

$$M_{ekv}^{IV} = \sqrt{M^2 + 0,75 * T^2} = \sqrt{218^2 + 0,75 * 245,25^2} = 304,3594 \approx 305 \text{ Nm} \quad (5.18)$$

Ekvivalentpinge:

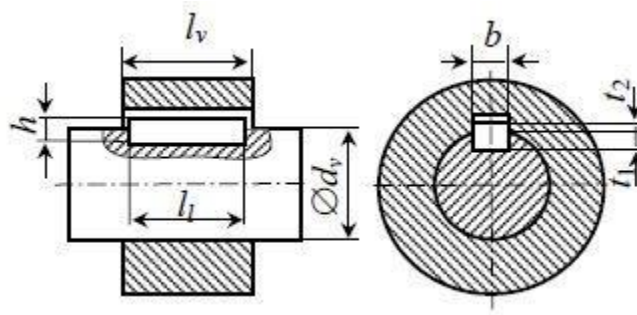
$$\sigma_{ekv}^{IV} = \frac{M_{ekv}^{IV}}{W} = \frac{32 * M_{ekv}^{IV}}{\pi * d_t^3} = \frac{32 * 305}{\pi * 0,05^3} = 24,8536 \approx 25 \text{ MPa} \quad (5.19)$$

$$\sigma_{ekv}^{IV} = 25 \text{ MPa} \leq [\sigma] = \frac{260}{2} = 130 \text{ MPa}$$

Projekteeritud võll rahuldab tugevustingimusi.

5.2.3 Rihmarattad

Vaadeldakse rihmarataste liiteid mootorredukti ja trumli võllidel. Mootorredukti väljundvõllil on liistliide ühe prismaliistuga DIN6885-A-8x7x40 [16]. Prismaliistu eskiis on näidatud järgnevalt (Joonis 5.12).



Joonis 5.12. Prismaliistuga liite eskiis.

Leitakse muljumispinge liistul, kasutades valemit:

$$\sigma_c = \frac{2 * T_v}{d * (l_l - b) * (h - t_1)} \quad (5.20)$$

- Kus d – võlli läbimõõt (m)
 l_l – liistu pikkus (m)
 b – liistu laius (m)
 h – liistu kõrgus (m)
 l_l – liistusoone sügavus (m)
 T_v – väändemoment võllil, (Nm)

Muljumispinge reduktori võlli rihmarattal tavaolukorras ($T_v = \frac{T}{u_k}$):

$$\sigma_c = \frac{2 * \frac{245,25}{1,6}}{0,025 * (0,04 - 0,008) * (0,007 - 0,004)} = 127,8583 \approx 128 \text{ MPa}$$

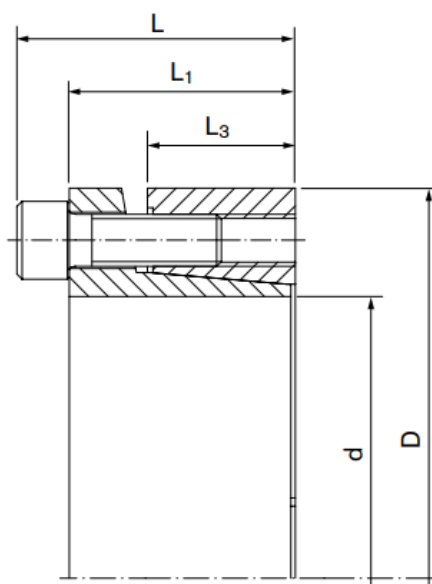
$$\sigma_c = 128 \text{ MPa} \geq [\sigma] = \frac{135}{2} = 67,5 \text{ MPa}$$

Muljumispinge reduktori võlli rihmarattal maksimaalses koormussolukorras ($T_v = M_2 = 233 \text{ Nm}$):

$$\sigma_c = \frac{2 * 233}{0,025 * (0,04 - 0,008) * (0,007 - 0,004)} = 185,8332 \approx 186 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = 186 \text{ MPa} \geq \sigma = 135 \text{ MPa}$$

Rihmaratta tugevustingimused ei ole täidetud. Liiste pole võimalik duubeldada ning liistliide asendatakse koonusliitega. Sobilikuks osutub koonuslukk Ringfeder RfN 7003 (Joonis 5.13), mis suudab üle kanda maksimaalset väänet $T = 560 \text{ Nm}$ [22].



Joonis 5.13. Koonuslukk Ringfeder RfN 7003 [22].

Teostatakse liistuarvutus trumli völli kasutades valemit 5.20 ja liistu DIN6885-A-16x10x45.

Muljumispinge trumli völli rihmarattal tavaolukorras ($T_v = T$)::

$$\sigma_c = \frac{2 * 245,25}{0,05 * (0,045 - 0,0016) * (0,01 - 0,006)} = 84,5689 \approx 85 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = 85 \text{ MPa} \geq [\sigma] = \frac{135}{2} = 67,5 \text{ MPa}$$

Muljumispinge trumli völli rihmarattal maksimaalses koormussolukorras ($T_v = M_2 * u_k$):

$$\sigma_c = \frac{2 * 233 * 1,6}{0,05 * (0,045 - 0,0016) * (0,01 - 0,006)} = 128,5517 \approx 129 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = 128 \text{ MPa} \leq \sigma = 135 \text{ MPa}$$

Rihmaratta tugevustingimused ei ole täidetud. Liiste on võimalik duubeldada, kuid otsustatakse kasutada koonusliidet. Kasutatakse sama tüüpi koonuslukk Ringfeder RfN 7003 nagu mootorredukti völliil.

5.2.4 Raam ja trumli kodarad

Raami ja trumli kodarate analüüs on läbi viidud lõplike elementide meetodil (LEM) kasutades tarkvara FEMAP v12.0.1 ja arvutamisel NX-Nastran 11 solver'it. LEM-mudel põhineb paremakäelisel Descartes-i koordinaatsüsteemis, mille alusel koordinaadid on defineeritud järgnevalt:

- X – trumli telgsuund
- Y – pikisuund, positiivne suund trumlist mootori suunas
- Z – vertikaalne suund, positiivne suund ülesse

Analüüsi mudelis kasutatud mõõtühikud on esitatud järgnevalt (Tabel 5.5).

Tabel 5.5. Kasutatud mõõtühikud.

Nimetus	Mõõtühik
Pikkused	mm
Jõud	N
Pinged	N/mm ² = MPa
Massid	t
Tihedused	t/mm ³
Kiirendused	mm/s ²

Raami ja trumli materjaliks on kasutatud alumiiniumi EN AW-6082 plaate ning selle andmed on varem esitatud, kuid on uuesti esile toodud siinses peatükis (Tabel 5.6).

Tabel 5.6. Alumiinium EN AW-6082 mehaanilised omadused [19].

Parameeter	Alumiinium EN AW-6082
Tihedus, ρ (kg/m ³)	2700
Tõmbetugevus, R_m (MPa)	310
Tinglik voolepiir, $R_{p0,2}$ (MPa)	260
Elastsusmoodul, E (MPa)	70000
Poissoni tegur, ν	0,33

Lubatud pinged alumiiniumi jaoks on leitud järgnevalt:

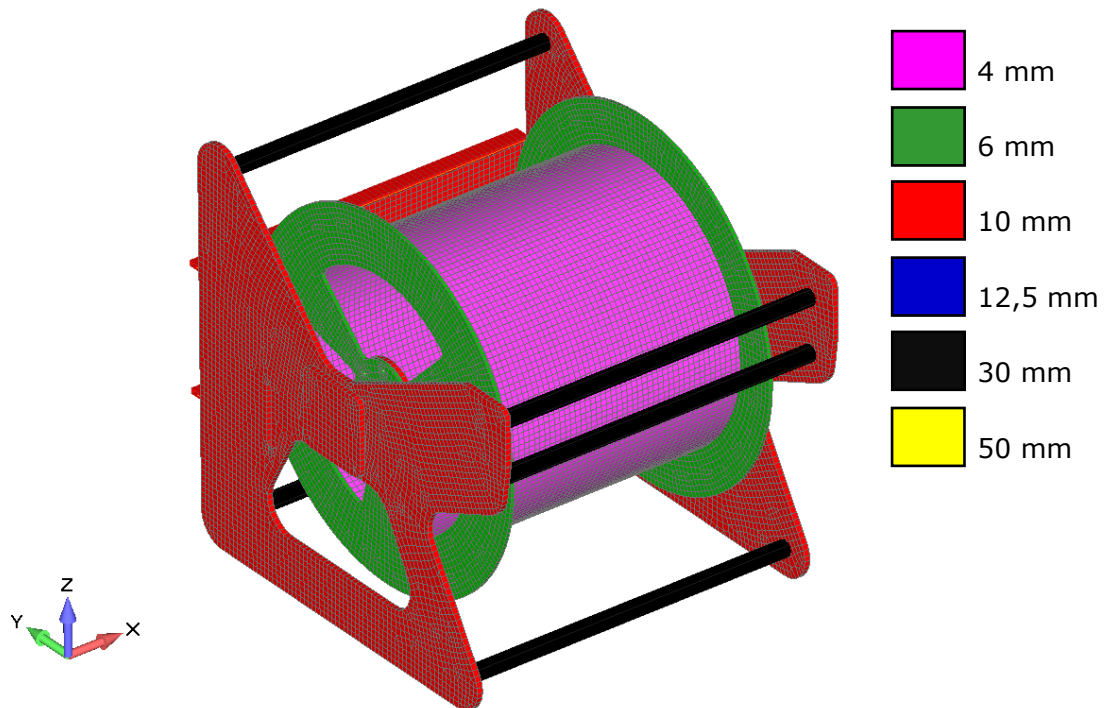
$$[\sigma_c] = \frac{\sigma}{[S]} = \frac{260}{2} = 130 \text{ MPa}$$

Raami plaate ühendavad vardad on roostevabast terases AISI 316. Vardad ei ole analüüsi fookuses, kuid nende abil püsib kogu raam konsoolne. Roostevaba terase andmed on esitatud järgnevalt (Tabel 5.7).

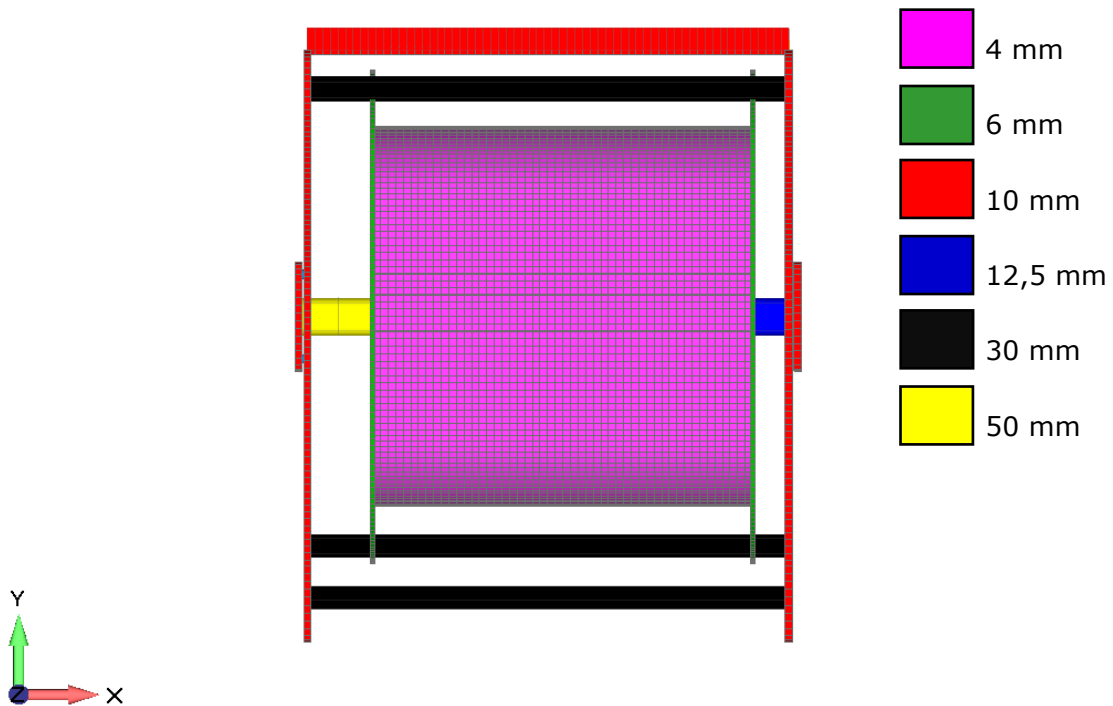
Tabel 5.7. Roostevaba terase AISI 316 mehaanilised omadused [23].

Parameeter	Roostevaba teras AISI 316
Tihedus, ρ (kg/m^3)	8000
Tõmbetugevus, R_m (MPa)	515
Tinglik voolepiir, $R_{p0,2}$ (MPa)	205
Elastsusmoodul, E (MPa)	193000
Poissoni tegur, ν	0,3

Roostevaba varrasteks on kasutatud täisprofiiili läbimõõduga D30 mm. Alumiiniumist plaate on kasutatud erinevate paksustega 4, 6 ja 10 mm. Võllidena kasutatud täisprofiiili läbimõõduga D50 mm ja toru läbimõõduga D50x12,5 mm. Konstruktsiooni erinevad paksused on esitatud järgnevatel joonistel (Joonis 5.14, Joonis 5.15).

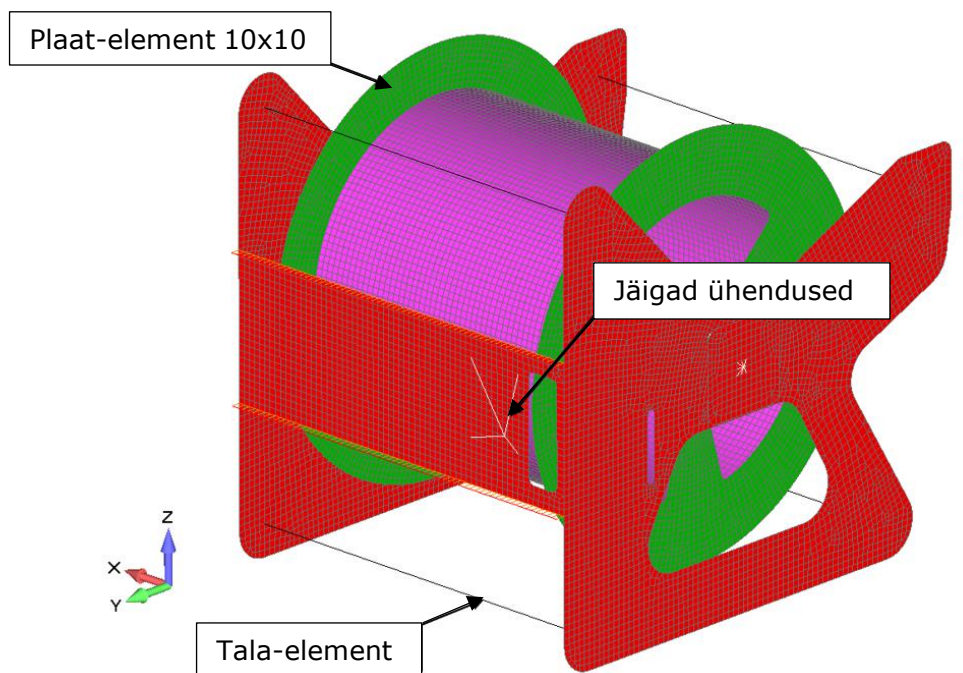


Joonis 5.14. Materjali paksused (mm).



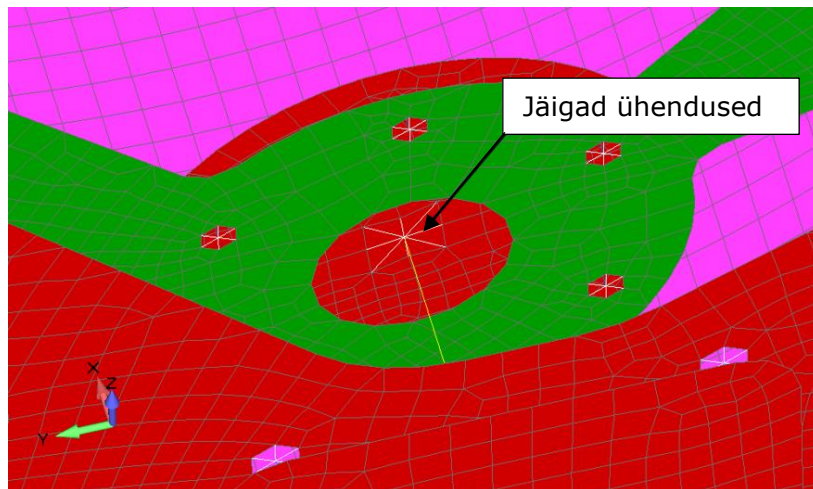
Joonis 5.15. Materjali paksused (mm).

LEM mudelis (Joonis 5.16) on kasutatud nelinurkseid (*quad*) elemente, mille suuruseks on valitud 10x10 mm. Plaatide modelleerimisel on kasutatud plaat-elemente (*shell*), völli ja roostevabade varaste ja poltide puhul tala-elemente (*beam*). Mootorreduktor on modelleeritud jäiga kehana (*rigid*).



Joonis 5.16. LEM mudel.

Samuti on kasutatud jäiksid ühendusi selleks, et hajutada võlli otsadesse koonduvaid pingeid ühte elementi, mis on tekkinud mudeli lihtsustamise tõttu (Joonis 5.17).

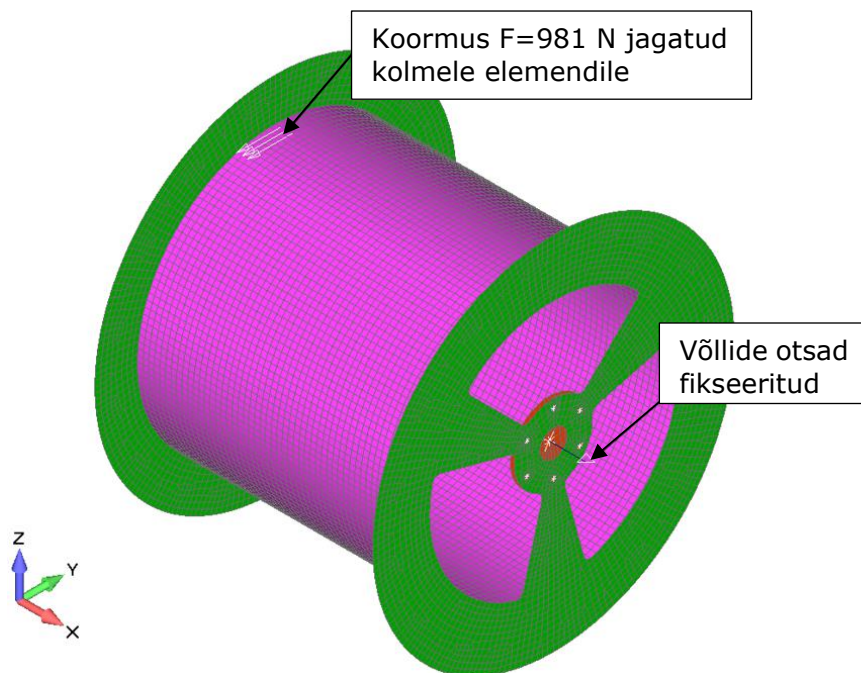


Joonis 5.17. Võlli otsade ühendus.

Analüüsitud on kolme koormusolukorda:

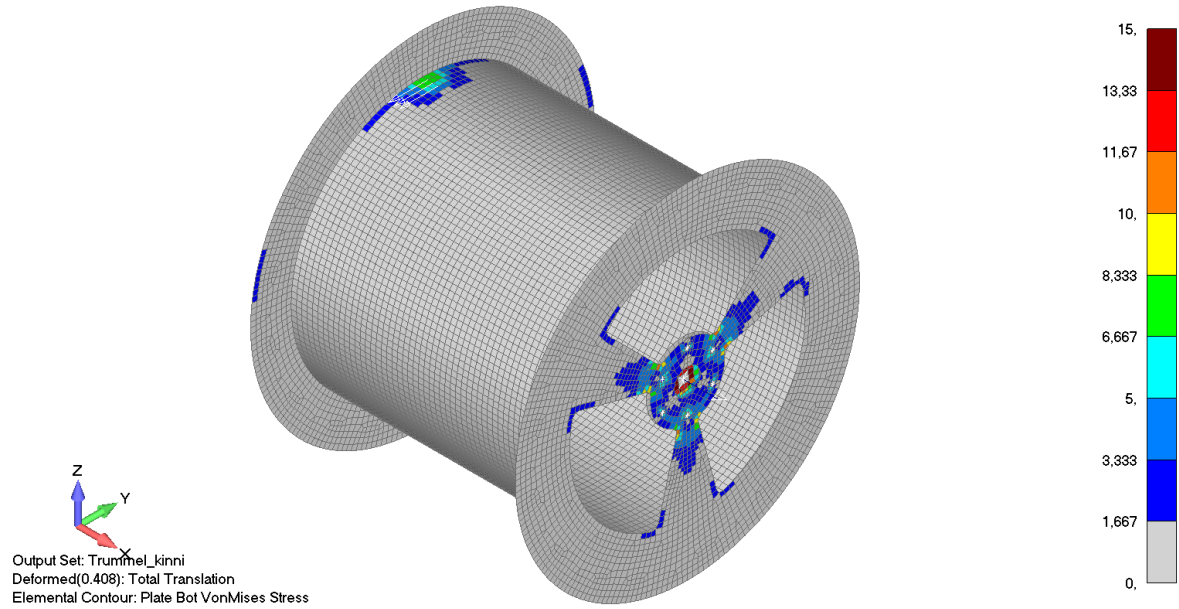
- Vääne trumlil
- Tavakoormus võllil
- Maksimaalne koormus võllil koos uurimisaluse kiirendustega

Esimesel koormusolukorras jäetakse raam arvutustest välja ja võllid fikseeritakse välistest otstest. Ääritingimused ja koormus esitatud järgnevalt (Joonis 5.18).

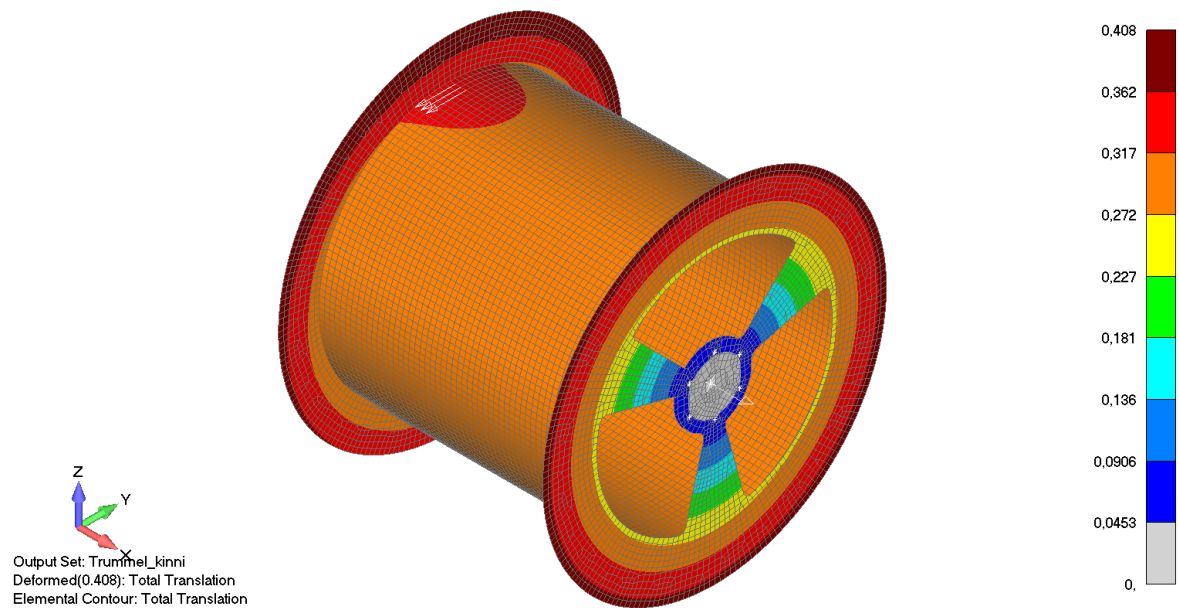


Joonis 5.18. Trumli ääritingimused ja koormus.

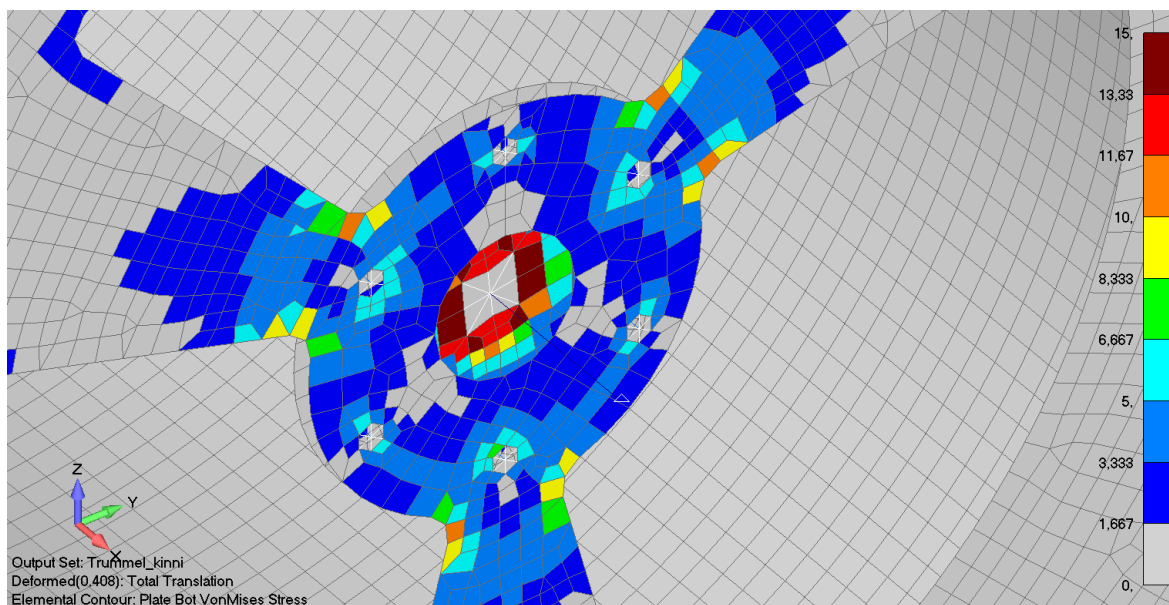
Tulemusena saadakse maksimaalsed pinged 17,2 MPa ja maksimaalsed deformatsioonid trumli flantsil 0,4 mm. Pingeid vaadeldakse skaalal 0...15 MPa. Selgub, et trumli kodaratel pinged ei ületa 12 MPa piiri. Pildid tulemustest on esitatud järgnevatel joonistel (Joonis 5.19, Joonis 5.20, Joonis 5.21).



Joonis 5.19. Trumlis tekkivad pinged (MPa).



Joonis 5.20. Trumlis tekkivad deformatsioonid (mm).



Joonis 5.21. Trumli tekkivad pinged, kohtvaade (MPa).

Vaadeldakse olukorda, kui trummel on kinnitatud raamile. Arvutuste lihtsustamiseks ja vältimaks trumli pööblemist rakendatakse koormused võllidele. Raam fikseeritakse alumise serva abil sarnaselt reaalsele kinnitusele uurimisel. Vaadeldakse kahte olukorda – tavaolukord ja maksimaalne võimalik koormus.

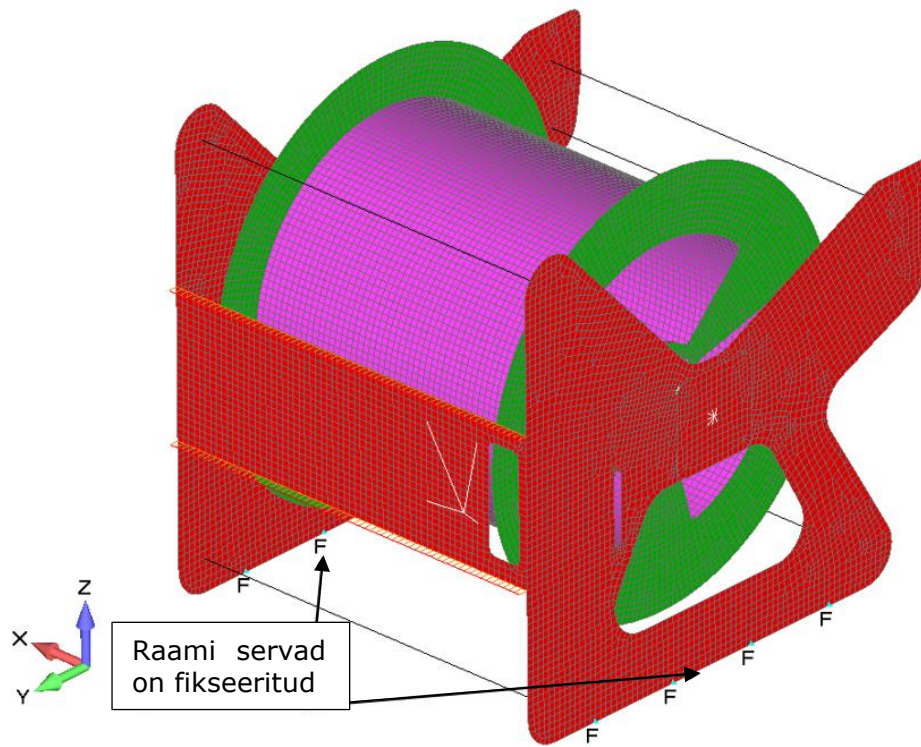
Tavaolukorras on mootoririhmas tekkiv jõud $F_v = 3853 \text{ N}$, samuti rakendatakse teise otsa teeninduskaabli kerimisest tekkiv jõud $F = 981 \text{ N}$.

Maksimaalses koormusolukorras on mootoririhmas tekkiv jõud $F_v = 5605 \text{ N}$, teeninduskaabli kerimisest tekkiv jõud $F = 981 \text{ N}$. Lisatakse ka kiirendused raskuskiirendus Z-suunal ja külgsuunaline kiirendus X-suunal (mudeli koordinaatide järgi) imiteerimaks uurimisel liikumist laines. Külgsuunaline kiirendus leitakse võttes aluseks uurimisel maksimaalse kreeniolukorra, milleks on 60° . Võttes arvesse LEM-mudeli lihtsustamisega tekkinud massi kadu kahekordistatakse kiirendused nii Z- kui ka X-suunal. Kiirendused avalduvad järgnevalt:

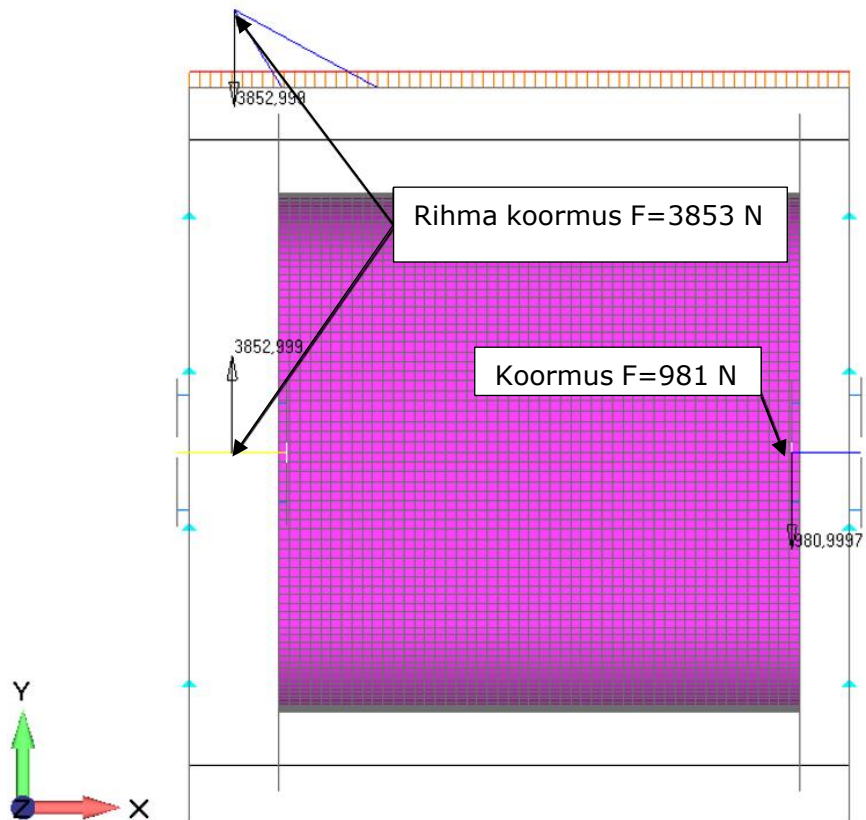
$$a_z = 2 * g = 2 * 9,81 = 19,62 \text{ m/s}^2 = 19620 \text{ mm/s}^2 (-)$$

$$a_x = 2 * \sin(60^\circ) * g = 2 * \frac{\sqrt{3}}{2} * 9,81 = 16,99 \text{ m/s}^2 \approx 17000 \text{ mm/s}^2$$

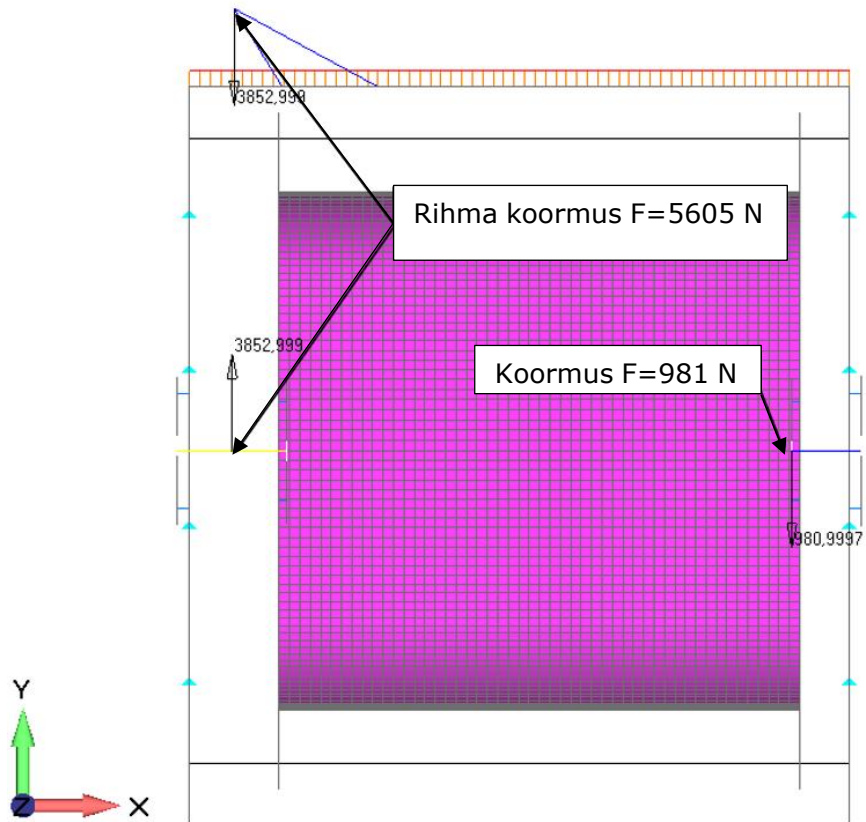
Ääritingimused ja koormused mõlemas olukorras on esitatud järgnevatel joonistel (Joonis 5.22, Joonis 5.23, Joonis 5.24, Joonis 5.25).



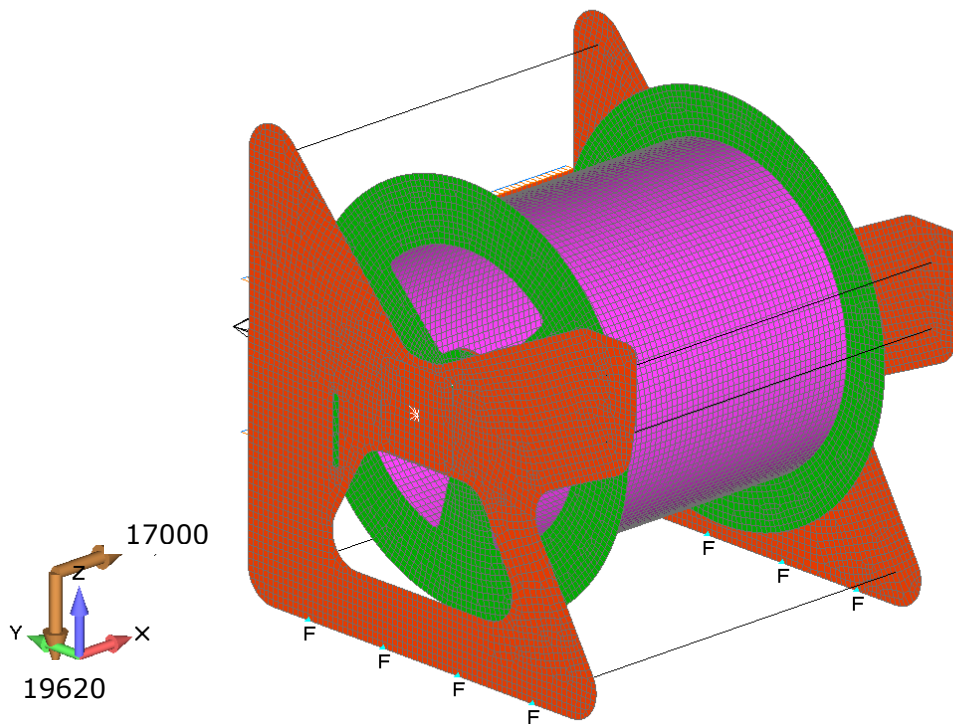
Joonis 5.22. Raami ääritingimused.



Joonis 5.23. Raami koormused tavaolukorras.

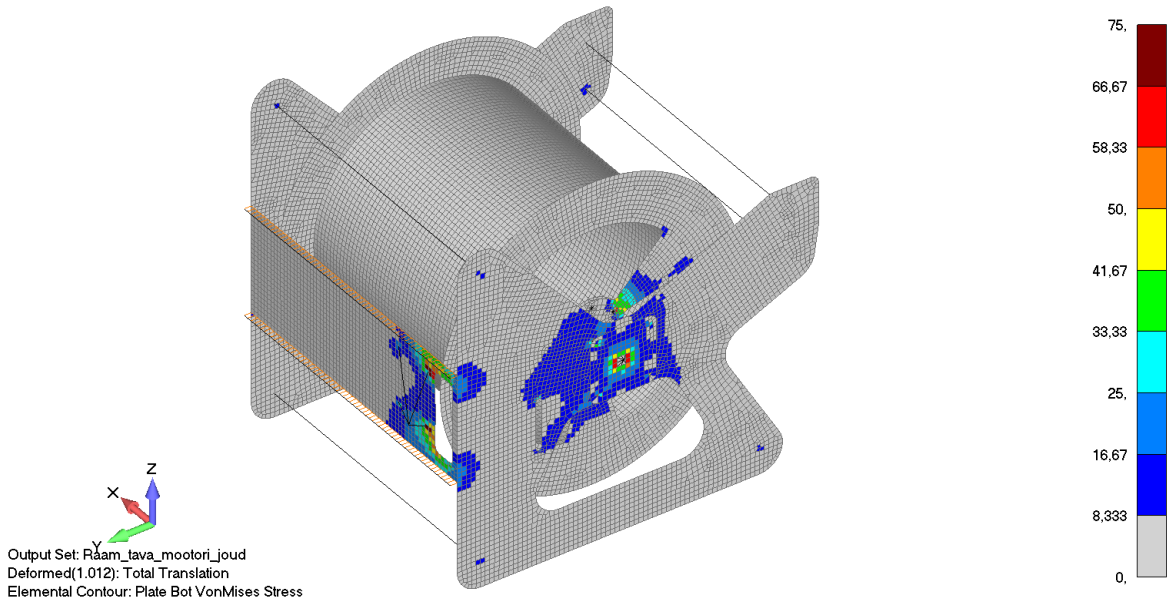


Joonis 5.24. Raami koormused maksimaalses koormusolukorras.

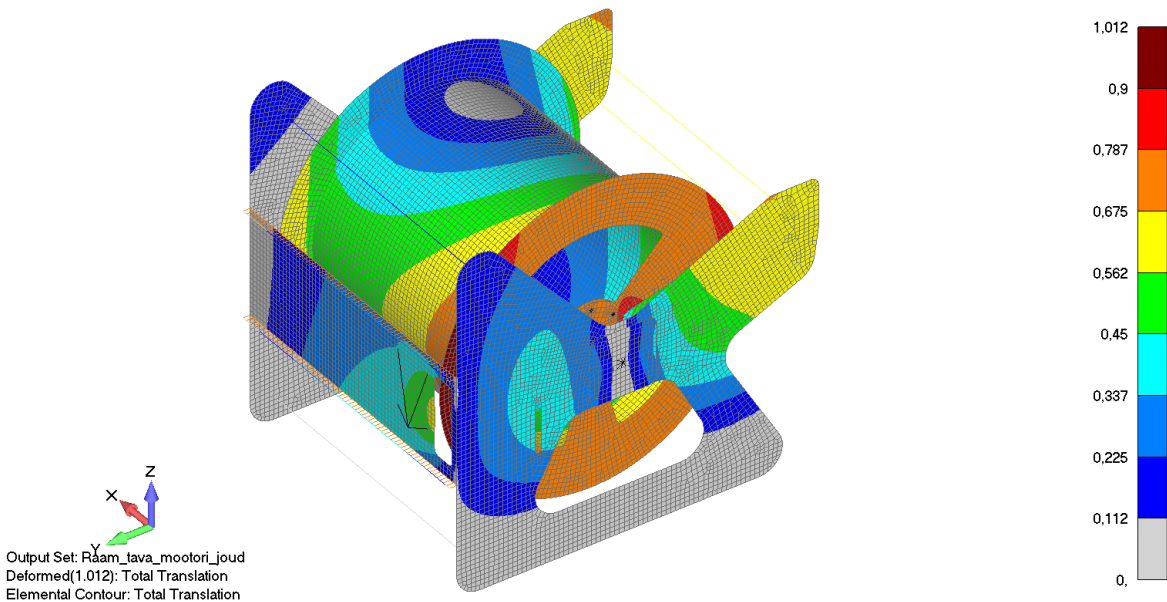


Joonis 5.25. Raami kiirendused maksimaalses koormusolukorras.

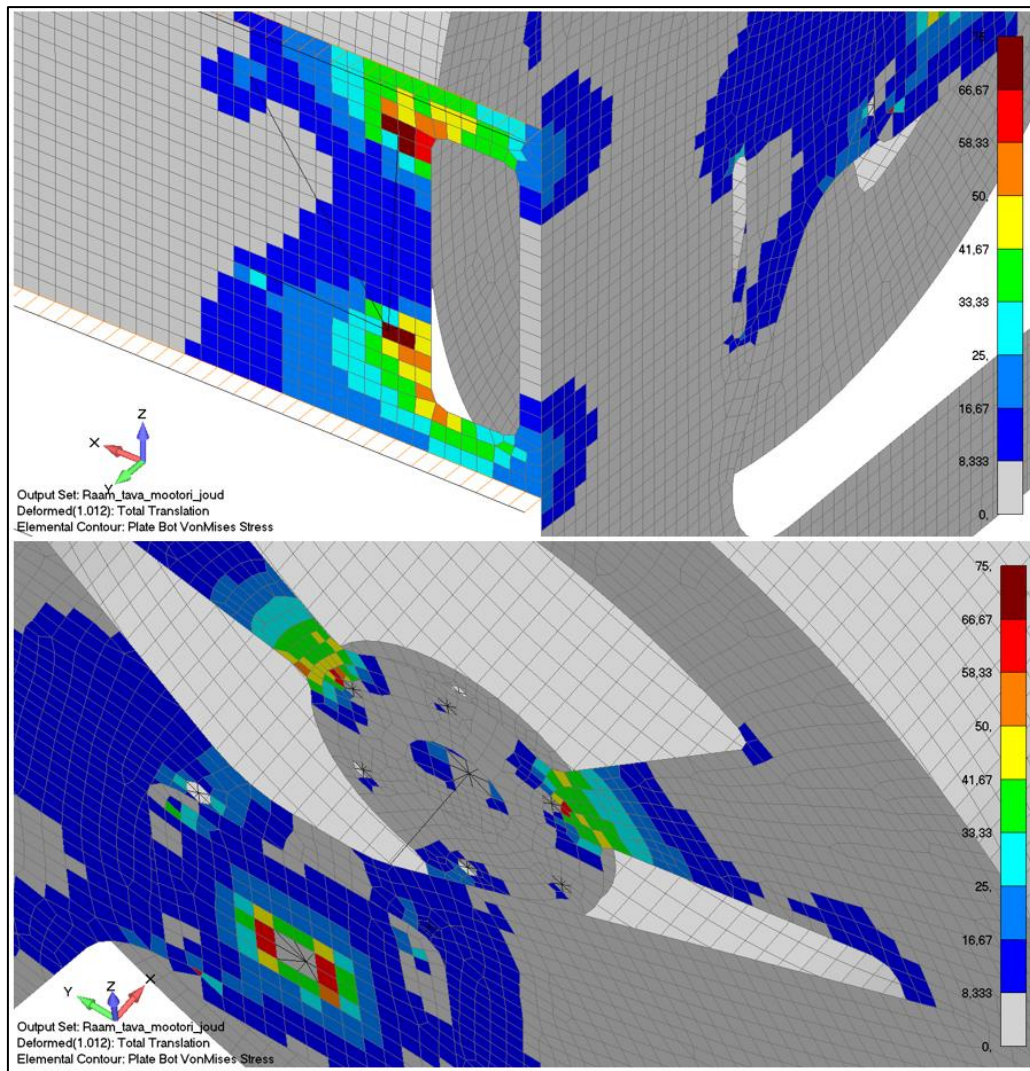
Analüüsi tulemusel saadakse maksimaalseteks pingeteks tavaolukorras 125,7 MPa, kuid see on lihtsustuse tagajärjel tekkinud pingekontsentratsioon üksikutes elementides. Muud pinged ei ületa 75 MPa piiri. Maksimaalsete deformatsioonide väärtuseks on 1,0 mm. Tekkinud pinged ja deformatsioonid on esitatud järgnevatel joonistel (Joonis 5.26, Joonis 5.27, Joonis 5.28).



Joonis 5.26. Raamis ja trumlis tekkivad pinged tavaolukorras (MPa).

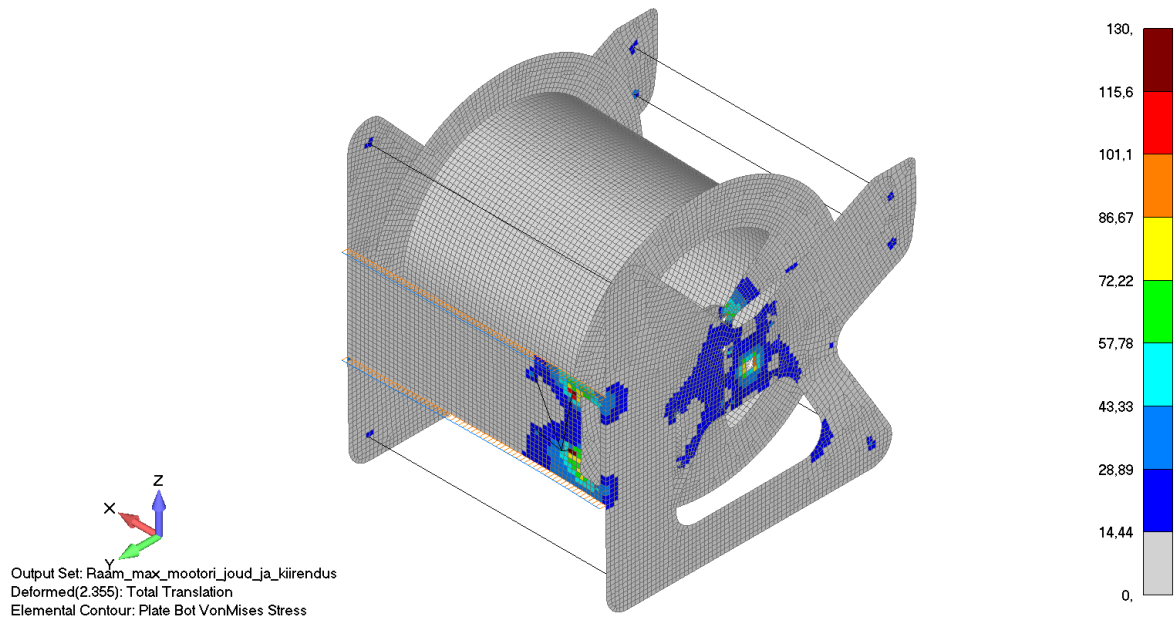


Joonis 5.27. Raamis ja trumlis tekkivad deformatsioonid tavaolukorras (mm).

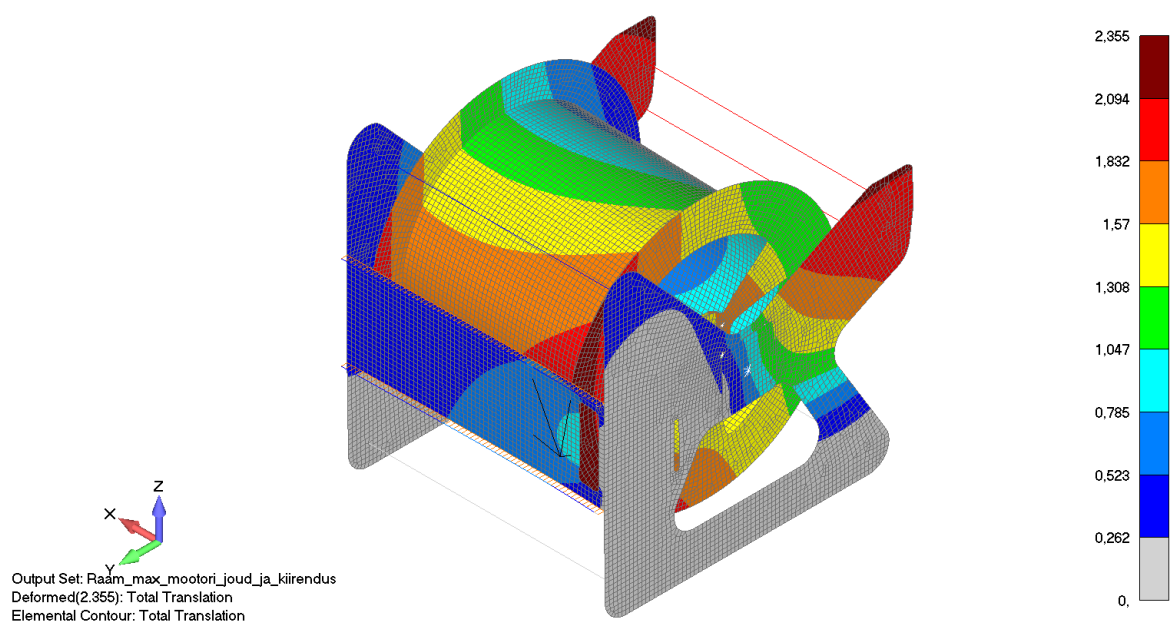


Joonis 5.28. Kohtvaated raamis ja trumlis tekkivates pingetest tavaolukorras (MPa).

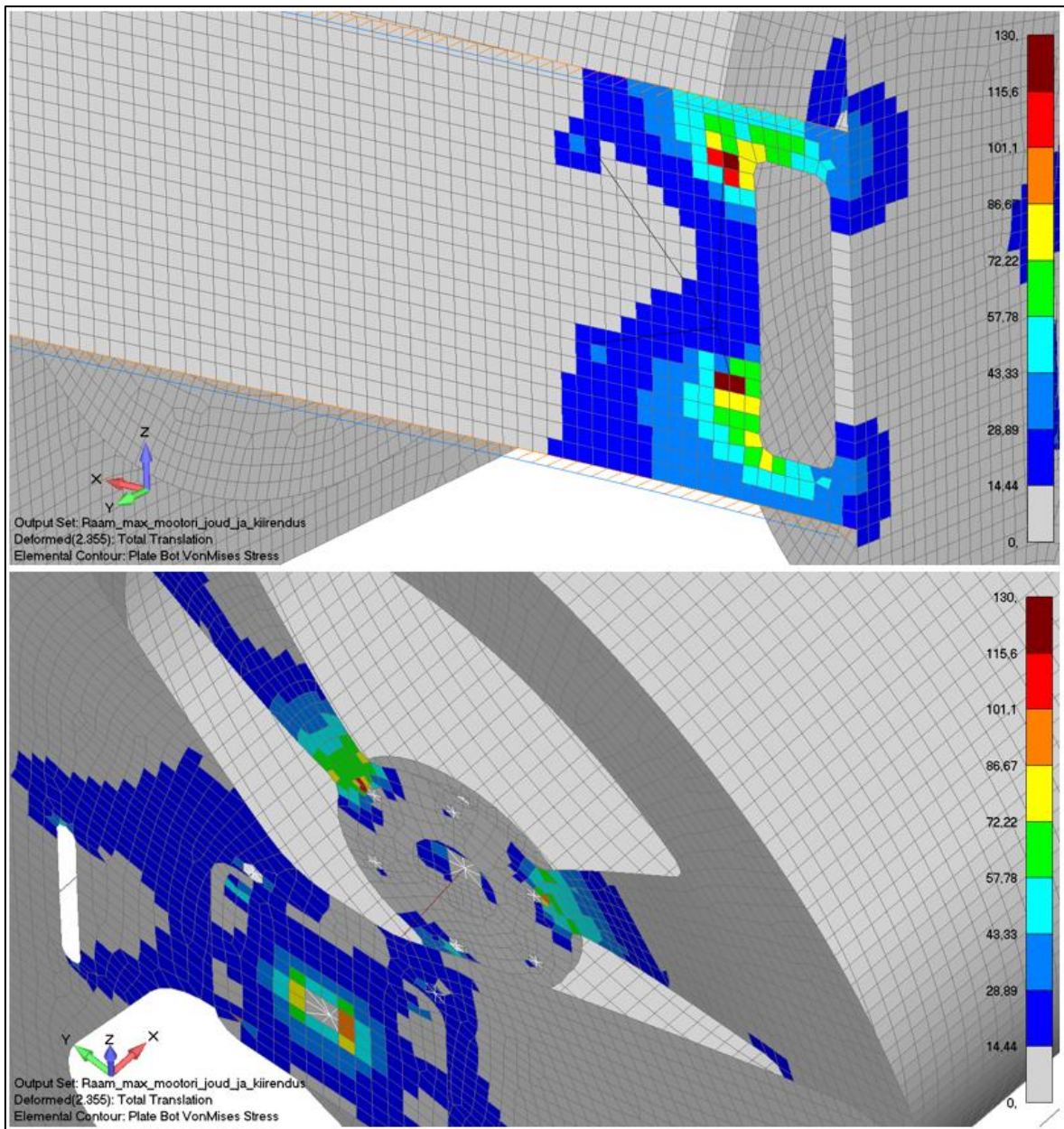
Maksimaalses koormussolukorras saadakse maksimaalseteks pingeteks 180,9 MPa, mis on samuti pingekontsentratsiooni tõttu. Üldised pinged ei ületa 130 MPa piiri. Maksimaalse deformatsiooni väärtuseks saadakse 2,355 mm. Tekkinud pinged ja deformatsioonid on esitatud järgnevatel joonistel (Joonis 5.29, Joonis 5.30, Joonis 5.31).



Joonis 5.29. Raamis ja trumlis tekkivad pinged maksimaalses koormussolukorras (MPa).



Joonis 5.30. Raamis ja trumlis tekkivad deformatsioonid maksimaalses koormussolukorras (mm).



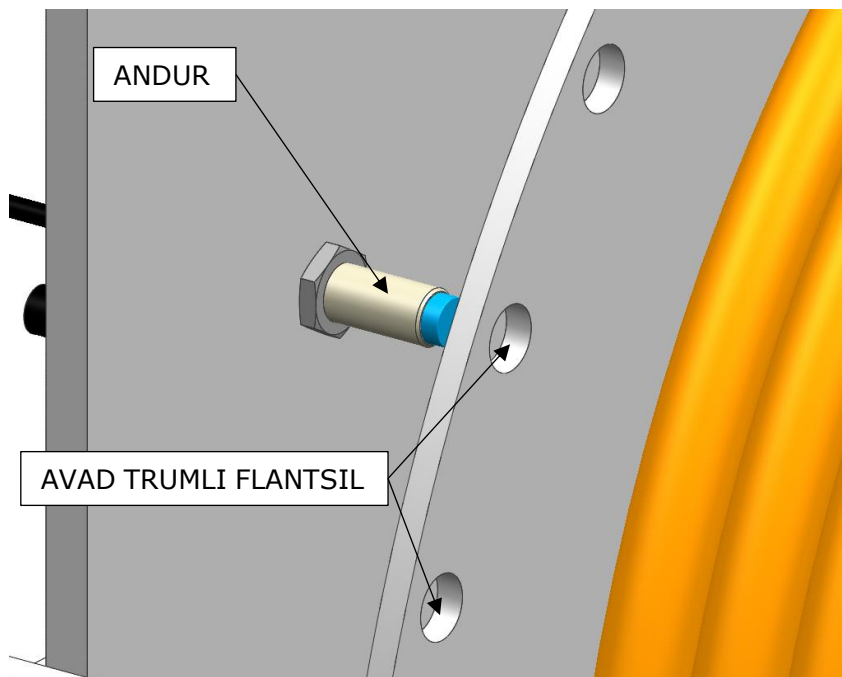
Joonis 5.31. Kohtvaated raamis ja trumlis tekkivates pingetest maksimaalses koormussolukorras (MPa).

Analüüsi järeldusena leitakse, et projekteeritud lahendus töötab ja konstruktsiooni tugevus on tagatud. Tekkinud pinged jäid alla lubatud piiri, milleks väärtuseks on 130 MPa.

5.3 Juhtimine ja elektroonika

Trumlit pööravat mootorit juhitakse kontrolleriiga Transtecno PLN40, mille maksimaalne lubatud voolutugevus on 47 A [24]. Kiiruse juhtimine käib pulsilaiusmodulatsiooni ehk PWM (ingl *Pulse-Width Modulation*) tööpõhimõttel.

Mõistmaks, kui palju kaablit on trumlilt maha või peale keritud lisatakse trumlile induktiivandur, mis registreerib trumli flantsil olevaid avasid. Intervall 10° on piisav vahe lugemaks anduri impulsse ja kalkuleerida selle abil keritud kaabli pikkus. Induktiivanduriks valitakse SICK IMB12-08NDSVU2S, millel on keskkonnaklass IP68 ja registreerimisvahemik 8 mm [25]. Kuvatõmmis anduri paiknemisest vintsil on näidatud järgneval joonisel (Joonis 5.32).



Joonis 5.32. Induktiivanduri paiknemine vintsil.

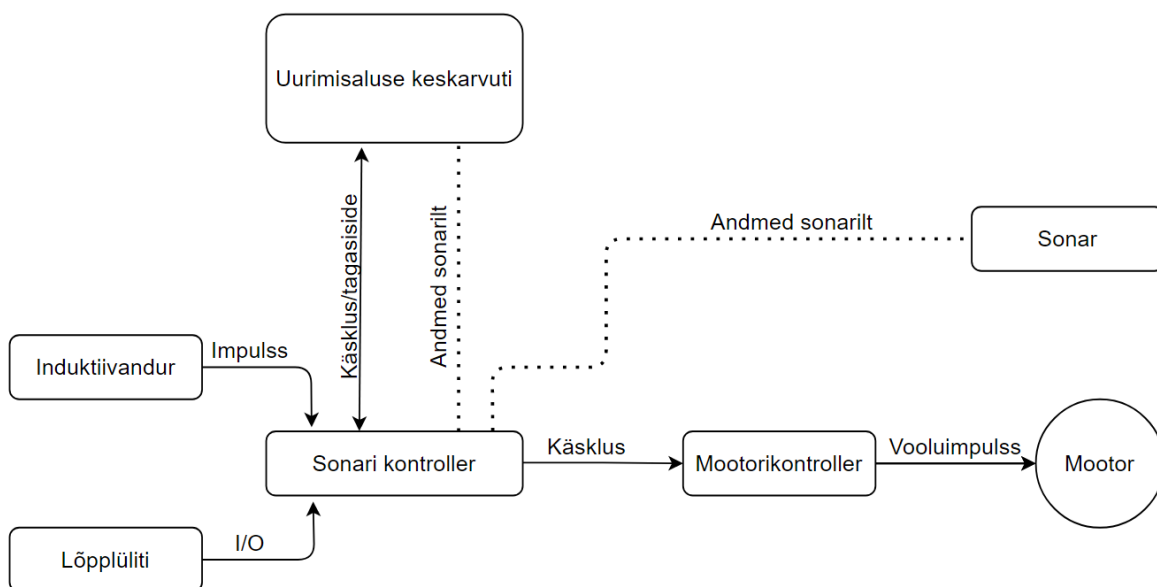
Induktiivandur edastab impulsse, mille järgi on võimalik arvutada, kui palju kaablit on maha või peale keritud, kuid ei ole võimalik teada, milline on õige alguspunkt. Selle jaoks on vaja lisada ka lõpulüliti, mis taastaks loenduri, kui sonar on uurimisalusel ehk maksimaalne hulk kaablit on keritud trumlile. Lõpulüliti asetatakse sonari kinnitusraamile. Kinnitusraami ei vaadelda selle töö raames, mistõttu ei valita välja spetsiifilist lüliti ega selle paiknemist uurimisalusel.

Teeninduskaabli jaoks on trumlil vajalik liugkontaktidega pöördlábiviik. Senring'i tootevalikust leiab rohkelt erinevaid liugkontaktidega ühendusi, kuid kõige sobivam on nende F-seeria, millele lubatakse vee ja tolmu kindlust IP68 ja kuni 72 kaablisoone ühendust [26]. Võttes arvesse ülesande püstituses välja toodud vajalikke kaablisoonte arvu ja suheldes tootjaga, on Senring'i F-seeriast kõige sobilikum F056-610-12S (Joonis 5.33), millel on 12 signaalkaablit suurusega 22 AWG ($0,34 \text{ mm}^2$) ja 6 kaablit suurusega 17 AWG ($1,0 \text{ mm}^2$).



Joonis 5.33. Senring F038-0620 [26].

Visuaali loomise eesmärgil on koostatud vintsi juhtimise skeem, kus on esitatud põhilised elektroonikakomponendid (Joonis 5.34).



Joonis 5.34. Vintsi juhtimise skeem.

5.4 Toote maksumus

Leitakse vintsi eeldatav hind arvestades vajaminevaid komponente, toormaterjali koos töötusega ning projekteerimiskulu. Komponentide hinnad on leitud suheldes tootjatega ja edasimüüjatega või arvestatud ligikaudne hind sarnaste toodete hindade alusel. Hinnad ei sisalda käibemaksu, transpordi kulusid ega komplekteerimist. Oluliste komponentide hinnad on esitatud järgnevas tabelis (Tabel 5.8), mille alusel hinnatakse toote maksumust. Kokkuvõtvalt hinnatakse vintsi omahinnaks 5000 €.

Tabel 5.8. Vintsi maksumus.

Nimetus	Kogus (tk)	Hind (€)	Hind kokku (€)
Mootor, Transtecno EC600.240.66 [27]	1	284,93 €	284,93 €
Reduktor, Transtecno ECM600/023 [28]	1	365,00 €	365,00 €
Kinnitusjalad, H65x65 [29]	1	34,40 €	34,40 €
Kontroller, Transtecno PLN40 [30]	1	237,00 €	237,00 €
Slip-ring, Senring F056-0610-12S	1	215,00 €	215,00 €
Kuullaager flantsiga SSUCF 206 [31]	2	78,23 €	156,46 €
Kuullaager flantsiga SSUCF 210 [32]	2	157,20 €	314,40 €
Induktiivandur, SICK IMB12-08NDSVU2S [33]	1	37,19 €	37,19 €
Koonuslukk 25x50	1	16,90 €	16,90 €
Koonuslukk 50x80	1	32,00 €	32,00 €
Rihmaratas, 55 AT10/40-2 [34]	2	50,50 €	101,00 €
Rihmaratas, 55 AT10/25-2 [34]	2	23,00 €	46,00 €
Hammasrihm, AT10-W40, L=1150 mm [35]	1	69,20 €	69,20 €
Hammasrihm, AT10-W40, L=1210 mm [35]	1	76,00 €	76,00 €
Pingutusrullik, Mädler TS 60-54 [36]	2	27,30 €	54,60 €
Tõmbevedru, 200x25x3.0 [37]	2	22,90 €	22,90 €
Kinnitusvahendid, roostevaba	3,7 kg	35€/kg	129,50 €
Materjal, alumiinium	45 kg	30€/kg	1350,00 €
Materjal, roostevaba teras	33 kg	20€/kg	660,00 €
Materjal, plastik	1 kg	50,00 €	50,00 €
Teeninduskaabel	50 m	~10 €/m	500,00 €
Materjali hind kokku:			4 752,48 €
Projekteerimine	200 h	35€/h	7000,00 €
Vintsi hind kokku:			11 752,48 €

KOKKUVÕTE

Töö teema pakuti välja Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituudi Peipsi kalanduse tööühma poolt, kes on arendamas mehitamata uurimisalusit kalavarude seirete jaoks. Uurimisalusele paigaldatakse sonar, millega mõõdistatakse kalavarusid. Antud töö eesmärk oli sonari veeskamissüsteemi projekteerimine. Töö läbiviimisel ilmnis palju lahtiseid disainikriteeriumeid ning selletõttu otsustati keskenduda vaid vintsile.

Teostati taustauuring, mille käigus formuleeriti projekteerimise kriteeriumid ja nõuded. Viidi läbi turu-uuring, mille tulemusel leiti, et sarnaseid tooteid eksisteerib, aga otseselt sobivat toodet ei pakuta. Tutvuti sarnaste toodete sõlmlahendustega, võeti inspiratsiooni erinevatest lahendustest ja kaaluti erinevaid kontseptsioone. Valiti välja sobivaimad sõlmlahendused vastavalt kriteeriumitele.

Seejärel viidi läbi projekteerimise faas, kus projektarvutuste kaudu dimensioneeriti võll ja trummel. Valiti välja sobivad ostukomponendid ning integreeriti need saavutades komplektse vintsi. Teostati asjakohased tugevusarvutused kriitiliste sõlmede kohta ja vormistati tootmisjoonised.

Töö tulemusena projekteeriti nõuetele vastav kaugjuhitav vints ja antud töö eesmärk sai täidetud. Vormistatud tööjoonised on eelduseks valmivale prototüübile.

Antud töö käsitlusest jäi välja sonari kinnitamine uurimisalusele ja vintsi optimeerimine. Vintsi mõõtmeid saaks vähendada ja selle abil muuta vints kergemaks. Üheks kriteeriumiks on erilahendusega teeninduskaabli minimaalne painderaadius, mille täpselt väärtust pole teada. Projekteerimisel lähtuti konservatiivsetest väärtustest, mis jätab ruumi hilisemaks optimeerimiseks.

SUMMARY

The thesis was proposed by the Unit of Lake Peipsi Fisheries of the University of Tartu Estonian Marine Institute, which is developing an unmanned research vessel for monitoring fish stocks. A sonar is installed on the research vessel to measure fish stocks. The aim of this work was to design a sonar launch system. During the work, a lot of open design criteria emerged and therefore it was decided to focus only on the winch.

A background study was conducted to formulate the design criteria and requirements. A market investigation was carried out which found that similar products existed but no directly suitable product was offered. Features for similar products were introduced, inspired by and different concepts were considered. The most suitable features were selected according to the criteria.

The design phase was then performed, where the shaft and drum were dimensioned through design calculations. Suitable purchase components were selected and integrated to achieve a complete winch. Appropriate strength calculations were performed for critical assemblies and production drawings were prepared.

As a result of the work, a compliant remote control winch was designed and the purpose of this work was fulfilled. Completed working drawings are a prerequisite for the completed prototype.

The attachment of the sonar to the research base and the optimization of the winch were excluded from the discussion of this work. The dimensions of the winch could be reduced and thus make the winch lighter. One criterion is the minimum bending radius of a special umbilical cable, the exact value of which is unknown. The design was based on conservative values, which leaves room for later optimization.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Simrad ES38-7. The Simrad ES38-7 is a wide band split beam transducer designed for fishery and underwater science applications. Kongsberg Maritime AS. [WWW]: https://www.kongsberg.com/maritime/products/commercial-fisheries/td/simrad-38khz-transducers/es38_7/
- [2] Design and Application of a Surface Vessel for Autonomous Inland Water Monitoring. Gregory Hitz, Francois Pomerleau, Marie-Eve Garneau, C'edric Pradalier, Thomas Posch, Jakob Pernthaler, Roland Y. Siegart. 2012.
- [3] Fully Autonomous Focused Exploration for Robotic Environmental Monitoring. Gregory Hitz, Francois Pomerleau, Marie-Eve Garneau, C'edric Pradalier, Thomas Posch, Jakob Pernthaler, Roland Y. Siegart. 2014.
- [4] Fathom Spool. BlueRobotics. [WWW]: <https://bluerobotics.com/store/cables-connectors/tether-management/tms-asm-spool-r1-rp/>
- [5] Umbilical Winch. Deck Marine Systems. [WWW]: https://www.deckmarinesystems.com/product_page/umbilical-winch%e2%80%8b/
- [6] STR ESW-500 SERIES Electric Winch. SUBSEA TECHNOLOGY & RENTALS. [WWW]: <https://www.str-subsea.com/esw-500-series-electric-winch>
- [7] Kolstrand AKPW24D24W-FLW-AK-RE29 Special Aluminum Winch With Flip-Style Diamond Screw Level Wind. Integrity Machining, Inc. & Kolstrand. [WWW]: <http://www.kolstrand.com/kolstrand-akpw24d24w-flw-ak-re29-special-aluminum-winch-with-flip-style-diamond-screw-level-wind/>
- [8] Fathom ROV Tether. BlueRobotics. [WWW]: <https://bluerobotics.com/store/cables-connectors/cables/fathom-tether-nb-4p-26awg-r2/>
- [9] Cable Solutions. Stock Subsea Cables. Teledyne Cable Solutions. [WWW]: http://www.teledynemarine.com/Lists/Downloads/TCS-Stock_Subsea_Cable-701184_Ir.pdf
- [10] Simrad EK80. Scientific wide band echo sounder. Kongsberg Maritime AS.
- [11] Engineering Toolbox. [WWW]: https://www.engineeringtoolbox.com/awg-wire-gauge-d_731.html

- [12] What is a Slip Ring?. Matteo Salgarello. Servotecnica SpA. [WWW]: <https://www.servotecnica.com/en/resources/motion-blog-en/what.is-a-slip-ring/>
- [13] SUBMERSED PROFILER 'SALLA'. Flydog Solutions OÜ. [WWW]: <https://www.flydogmarine.com/products/submersed-profiler-salla/>
- [14] POLÜSPAST ON ... POLÜSPASTI SEADE. Thehouseofchronic.com [WWW]: <https://est.thehouseofchronic.com/4139865-the-polyspast-is--the-device-of-a-polyspast>
- [15] IP66 DC electric motors. Transtecno SRL. [WWW]: https://www.transtecno.com/wordpress/wp-content/uploads/2019/02/I_EC_IP66-DC-electric-motors_190129_0119.pdf
- [16] DC helical in-line gearmotors. Transtecno SRL. [WWW]: https://www.transtecno.com/wordpress/wp-content/uploads/2019/02/L_ECMG-DC-helical-in-line-gearmotors_190129_0119.pdf
- [17] Technical Manual. Polyurethane Timing Belts. Optibelt GmbH. [WWW]: <https://www.optibelt.com/fileadmin/pdf/produkte/zahnriemen-pu/Optibelt-TM-Polyurethane-Timing-Belts.pdf>
- [18] Product data sheet. AA2017A. EN AW-2017A. EN AW-AlCu4MgSi. Leichtmetall Aluminium Giesserei Hannover GmbH. [WWW]: https://www.leichtmetall.eu/site/assets/files/datenblatt/2017A_Produktdatenblatt_A4-en_us.pdf
- [19] Data Sheet. EN AW 6082 - Profiles. Alumeco A/S. [WWW]: <https://www.alumeco.com/knowledge-technique/aluminium-data/datasheets/files/aluminium?s=0>
- [20] Drum Calculator. Ingersoll. [WWW]: http://www.mem50212.com/MDME/MEMmods/MEM30009A/lifting_systems/Ingersoll_Drum_Calculator.htm
- [21] Winches for Industrial appliance. Haacon Hebetchnik GmbH. [WWW]: https://www.haacon.com/media/kataloge/industrieseilwinden_es.pdf
- [22] Locking Assemblies. Ringfeder Power Transmission GmbH. [WWW]: <https://www.ringfeder.com/globalassets/downloads/02-product-paper/product-paper-tech-paper-ringfeder-locking-assemblies-en-08-2019.pdf>

- [23] AISI Type 316. eFunda, Inc. [WWW]:
https://www.efunda.com/materials/alloys/stainless_steels/show_stainless.cfm?ID=AISI_Type_316&show_prop=all&Page_Title=AISI%20Type%20316
- [24] DC motor controls. Transtecno. [WWW]:
https://www.transtecno.com/wordpress/wp-content/uploads/2019/02/R_PLN-DC-motor-controls_190131_0119.pdf
- [25] IMB12-08NDSVU2S. IMB. SICK AG. [WWW]:
https://cdn.sick.com/media/pdf/3/13/813/dataSheet_IMB12-08NDSVU2S_1076278_en.pdf
- [26] Dustproof & waterproof Slip Ring. Senring Electronics [WWW]:
<https://www.senring.com/dustproof-waterproof-slip-ring/>
- [27] Moteur électrique 24V Transtecno IP66 EC600.240.66. BSM Transmissions. [WWW]: <https://moteur-electrique-pro.fr/produit/moteur-24-volts-transtecno-ec600-240-66/>
- [28] Reducteur Transtecno CMG032 U D30 80B5. BSM Transmissions. [WWW]: <https://moteur-electrique-pro.fr/produit/reducteur-transtecno-cmg032-u-d30-71b5/>
- [29] Pattes CMG01 / H065. BSM Transmissions. [WWW]: <https://moteur-electrique-pro.fr/produit/transtecno-cmg01-h65-pattes/>
- [30] Carte de commande Transtecno PLN40. BSM Transmissions. [WWW]: <https://moteur-electrique-pro.fr/produit/transtecno-pln40-carte-de-commande/>
- [31] SSUCF206 30mm LDK Stainless Steel 4 Bolt Bearing. Bearing Boys Ltd. [WWW]: <https://www.bearingboys.co.uk/Stainless-Steel-4-Bolt-Flanged/SSUCF206-30mm-LDK-Stainless-Steel-4-Bolt-Bearing-134645-p>
- [32] SSUCF210 50mm LDK Stainless Steel 4 Bolt Bearing. Bearing Boys Ltd. [WWW]: <https://www.bearingboys.co.uk/Stainless-Steel-4-Bolt-Flanged/SSUCF210-50mm-LDK-Stainless-Steel-4-Bolt-Bearing-134650-p>
- [33] IMB12-08NDSVU2S SICK. Transfer Multisort Elektronik Sp. z o.o. [WWW]: <https://www.tme.eu/ee/details/imb12-08ndsvu2s/silindrilised-induktiivandurid-dc/sick/>

- [34] Pulleys AT10, Belt Width 40 mm. Mädlar Netherlands. [WWW]: <https://www.maedler.nl/product/1643/1616/996/zahnriemenraeder-at10-fuer-riemenbreite-40-mm>
- [35] AT10 Timing Belts, Width=40mm. Mädlar Netherlands. [WWW]: <https://www.maedler.nl/product/1643/1616/963/zahnriemen-profil-at-10-breite-40-mm>
- [36] Tensioning roller - idler TS nominal size $\varnothing 60\text{mm} \times 54\text{mm}$ with separate distance bush for easy assembly. Mädlar Netherlands. [WWW]: <https://www.maedler.nl/Article/14088604>
- [37] Tõmbevedru 200x25x3,0 2tk. Järva Tarbijate Ühistu [WWW]: <https://www.xn--triistamarket-imba.ee/et/t%C3%B5mbevedru-200x25x30-2tk>

GRAAFILINE OSA

1. Peajoonis – Sonari vints – T2055.00.0
2. Detailijoonis – Profiil – T2055.00.01
3. Koostejoonis – Mootori alus – T2055.01.0
4. Koostejoonis – Raami külg 1 – T2055.02.0
5. Koostejoonis – Raami külg 2 – T2055.03.0
6. Koostejoonis – Trummel – T2055.04.0
7. Koostejoonis – Slip-ring alus – T2055.05.0
8. Koostejoonis – Slip-ring keeviskoost – T2055.05.01.0
9. Koostejoonis – Suunaja – T2055.06.0
10. Koostejoonis – Suunaja keeviskoost – T2055.06.01.0
11. Koostejoonis – Kaabli suruja – T2055.07.0
12. Koostejoonis – Võll – T2055.08.0
13. Koostejoonis – Võll – T2055.09.0
14. Plakat – Kaugjuhitav sonari vints mehitamata uurimisalusele