TALLINNA TEHNIKAKÕRGKOOL

Lauri Erm

TALLINNA SADAMA 12. KAI TUUBUSE PROJEKTEERIMINE

LÕPUTÖÖ

Mehaanikateaduskond
Masinaehituse eriala

Tallinn 2011

SISUKORD

Sissejuhatus 3

1. Ettevõtte iseloomustus 6

2. Tuubustest üldiselt 8

3. Tehniline osa 12

2.1 Tehnilise lahenduse valik 12

2.2 Trapi konstruktsioon 13

2.3 Karkassi konstruktsioon 24

2.4 Tõstesüsteem 31

4. Silindrite valik 40

5. Juhtimissüsteem ja automaatika 44

6. Koormuskatsed 47

7. Ohutusnõuded 48

8. Majanduslik osa 50

8.1 Materjalide maksumus 50

8.2 Tööjõu kulud 54

8.3 Kulutused värvimisele 55

Kokkuvõte 58

Summary 60

Viidatud allikad 62

Lisad 64

Lisa 1. Tuubus TS 00.00.000 65

Lisa 2. Põhiraam TS 01.00.000 66

Lisa 3. Karkass TS 01.01.000 67

Lisa 4. Trapp TS 02.00.000 68

Lisa 5. Kelk TS 03.00.000 70

Lisa 6. Ketirataste plokid TS 03.02.000 71

SISSEJUHATUS

Käesoleva töö teemaks on Tallinna sadama Vanasadama D-terminali 12. kai tuubuse ümberehitamine. Eesmärgiks on vanale tuubusele projekteerida uus esimene sektsioon nii, et see vastab kõigile nõuetele ning sadama vajadustele. See on tuubuse kõige olulisem ja keerulisem osa, milles asub laevaga ühendumise mehhanism. Vanast tuubusest jääb alles välimine raam ning esimesest sektsioonist galerii poole jääv osa (vt sele 1). Töö tehakse Ilmarine AS baasil, arvestades selle tootmisvõimalusi. Autor on nimetatud ettevõttes töötanud juba üle aasta. Tuubused on sadamates nn. liikuvad koridorid ehk vahelülid, mis ühenduvad laeva külge ning mida mööda saavad reisijad laevalt maha tulla. Lõputöö teemaks olev seade on projekteeritud Soome firma Finnmecanplan OY poolt 90ndate aastate keskel.



Sele 1. Vana 12. kai tuubus

12. kai äärde sildub kõige tihedamini „Norlandia“. Alates aprilli algusest paar korda kuus käib veel „Printsess Anastasia“, eriolukordades mõnikord ka „Viking XPRS“ ja „Printsess Maria“. Talvisel

ajal, madala veetasemega selgus, et praeguse tuubusega ei ole võimalik Norlandiat teenindada, kuna alumine piirasend on kõrgemal, kui laeva poom (laeva küljel, ukse all, olev toru, mille peale ühendub tuubus). Lisaks veel tekkis raskete jääolude tõttu olukord, kus laev ei pääsenud päris kai äärde seisma, vaid jäi vendriliinist pea 1,5m eemale. See aga oli tuubuse teeninduskaugusest väljas. Samuti on praeguse süsteemi töökindlus madal, kuna andurid, mis jälgivad laeva poomi asukohta ja olemasolu, on väga tundlikud. Seetõttu annavad nad ka väiksemate liikumiste peale häire ning tuubus tõstab end automaatselt laeva küljest lahti.

Nimetatud puuduste kõrvaldamiseks otsustas Tallinna sadama hooldusosakond korraldada hanke tuubuse rekonstrueerimiseks. Esitatud tehnilised tingimused nägid projekteeritavale ette järgmist:

1. Tuubuse esimese (laevapoolse) osa väljavahetamine uue vastu (tagamaks suuremad parameetrid min. ja max. asendite tarvis)
2. Alumiiniumsilla (laevatrapi) valmistamine (sertifitseeritud materjal, nn merealumiinium) ja paigaldus (käigutee laius mitte vähem kui 2000mm)
3. Laevatrapi insenertehniline arvutus ja koormustest.
4. Telfritalade ja käru valmistamine ning paigaldus
5. Telfrite ja elektriseadmete paigaldus
6. Sillale varikatuse ehitamine (sh. Laeva ukse ja silla vaheline täispuhutav sadekate)
7. Silla alla laeva ja silla vahelise turvavõrgu paigaldamine
8. Ühendusmuhvidele (PVC) katte paigaldamine.

Rekonstrueerimise tööd näevad ette reisijatesilla ümberehitamist telfersüsteemile, mille eesmärgiks on tõsta tuubuse töökindlust. Ehituslik põhimõtteskeem järgib 1. ja 10. kai tuubuste olemasolevat reisijate silla ehituslikke lahendusi. Trapile ehitatav varikatus tuleb paigaldada alumiiniumraamistikule, mis on kaetud läibipaistvate plastklaasist paneelidega. Lae alla peab olema paigaldatud mitte vähem kui kaks paaristoruga ilmastikukindlat valgustit (liikumisala valgustatus alates 100lux). Katuse konstruktsioon peab tagama sademete mahavalgumise mõlemale küljele. Sadekate peab tagama sademete kaitse kogu silla liikumise ulatuses (tuubuse miinimum ja

maksimum kõrgus). Hüdraulika tuleb projekteerida nii, et ühendus laevaga ei oleks ajaliselt limiteeritud. Reisijatesilla laevast eraldumise puhul peab tööle hakkama avariisignaal.

Hanke võitjaks tuli Ilmarine AS, kes on ehitanud ka Tallinna sadama 5., 7. ja 13. kai tuubused ning neid ühendavad kahekorruselised galeriid. Uudsetest lahendustest on ettevõte hiljuti sadamas rajanud 5. ja 7. kai galeriide vahelise uue ühendusgalerii, milles on reisijate mugavuse tõstmiseks Kone liikuvad kaldteed. Selline lahendus on ainulaadne terves Baltikumis. Eelnevast on näha, et Ilmarine AS omab käesoleva projekti teostamiseks piisavalt kogemusi ja on seega suurepärane koht lõputöö tegemiseks.

1. ETTEVÕTTE ISELOOMUSTUS

Ilmarine nimel ja kaubamärgil on pikk ja Eesti mõistes kuulsusrikas ajalugu, pärinedes aastast 1859. Rohkem kui 150 aastase ajaloo jooksul on tegeletud paljude erinevate tegevusaladega alates destilleerimissseadmete või pliitide valmistamisega ja lõpetades mootorite ning rasketehnikaga. Tänapäeval tegeldakse erinevate metallkonstruktsioonide valmistamise ja paigaldamisega. Rohkem keskendutakse kaldapealsetele ja rannikumeres olevatele objektidele ning pakutakse „võtmed kätte“ lahendusi, koos hüdraulika, elektripaigaldise, automaatika ja muu vajalikuga. Koostöös MEC Insenerilahendused OÜ ja TTÜga pakutakse klientidele lahendusi koos projekteerimisega ning tegeletakse tootearendusega. Viimast selle koostöö vilja võib näha Rootsis Göteborgi sadamas, kuhu projekteeriti, valmistati ja paigaldati tänapäevane tuubus, koos uudse laevakinnitusega, mis kaitseb konstruktsiooni purunemise eest, kui laev peaks ootamatult kaist eemalduma. Enne seda projekteeriti ja rajati, samuti Rootsis, Kappelskäri sadamas reisijategalerii koos omapärase tehnilise lahendusega tuubusega, mille juures on peamiselt kasutatud merealumiiniumit. Ilmarine AS on ka enamiku Tallinna Sadamas olevate reisijategaleriide, tuubuste ja rampide valmistaja ning paigaldaja.

Lisaks oma projektidele ja toodetele tegeletakse ka allhanke korras erinevate konstruktsioonide ja seadmete valmistamisega. Suuremad kliendid selles valdkonnas on Eestis hästi tuntud Metso, Andritz, Menck, Monitek, Skanska jt. Toodangust üle 90% läheb ekspordiks. Töö kirjutamise ajal, näiteks, on parasjagu käimas allhanke korras Soomes Vantaa raudteejaama infrastruktuuri rajamine, kus peatöövõtjaks on Skanska OY.

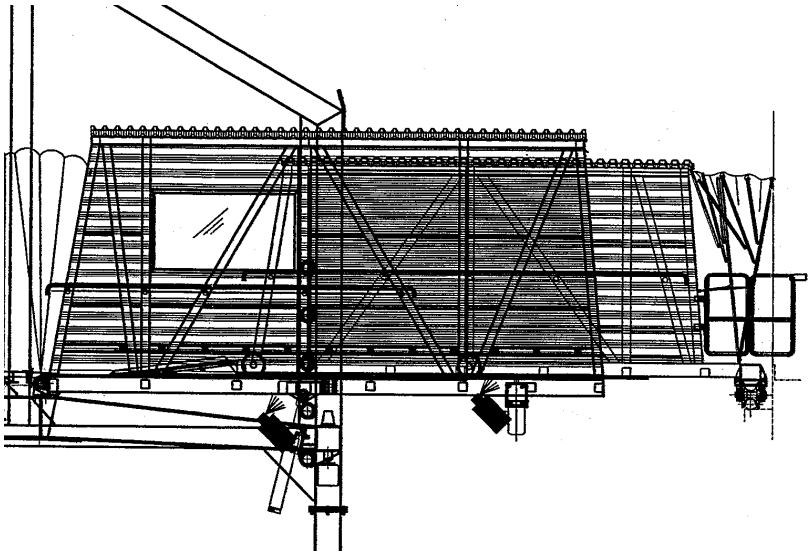
Ettevõte kolis möödund aasta oktoobris oma eelmistest tootmishoonetest kaasaegsele rendipinnale endise Levadia territooriumil, mis on ka logistiliselt paremas asukohas, kuna tehasehoonet läbib raudtee ning sealt on lihtne suurte konstruktsioonidega sadamasse sõita. Praegusel hetkel on tootmisvõimsus ligikaudu 5000 inimtöötundi kuus, mida plaanitakse aga mai lõpuks, juuni alguseks tõsta vähemalt 16000 tunnini, kuna sellisele mahule on juba olemas tellimused. Eesmärgi saavutamiseks minnakse ühelt vahetuselt üle kahele. Kasutatavat tootmispinda on 6100m^2, kus

tõstevõimsus hoone sees on 25t ja tõstekõrgus 11m. Hoone kahes küljes on uksed mõõtmetega 6x5,5m. Lisaks on võimalik kasutada väljas olevat laoplatsi, kus on korraga kasutatav tõstevõimus 32t. Seal monteeriti ka Tallinna sadama 5. ja 7. kai galeriide vaheline uus ühendusgalerii, mille sisse paigaldati samas ka Kone kaldteed. Kogu konstruktsioon (pikkus 31m, laius 4m, kõrgus 5,5m ning mass 36t) viidi ühes tükis ülegabariidilise veosena sadamasse, kus monteeriti kahe suure kraana abil paika.

Tootmistehnikast on olemas plasma- ja gaasilõikepink, lintsaed, erineva suurusega puur-, trei- ja freespingid, milledest üks on ka arvjuhitav. Lisaks tavapärastele pinkidele on olemas veel ka haruldasemaid nagu hambalõikepink, tõukepink, tasalihvpink ja faasimismasinad. Territooriumil on kasutada ka painutuspink ja giljotiin. Samuti on olemas tänapäevasel ja kõrgel tasemel MIG/MAG ning TIG keevitusaparaadid nii terase kui ka alumiiniumi keevitamiseks. Alumiiniumi keevitamiseks on välja ehitatud täiesti omaette osakond, koos kõige vajalikuga. Keevitusaparaatidest on enamik Froniuse firma toodang, mis on keevitajate seas kõrgelt hinnatud. Viimane suur investeering tõi ettevõttesse ka Eesti suurima horisontaalse freesimis- ja puurimiskeskuse TOS Varnsdorf WRD150Q, mis viib mehaanilise töötlemise võimalused uuele tasemele. Käesoleva töö kirjutamise ajal on parasjagu käimas pingi tehnoloogiline koolitus, kus juhendajaks on Tsehhi tehasest tulnud spetsialist.

2. TUUBUSTEST ÜLDISELT

Oma konstruktsioonilt jagunevad tuubused üldiselt kaheks. Ühed töötavad teleskoobi põhimõttel, teised on trapiga. Teleskoobi puhul koosneb tuubus kahest metallkarkassist, valmistatud tavaliselt terasest, mis liiguvad üksteise sees (vt sele 2). Liigutatakse neid enamasti hüdraulikaga. Sisse-välja liikumine võib olla lahendatud ka hammaslatil põhineva süsteemiga. Selline tüüp on ligikaudsetes riikides, eriti Skandinaaviamaades, valdav. Tavaline tööpõhimõte on selline, et tuubus ühendatakse, kasutades tõstesilindreid ning pikkuse muutmist, laevaga. Seejärel lülitatakse silindrid ujuvasse asendisse nii, et tuubus annab koos laevaga tõusma ja langema. Pärast jälle tõstetakse silindrite abil konstruktsioon laeva küljest lahti ning viiakse koduasendisse.



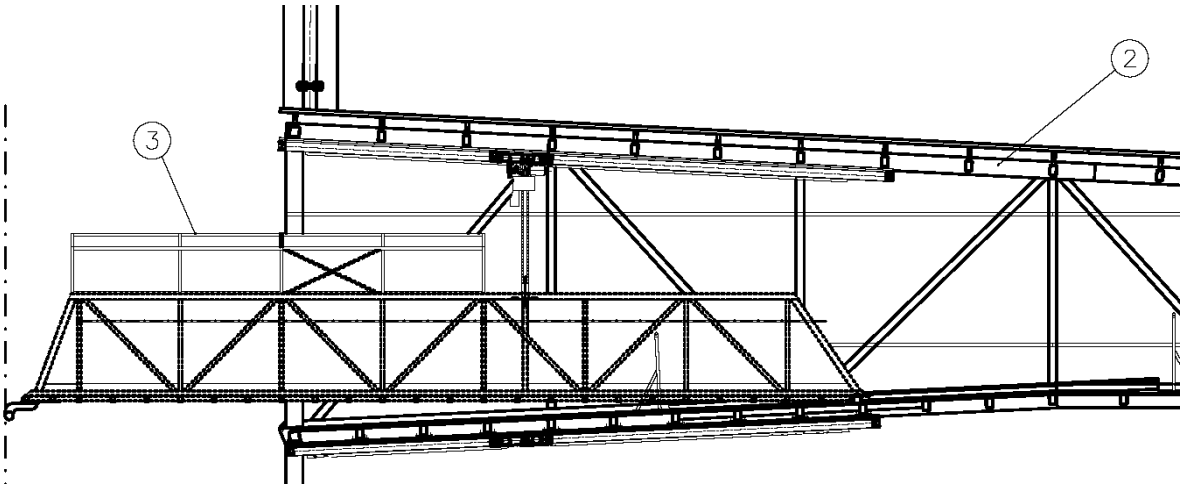
Sele 2. Teleskoopsüsteemiga tuubus

Kuna teleskoopsüsteemil põhinev tuubus on oma loomu poolest juba küllaltki jäik, siis on ta ka kõige ohutum. Kui laev peaks ootamatult kai äärest ära liikuma, tõmmates endaga tuubust kaasa, lülitatakse välja silindrite ujuv asend ning tõstetakse konstruktsioon laeva küljest lahti. Sellist toimingut nimetatakse hädatõsteks. Kui süsteem toimib korralikult ning piisavalt kiirelt, on tekkivad kahjud minimaalsed ja oht inimelule väike. Samas on tõstmiseks vaja kõigepealt sisse lülitada

hüdraulika pump. Tavaliselt aga, kui laev eemaldub kaist sildamisotste purunemise tõttu, toimub see nii kiiresti, et automaatika ei jõua reageerida ning tõstet sooritada. Selleks puhuks on tuubuste laevakinnitus projekteeritud selliselt, et ülekoormuse korral puruneb seal pingekontsentraatoriga polt ning konstruktsioon pääseb laeva küljest lahti. Samal hetkel lukustatakse silindrite ujuvasend ning tuubus jääb oma endisele kohale seisma ega kuku alla. Tänu sellele on ka oht tuubuses viibivatele inimestele väike.

Teisest küljest aga, kuna meri on alatises liikumises, siis kõiguvad ka laevad väga kaootiliselt ning erinevates suundades. Teleskooptuubus on aga jäik ning tänu oma suurele massile ja hüdraulikale, on ka tema vastupanu liikumisele suurem. Seega ei anna selline tuubus laeva kõikumisi päris vabalt kaasa tegema. Ta on võimeline küll üles-alla ja sisse-välja liikumist kaasa tegema, aga külgsuunalist mitte. Seetõttu kipuvad sellised tuubused kogu konstruktsiooni lõhkuma ning mehaaniliste vigastuste tekkimise oht on suur. Samuti on hädatõste süsteemi korralikult tööle saamine tihtipeale problemaatiline. Automaatika ei toimi neis olukordades alati päris korralikult, kippudes vahel ilma põhjuseta häiret andma ning tuubust laeva küljest lahti tõstma. Samas kui hädatõste süsteem ei toimi ning ei ole ka projekteeritud purunevat laevakinnitust või muud kaitsemehhanismi, võib juhtuda, et terve tuubus tõmmatakse pikali. See aga on väga ohtlik läheduses viibivatele inimestele.

Trapiga variandi puhul on välimise, suurema, karkassi sees kerge reisijate sild, mida tõstetakse kettidega (vt sele 3). Välimist raami aga hüdraulika või kruvisüsteemiga. Kerguse mõttes



Sele 3. Trapiga tuubuse läbilõige: *2 – Ramp, 3 – Trapp*

valmistatakse trapp tavalselt alumiiniumist. Välimine karkass, mida nimetatakse ka rambiks, aga, hinna madalal hoidmiseks, terasest. Selline lahendus on kõige levinum Tallinna sadamas ning vähemal määral kasutusel ka naaberriikides.

Laevaga ühendamiseks liigutatakse kõigepealt silindrite või kruviajami abil välimine karkass enam-vähem õigele kõrgusele. Seejärel tõstetakse trapp laeva külge. Selleks omakorda on mitu võimalust. Kõige levinum ja lihtsam on variant, kus trappi tõstetakse väikeste telfritega, mis on kinnitatud lae all liikuva kelgu külge. Kelk omakorda liigub mööda hammaslatti ning selle abil liigutatakse silda sisse-välja. Peale ühendamist lastakse ketid alla rippu, võimaldamaks trapi vaba üles-alla liikumist. Seetõttu on reisijatesild, laeva küljes olles, ülejäänud konstruktsiooniga ühendatud ainult tema tagaosas asuvate rataste kaudu ja on seega väga liikuv ning teeb probleemideta kaasa laeva erisuunalised kõikumised.

Samas on selline süsteem ohtlik, kuna kui laev peaks otste purunemise tõttu kai äärest ära liikuma, tõmbab ta trapi kaasa. Sel juhul peab lõpuks kuskilt midagi järgi andma ning selleks on mitu võimalust. Tavaliselt tahetakse, et puruneks kõigepealt laevakinnitus. Sel juhul pääseb tuubus laeva küljest lahti ning teda ei lõhuta rohkem ära. Laevakinnituse purunemine on aga väike kahju ning enamasti lihtsasti parandatav. Siiski kuna ketid on lõdvaks lastud, tähendab see seda, et trapp kukub alla või jääb suure nurga all rippuma. Teine võimalus on, et purunevad ketid ja piirajad, mis reisijate silda tuubuse sees hoiavad. Sel juhul tõmmatakse trapp ülejäänud konstruktsiooni seest välja ja ta kukub merre või kaile. Tekkiv kahju on tõenäoliselt oluliselt suurem, kui esimese variandi puhul. Kolmas variant on, et terve tuubus tõmmatakse pikali. Sel puhul on kahjud kõige suuremad, kuna hävineb terve tuubus ja võimalik, et ka osa galeriist. Inimeste eludele kujutavad suurt ohtu kõik eelmainitud variandid, kusjuures on viimase variandi puhul ohus kõige suurem arv inimesi.

Seniste trapiga tuubuste puhul ei ole võimalik kasutada ka hädatõste süsteemi, kuna ketid, millega silda tõstetakse, on enamasti liiga lõdvaks lastud. Samuti ei ole telfritel põhinev tõstesüsteem piisavalt töökindel, et hädaolukorras kiirelt toimida. Kasutatavad ketid kipuvad kinni kiiluma ning vajavad seetõttu pidevat inimese juuresolekut ja abistamist tõstmise ajal.

Siiski, tänu oma väiksele massile ja seega ka väiksele inertsile ning suurele liikumisvabadusele, teeb trapp vabalt kaasa laeva erisuunalised liikumised, avaldamata suuremat koormust ülejäänud konstruktsioonile. Samuti on vajaliku automaatika osakaal minimaalne, juhtimine käib peamiselt

käsitsi. Turvalisust suurendab siiski mingil määral ka asjaolu, et kuna trapi osad ei ole ette nähtud purunema, siis ei toimu see ootamatult ning kiirelt. Enne kui midagi järgi annab, eelnevad tavaliselt suured deformatsioonid ning kõva ragin. Toimuv on aga hoiatuseks lähedal viibivatele inimestele, andes neile aega ohupiirkonnast eemaldumiseks. Kogu see lihtsus ja töökindlus on ka selletüübiliste tuubuste eelistamise põhjuseks Tallinna sadamas.

3. TEHNILINE OSA

2.1 Tehnilise lahenduse valik

Tallinna sadam nägi oma hanke tehnilistes tingimustes küllaltki täpselt ette, milline peab tuubuse uus osa olema. Neist tulenevalt peab see olema telfritega tõstetaval trapil põhinev süsteem, hoolimata sellise lahenduse puudustest. Turvalisuse tõstmiseks on töö autoril siiski kindel soov lisada hädatõste võimalus ning pidurisüsteem trapi purunemise ja allakukkumise vältimiseks. See tähendab, et uus tuubuse osa peab sarnanema olemasolevatele lahendustele trapi olemasolus, aga erinema tõstesüsteemi osas. Trapi kasutamine tähendab, et kõige mõistlikum on selle liigutamiseks kasutada kelku, mille külge omakorda kinnitub tõstesüsteem. Kelk sõidab välimise karkassi sees mööda juhtsiine. Liigutamine toimub hammasrataste abil, mis ise liiguvad mööda hammaslatti. Ajamiks on kahepoolse väljundvõlliga reduktormootor. Sarnane lahendus on kasutusel Tallinna sadama 5ndal kail.

Trapp ise saab olema alumiiniumist, et saavutada võimalikult väike mass. Lähtudes sadama nõuetest, peab see olema kaetud plastikust katusega. Silla otsa on ette nähtud täispuhutav sadekate, et sulgeda avaused, mis jäävad katuse serva, külgede ja laeva vahele. Trapi küljed kaetakse alumiiniumist tõmmatud võrguga, vältimaks inimeste või esemete alla kukkumist. Tagumises otsas saab olema telg, millele kinnituvad rattad, mis omakorda liiguvad mööda juhikuid. Tõstmine hakkab toimuma kusagilt trapi keskkoha lähedalt. Silla käidava osa laius peab tehniliste tingimuste järgi olema vähemalt 2000mm.

Eelnevalt lähtudes peab välimine karkass olema piisavalt tugev ning omama sees juhtsiine nii kelgu kui ka trapi jaoks. Samuti peab siseruumi kõrgus olema piisav, et mahutada ära kelk ning võimaldamaks trapi tõstmist ja vaba kõikumist piisavas ulatuses. Ehituslikult saab see olema metallkarkass, mis kaetakse profiilplekiga. Kummaski seinas on ka üks aken. Kuna ruum on nagunii merepoolsest otsast lahtine, siis ei ole tähtis seinte ja lae soojapidavus. Seega piisab nende juures ainult profiilpleki kasutamisest, soojustust vaja ei ole. Suurimad piirangud seab

konstruktsioonile vana tuubuse olemasolev raam, mille külge uus kinnitatakse. Vana raami postidevaheline kaugus on 3200mm, mis tähendab, et uue karkass ei saa olla laiem kui 3000mm, kuna sellele lisandub veel ka profiilpleki paksus, mis olenevalt tüübist on ~40-50mm. Seega oleks lõplik uue sektsiooni laius mitte rohkem kui 3100mm. Kõrgusele olemasolev raam piiranguid ei sea, küll aga on piiratud allapoole liikumine. Sadama tahtmine jällegi oli, et alumine piirasend viidaks praegusest veel ~1m jagu allapoole. Kuna all jääb üks vana raami nelikanttoru ette, siis selle eesmärgi saavutamiseks tehakse ka tuubuse ja trapi põrandad võimalikult õhukesed.

Tuubuse tõstmiseks kasutatavad silindrid tuleb, liikumisulatuse suurendamiseks, välja vahetada. Uued silindrid on võimalik paigaldada vanade kinnituskohtadele. Samuti tuleb ümber teha juhtsüsteem, kuna uue lahenduse puhul ei ole võimalik ega ka vajalik kasutada ujuvasendit.

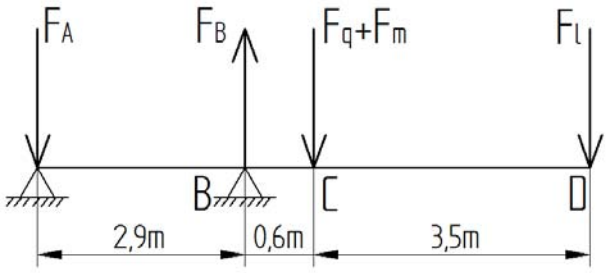
2.2 Trapi konstruktsioon

Trapi pikkuse määrab laeva teendindamise kaugus. Sadama soov oli, et tuubuse tööulatus oleks vähemalt 2m üle vendriliini, võimaldamaks talvisel ajal, rasketes jääoludes, teenindada laeva ka siis, kui too päris kai äärde ei pääse, vaid eemale jääb. See tähendab, et nii trapp, kui ka seda hoidev tuubuse karkass peavad mõlemad olema piisavalt pikad. Samas ei saa nad olla liiga pikad, kuna tuubus peab vendriliinist vähemalt 1,2m kai poole jääma, parem on 1,5m, et laev külgkalde korral või oma väljaulatuvate osadega selle pihta ei läheks. Trapp jällegi omakorda peab täielikult tuubuse sisse mahtuma. Seega määravad alumiiniumsilla pikkuse välimise karkassi mõõtmed, mille omakorda paneb paika vana raami ja vendriliini vahele jääv ruum.

Mingil määral on maksimaalne ulatus muudetav ka trapi tõstekettide kinnituskoha paigutamisega. Mida lähemal see on silla tagumisele otsale, seda kaugemale annab esimene ots minema, enne kui kelk juhtsiinide lõppu jõuab. Samas seda suuremad on ka tekkivad momendid ning mõjuvad jõud. Mõjuvate jõudude poolest oleks kõige parem trappi tõsta esimesest otsast, see aga on võimatu, kuna nii ei ulatukski reisijatesild tuubusest välja. Optimaalne on tõstmine keskkoha lähedalt. Antud juhul sellest aga ei piisaks ja nii tuleb tõstekoht tagumisele otsale lähemale tuua. Kui silla kogupikkus saab olla kuni 7000mm, siis tõstekoht tuleb paigutada 2900mm kaugusele tagumises otsas olevate rataste teljest. Need samad rattad hakkavad liikuma mööda rambi sees olevaid juhikuid. Trapi esimese otsa allakülge tuleb panna laevakinnitus, mis võtab kinni laeva ukse juures olevast poomist, fikseerides silla õiges kohas.

Lähtudes sadama poolt korraldatud hanke tingimustest, kaetakse trapp ka plastikust katusega. Katuse toestamiseks tuleb silla enda sõrestiku peale ehitada veel teine, kergem sõrestik, mille külge kinnituvad plastikust paneelid. Kogu karkass saab olema merealumiiniumist AW6063 T6 või AW6082 T6. Esimese otsa külge tuleb paigaldada ka täispuhutav sadekate ning flantsid selle hoidmiseks. Tagumisse otsa peab kinnituma liikuv luuk, mis silub trapi ja tuubuste põrandate vahele tekkiva astme. Liikuv peab ta olema seepärast, et trapi nurk tuubuse suhtes on pidevalt muutuv. Põrandaks saab olema alumiiniumist 5mm paksune rihvelplekk, mis keevitatakse sõrestiku külge. Nii annab see kogu karkassile suurema jäikuse. Küljed kaetakse tõmmatud alumiiniumvõrguga.

Karkassi täpsemate mõõtmete ning kasutatavate profiilide määramiseks tuleb teostada tugevusarvutused. Selleks omakorda on kõigepealt vaja koostada mõjuvate jõudude skeem (vt sele 4). Trapile mõjuvaid jõude on 3: kasuskoormus F_q [kN], omakaal F_m [kN] ja laevakinnituse mass F_l [kN]. Teised jõud ei ole määrava tähtsusega ja need võib arvestamata jätta. Tekkivaid toereaktsioone on aga 2: trapi rataste juures F_A [kN] ning tõstekohas F_B [kN]. Kasuskoormus leitakse vastavalt pindalale ning ehitise tüübile. Standardi EVS-EN 1991-1-1:2002 järgi on tuubuse hooneklass C5 ehk kohad, kus rahvas võib koguneda (käiguteed, terrassid, ooteplatvormid jms), mille puhul on kasuskoormuseks ettenähtud 5kN/m^2 ja lumekoormuseks 0,75kN/m^2 [1: 44][2:40]. Trapi puhul siiski ei ole vaja lumekoormust arvestada, kuna selle katusele lund suurel hulgal ei kogune.



Sele 4. Trapi jõudude skeem

Arvutustes võetakse trapi pikkus, nagu eelnevalt mainitud, 7000mm. Laius, vastavalt ette nähtud tehnilistele tingimustele, 2000mm. Jaotatud koormused asendadakse silla keskele mõjuvate jõududega. Neist tulenevalt leitakse koondatud kasuskoormuse F_q [kN] suurus: $F_q = 7{,}0 \cdot 2{,}0 \cdot 5{,}0 = 70kN$, kus pikkusühikud on meetrites, kuna ka jaotatud kasuskoormuse suurus

on antud m^2 kohta. Trapi enda massiks võib ettevõtte kogemustele tuginedes sellise pikkuse juures võtta ~800kg ning laevakinnituse omaks ~100kg. Seega on vastavad jõud $F_m = 8kN$ ja $F_l = 1kN$. Kuna F_q ja F_m mõjuvad ühes kohas ning suunas, võib need asendada ühe jõuga: $F_{qm} = F_q + F_m = 70 + 8 = 78kN$. Nende andmete põhjal saab koostada momendivõrrandid ning leida vastavad toereaktsioonid:

$$M_A = -F_B \cdot 2{,}9 + F_{qm} \cdot 3{,}5 + F_l \cdot 7 = 0 \text{, millest} \tag{1}$$

$$F_B = \frac{F_{qm} \cdot 3{,}5 + F_l \cdot 7}{2{,}9} = \frac{78 \cdot 3{,}5 + 1 \cdot 7}{2{,}9} = 96{,}6kN \tag{2}$$

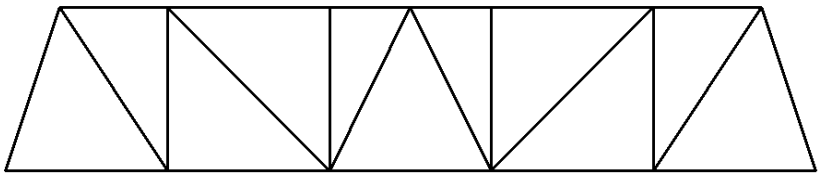
$$M_B = -F_A \cdot 2{,}9 + F_{qm} \cdot 0{,}6 + F_l \cdot 4{,}1 = 0 \text{, millest} \tag{3}$$

$$F_A = \frac{F_{qm} \cdot 0{,}6 + F_l \cdot 4{,}1}{2{,}9} = \frac{78 \cdot 0{,}6 + 1 \cdot 4{,}1}{2{,}9} = 17{,}6kN \tag{4}$$

Kontroll: $\Sigma V = -F_A + F_B - F_{qm} - F_l = -17{,}6 + 96{,}6 - 78 - 1 = 0$

Trapi karkass hakkab koosnema kahest paralleelsest küljest, mis omakorda kujutavad endast tasapinnalisi post-diagonaalvõrguga paralleelvöödega sõrestikke (vt sele 5). Küljed on omavahel alumisest servast seotud põiksidemetega, millest moodustub põranda kandevkonstruktsioon. Selle peale kinnitub alumiiniumist rihvelplekk, mis on trapi põrandaks. Sõrestiku diagonaalid võivad toepunktide suhtes olla, kas tõusvad või langevad. Esimese puhul töötavad need survele ja teisel juhul tõmbele, vahepeal olevad postid aga vastavalt vastupidi, tõusvate diagonaalide puhul tõmbele ning langevate puhul survele. Levinum on langevate diagonaalidega variant, kus postid töötavad survele ning nendevahelised diagonaalid tõmbele.

Tugipunktid on arvestatud otstesse, kuna tavatingimustes on sild koormatud olukorras, kus tagumine ots toetub tuubuse raamile ning esimene ots laevale. Tõstekoha tarvis on trapi keskosa lähedal ühes paneelis ühe pika diagonaali asemel kaks lühemat, mis kinnituvad vöö selle lõigu keskele, mitte nurka nagu teised (vt sele 5). See tagab parema koormuste jaotumise tõstmisel.

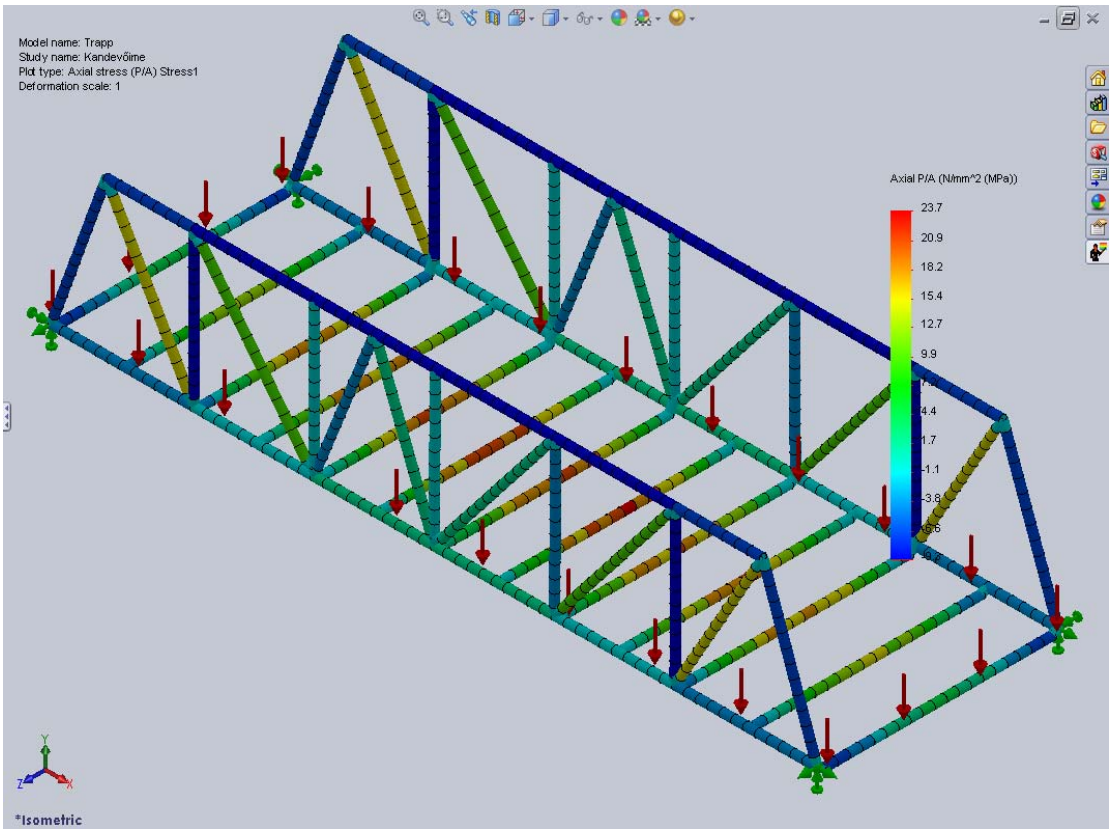


Sele 5. Trapi külje paralleelvöödega sõrestik

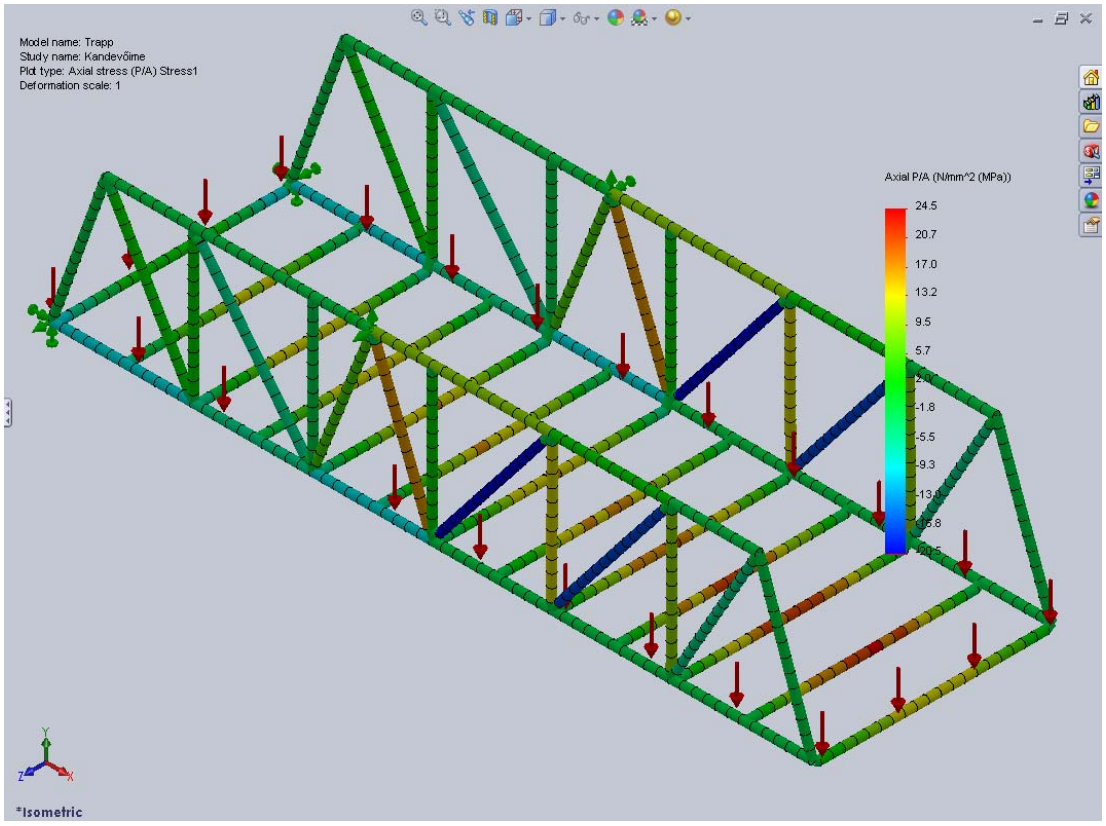
Sõrestiku moodustavate varraste vajalike mõõtmete leidmiseks on vaja teada varraste sisejõudusid. Paraku on aga sõlmede eraldamise ja momendipunktide võtte kasutamiseks antud konstruktsioon ebasümmeetriline ning keerukas [3: 73]. Seega tuleb kasutada arvutisimulatsiooni abi. Lähtudes kasutatavate materjalide EN AW 6063 T6 ja EN AW 6082 T6 voolavuspiiridest kuni 5mm paksuse materjali puhul, erinevatel andmetel vastavalt 170-215MPa ja 250-310MPa, ning jättes piisava varuteguri, on eesmärk, et pinged karkassis ei ületaks 50MPa piiri [4][5: 547][6][7: 3-45].

Erinevate profiilidega katsetades selgus, et vööd on kõige parem teha nelikanttorust (RHS) 150x100x5 ning sidemed nelikanttorust 80x80x4. Põranda põiksidemeteks sobib samuti RHS80x80x4. Samas, et tagada ühtlasemat kandevõimet ning vältida põranda vetrumist, on kasulikum panna need torud tihedamalt, mistõttu võivad nad ka väiksemad olla. Seega põiksidemeteks sobib RHS80x40x4, mille vastupanumoment W_x on, hoolimata poole väiksemast laiusest, ainult 40% väiksem [8: 7, 10]. Nende profiilide kasutamisel ei ületa pinged varrastes ja vöödes 30MPa'd. Simulatsioonid on tehtud nii tavalise tööasendi kohta, kui trapp on otstest toetatud, kui ka tõstmise kohta, kui tugipunktid on tagumises otsas ning tõstekohas. Viimane on vajalik hädaolukorraks, kui laev peaks ootamatult kai äärest ära liikuma ning koormatud trapp jääb kandma tõstekettidele. Simulatsioonide tulemused on näha seledel 6 ja 7.

Trapi liigutamiseks tuubuse sees on vajalik, et sel oleks tagumises otsas rattad või rullikud. Kuna alumiinium ei ole samaväärsete tugevusomadustega kui on teras ning torude seinapaksuseks on maksimaalselt 5mm, siis tuleb kindluse mõttes trapi rattad panna ühele teljele. Vastasel juhul võib juhtuda, et koormuse all murduvad rattaid hoidvad võllid karkassi küljest lahti. Lisaks, kuna rataste võll läheb läbi küljetoru, on tõenäoliselt vaja sinna peale keevitada tugevdusplaadid, vältimaks toru seina muljumist. Nõutava võlli vastupanumomendi ning sellest tulenevalt läbimõõdu leidmiseks tuleb kõigepealt jällegi koostada jõudude skeem ning ehitada momentide epüür, kasutades selleks üldist momendi valemit $M = F \cdot l$, kus l on õlapikkus. Lihtsustatult võib võtta, et võllil on 2 tugipunkti, üks kummagi toru juures. Mõjuvad jõud on otstes, kuhu kinnituvad rattad, mis toetuvad



Sele 6. Trapi kandevõime laeva külge ühendatuna



Sele 7. Pinged karkassis koormatud trapi tõstmisel

juhtsiinidele. Võlli läbimõõt tuleb leida paindemomentide järgi, kuna rattad ei ole vedavad ja seega võllile mingit väändemomenti ei mõju. Arvestades, et tagumisele otsale langeb trapi koormusest (78kN) pool, tuleb arvutustes kasutatav F = 78/2 = 39kN. Kuna jõudude skeem on sümmeetriline on ka tekkivad toereaktsioonid F_B ja F_C võrdsed kummalegi rattale langeva jõuga ehk $F/2 = F_B = F_C =$ 19,5kN.

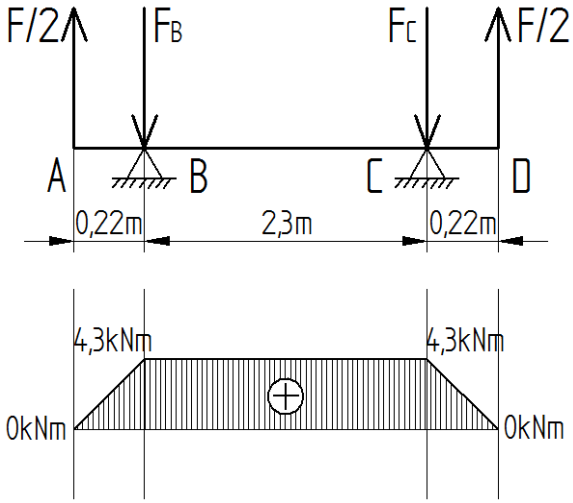
Paindemomendid iseloomulikes punktides:

$$M_A = 0kN \cdot m,$$

$$M_B = \frac{F}{2} \cdot 0{,}22 = \frac{39}{2} \cdot 0{,}22 = 4{,}3kN \cdot m, \quad M_C = \frac{F}{2} \cdot 2{,}52 - F_B \cdot 2{,}3 = \frac{39}{2} \cdot 2{,}52 - 19{,}5 \cdot 2{,}3 = 4{,}3kN \cdot m,$$

$$M_D = \frac{F}{2} \cdot 2{,}74 - F_B \cdot 2{,}52 - F_C \cdot 0{,}22 = \frac{39}{2} \cdot 2{,}74 - 19{,}5 \cdot 2{,}52 - 19{,}5 \cdot 0{,}22 = 0kN \cdot m$$

Tulemuste järgi ehitatud paindemomentide epüür on näha koos jõudude skeemiga selel 8.



Sele 8. Trapi rataste võlli jõudude paiknemise skeem ja paidemomentide epüür

Paindemomentide epüürilt leitava maksimaalse momendi järgi saab määrada vajaliku võlli vastupanumomendi, kasutades selleks paindepinge valemist avaldatud valemit:

$$\sigma = \frac{M}{W} \Rightarrow W = \frac{M}{\sigma}, \qquad (5)\ [9: 203]$$

kus σ – paindepinge MPa;

M – paindemoment Nm;

W – ristlõike vastupanumoment mm^3.

Edasi, teades vastupanumomendi W [mm^3], valemit ringikujulise ristlõike puhul:

$$W = \frac{\pi d^3}{32}, \qquad (6)\ [9: 204]$$

kus W – võlli ristlõike vastupanumoment mm^3;

d – võlli läbimõõt mm,

saab valemis (5) asendada vastupanumomendi W, valemiga (6) ning avaldada võlli läbimõõdu d:

$$\frac{M}{\sigma} = \frac{\pi d^3}{32} \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{M \cdot 32}{\pi \cdot \sigma}} \qquad (7)$$

Kui kasutada trapi rataste võlli valmistamiseks terast 1.4401, mille arvutustes kasutatav voolavuspiir on 173MPa (tegelik 220MPa) [10: 5], tuleb võlli läbimõõt valemi (7) abil:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4300 \cdot 10^3 \cdot 32}{\pi \cdot 173}} = 63{,}3mm \approx 64mm$$

64mm on aga liiga jäme, materjalimahukas ja seega ka kallis võll. Läbimõõdu vähendamiseks on antud juhul kõige parem lahendus lühendada toe ja ratta vahelist vahemaad, et jõu õlg oleks väiksem. Selleks tehakse trapi külgedele terasest lisatoed, mis ühtlasi täidavad ka telje kinnitamise ülesannet. Selliste tugede lisamisel väheneb võlli vaba osa pikkus 160mm võrra, 220mm'lt 60mm'le. Uue õlapikkuse juures tuleb maksimaalne paindemoment, vastavalt selel 8 olevale skeemile:

$$M_B = \frac{F}{2} \cdot 0{,}06 = \frac{39}{2} \cdot 0{,}06 = 1{,}17kN \cdot m,$$

ning nõutav võlli läbimõõt, kasutades valemit (7):

$$d = \sqrt[3]{\frac{1170 \cdot 10^3 \cdot 32}{\pi \cdot 173}} = 41mm$$

See on juba tunduvalt mõistlikum tulemus. Peenemaks ei saagi võlli enam teha, kuna siis ei leia selle otsa sobivaid piisava kandevõimega laagreid. Nagu eelnevatest arvutustest selgus, langeb ühele trapi otsale 39kN ning ühele rattale seega 39/2=19,5kN. Ratta sees kasutatakse kahte ühesuurust kuullaagrit. Ühe kuullaagri kandevõime peab seega olema vähemalt 19,5/2=9,75kN. Nendeks laagriteks sobivad DIN 625 6009 tüüpi laagrid, mille staatiline kandevõime on 14,6kN [11: 336]. Nende siseläbimõõt on 45mm. Arvutuste järgi võiks kasutada ka numbri võrra väiksemaid ja nõrgemaid laagreid, kuna aga nende siseläbimõõt on 40mm, mida on liiga vähe, siis ei ole see võimalik. Tuubuse hoolduse mahu vähendamiseks ning konstruktsiooni lihtsustamiseks, on kõik laagrid kinnised. See väldib tolmu ja mustuse sattumise laagrite sisemusse ning ka määrimine ei ole vajalik.

Lähtudes kasutatavate laagrite siseläbimõõdust, tuleb ka võlli läbimõõt 45mm. Rattalaagrite toetamiseks on vajalik astme olemasolu võllil. SKF'i tootekataloogi järgi peab 6009 laagri puhul astme läbimõõt olema vähemalt 50,8mm, et jällegi jätta väike varu, saab selleks olema 52mm, mis kujuneb ka võlli lõplikuks läbimõõduks.

Terves 2770mm pikkuses täismaterjalist kallist roostevabast terasest võll ei ole samas väga otstarbekas. Seepärast tehaksegi terasest 1.4401 ainult otsad, tugipunktidest sissepoole jääv osa, aga tunduvalt odavamast terasest S355, mis hiljem värvitakse, kaitsmaks seda korrosiooni eest. Toru kasutamine on põhjendatud ka sellega, et sama ristlõikepindalaga õõnsa profiili vastupanumoment on suurem, kui seda on täismaterjalil. Lähtudes terase S355 voolavuspiirist, mis on 355MPa ning võttes varuteguriks 3, peaks valitava toru kasutamisel pinged jääma σ=355/3=118MPa piiresse. Antud juhul on järelikult vaja toru, mille vastupanumoment oleks vähemalt, valemi (5) järgi:

$$W = \frac{M}{\sigma} = \frac{1170000}{118} = 9915mm^3$$

Selleks sobivad ettevõtte laost kaks toru, millede vastupanumomendid on järgmised:

$$\text{D=51x12,5mm: } W = \frac{\pi D^3}{32} - \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 51^3}{32} - \frac{\pi \cdot 26^3}{32} = 11297mm^3$$

$$\text{D=57x6mm: } W = \frac{\pi D^3}{32} - \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 57^3}{32} - \frac{\pi \cdot 45^3}{32} = 9235mm^3$$

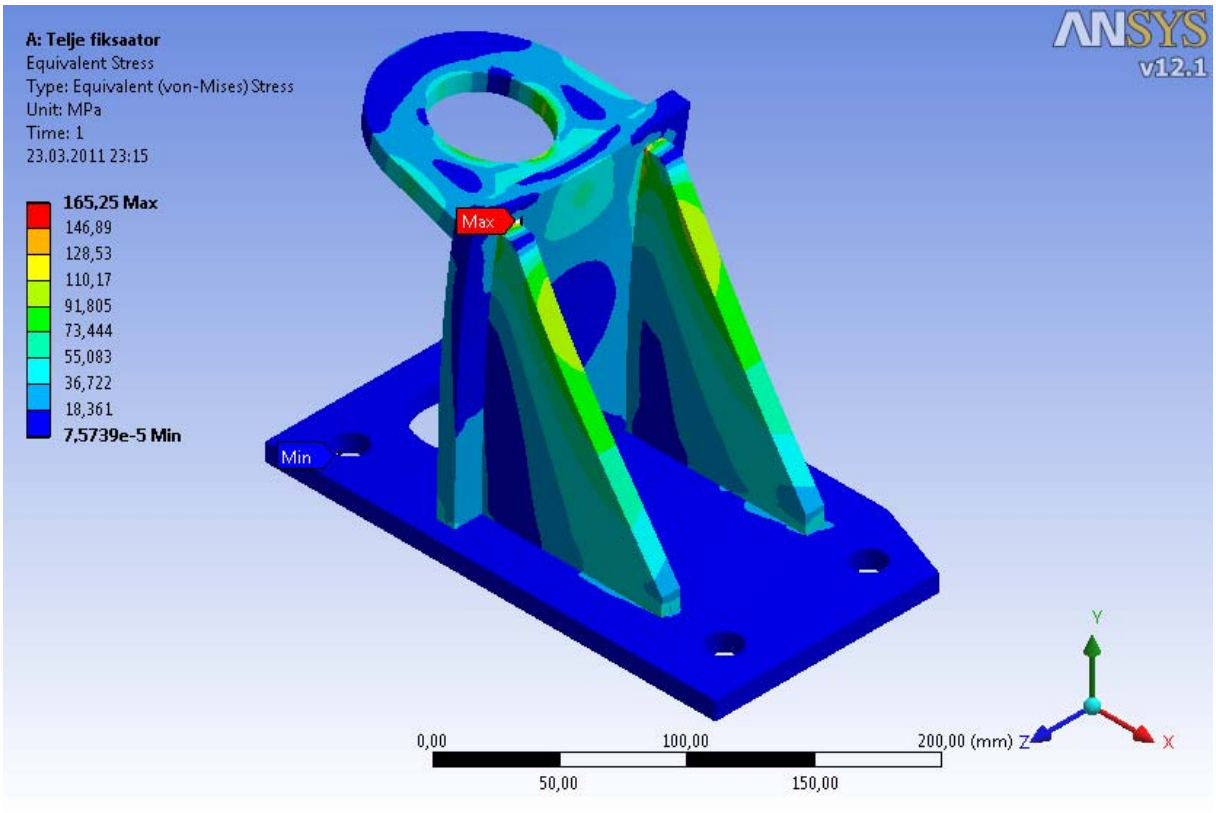
Toru D=57x6mm vastupanumoment jääb küll nõutavast natuke väiksemaks, samas aga sobib see paremini võlliga, kuna tema siseläbimõõt on 45mm. Kontrollimaks, kas on võimalik valitud toru kasutada, tuleb leida paindepinged, mis selle kasutamisel tekkida võivad, valemi (5) järgi:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{1170000}{9235} = 127MPa$$

Saadud 127MPa vähendab küll varutegurit 3 pealt 355/127=2,8 peale, aga kuna voolavuspiir on endiselt kaugel, siis on võimalik seda toru kasutada. Pealegi on vähetõenäoline, et trapp üldse sellise koormuse alla satub, nagu standardis ette nähtud 5kN/m^2. See võll ei ole ka kuskil kriitiliselt tähtsas kohas. Tema purunemisel või deformeerumisel vajub trapi ots lihtsalt vastu tuubuse põrandat. Ohtu ülejäänud konstruktsioonile või inimeste tervisele ei teki. Seega, nagu eelnevalt mainitud, saab kasutada telje keskkosa valmistamiseks toru D=57x6mm.

Telje fiksaatorid keevitatakse kokku lehtmetallist ning kinnitatakse poltidega trapi karkassi külge. Kusjuures kinnituskoha alla, keevitatakse silla torude peale 10mm alumiiniumist tugevdusplaat. Kuna tegu on jällegi küllaltki keeruka konstruktsiooniga, siis kasutatakse tugevusarvutuste tegemiseks arvutisimulatsiooni. Erinevate variantide läbi kalkuleerimisel osutus kõige otstarbekamaks 10mm terasplaatidest keevitatud tugi. Lõplik kuju ja selle analüüsi tulemus on näha selel 9. Kui trapp on kooramtud kasuskoormusega ning oma massiga, siis jäävad pinged enamjaolt alla 110MPa, ainult mõnes väikses punktis kerkivad need arvutuste kohaselt 165MPa'ni. Seda eelkõige teravate nurkade juures, mis nagunii keevisõmbluse alla lähevad. Seega ei ole selline pingete konstentratsioon antud juhul ohtlik. Trapi tõstmisel, kui vastavalt valemi (4) järgi saadud tulemusele langeb telje tugedele 17,6kN suurune tõmme, jäävad pinged 57MPa sisse, mis on veelgi ohutum ja parem tulemus.

Kuna telje fiksaator kinnitatakse trapi külge poltidega, siis on vajalik teostada arvutused nende läbimõõdu määramiseks. Arvestades poltide paiknemist tugitallas (vt sele 9), töötavad nad enamjaolt lõikele. Ainult alumistele poltidele võib rakenduda ka tõmme ning sedagi vaid vähesel määral, kuna võll toetub ka tugitalla vastu, milles asuvadki poldid. Seega on poltide läbimõõdu leidmiseks vaja teostada nende arvutus lõikele ning ka avade servade vastupanu muljumisele.



Sele 9. Trapi telje fiksaator koormatuna

Poltide lõikekandevõime EVS-EN 1993-1-8 Eurokoodeks 3 järgi leitakse valemiga:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}, \qquad (8)\ [12: 32]$$

kus $F_{v,Rd}$ – Poldi lõikekandevõime kN;

$\alpha_v = 0{,}6$ – tegur, mis näitab, kas lõiketasapind on keermestatud osas või mitte;

f_{ub} – poldi tõmbetugevus MPa;

A – Poldi ristlõikepindala mm^2;

$\gamma_{M2} = 1{,}25$ – poldi materjali osavarutegur.

Kuna sadama mereäärses keskkonnas on oht korrosiooni tekkeks väga suur, kasutatakse tuubuse juures ainult roostevabast terasest happekindlaid A4 polte. Nende tugevus on võrdne tavaliste poltide tugevusklassiga 10.9, seega arvutustes kasutatav tõmbetugevus on neil 1000MPa [12: 25].

Ühte fiksaatorit hoiab 5 polti, seega valemi (8) järgi tuleb summaarne lõikekandevõime M12 poltide puhul:

$$F_{v,Rd} = 5 \cdot \frac{0{,}6 \cdot 1000 \cdot \pi \cdot 12^2}{1{,}25 \cdot 4} = 271{,}4kN$$

See on aga enam kui piisav. Järgmiseks tuleb leida avade servade muljumiskandevõime:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}, \qquad (9)\ [12: 32]$$

kus $k_1 = \frac{2{,}8 \cdot e_2}{d_0} - 1{,}7 = \frac{2{,}8 \cdot 30}{13} - 1{,}7 = 4{,}76$ või 2,5, olenevalt kumb on väiksem

$\alpha_b = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{25}{3 \cdot 13} = 0{,}64$ või $\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{1000}{170} = 5{,}9$ või 1,0, olenevalt milline on väikseim

f_u – materjali tõmbetugevus MPa;

d – poldi läbimõõt;

t – plaadi paksus.

Seega alumiiniumist 5mm toru ja 10mm tugevdusplaadi avade summaarne muljumiskandevõime, võttes ohutuse mõttes lubatavaks pingeks 50MPa, on:

$$F_{b,Rd} = 5 \cdot \frac{2{,}5 \cdot 0{,}64 \cdot 50 \cdot 12 \cdot 15}{1{,}25} = 57{,}6kN$$

Järelikult on trapi telje kinnituspoltide ja nende avade tugevustingimused täidetud. Lisaks veel on täidetud ka soovituslik tingimus, kus poltide summaarne lõikekandevõime on suurem kui avade muljumiskandevõime (valemi (9) järgi 170MPa puhul 196kN). See tagab kandepiirseisundi saabumisel koormuse ühtlase jagunemise poltide vahel ja väldib liite ülekoormamise korral ootamatut habrast purunemist. [13: 57]

Poltidega kinnitamine võimaldab ka rataste telge trapi küljest ära võtta. Järelikult on vajadusel rataste laagrite vahetamine lihtsam. Vastasel juhul, kui telg ei oleks trapist eraldatav, tähendaks see

seda, et nimetatud reisijatesild tuleb tuubuse seest välja tõsta. See aga omakorda tähendab, et tuleb kasutada ujuvkraanat või suurt autokraanat, mille töötunni maksumus on kõrge. Lisaks veel kogu operatsiooni ajakulu. Ühesõnaga ühe trapi telje ratta laagri vahetamine või seal mõne muu probleemi lahendamine läheks väga kulukaks. Fiksaatorite kasutamisega, on aga hooldus muutunud lihtsamaks ning jõukohaseks ka sadama enda hooldusmeestele.

2.3 Karkassi konstruktsioon

Trappi hoidva karkassi konstruktsiooni mõõtmete määramisel tuleb lähtuda eelkõige esitatud nõudmistest. Saavutamaks nõutud teeninduskaugust, on vaja maksimaalselt pikka trappi. See omakorda aga tähendab, et ka ramp, mille sees trapp asub, peab olema maksimaalselt pikk, et reisijatesild enda sisse ära mahutada. Samas, aga ei tohi tuubuse ots vendriliinile olla lähemal kui 1,2, parem kui vahekaugus on vähemalt 1,5m. Vana raami viimase lüli kinnituskoha, kuhu hakkab ka uus ramp kinnituma, ja vendriliini vaheline kaugus on 8735mm, mis tähendab, et karkass ei saa olla pikem kui ~7200mm. Kõige suuremaid raskusi, aga tekitab sadama nõue viia alumine piirasend senisest veel ~1m jagu allapoole. Nagu peatüki alguses ka mainitud sai, piirab tuubuse alla minemist vana raami toru, mis selle alt läbi läheb. Selle teise kohta paigutamine, aga tähendaks tõsist lõikamist, keevitamist ning värvimist ja seda kõike sadamas, välitingimustes. Seega toru ümber tõstmine on välistatud.

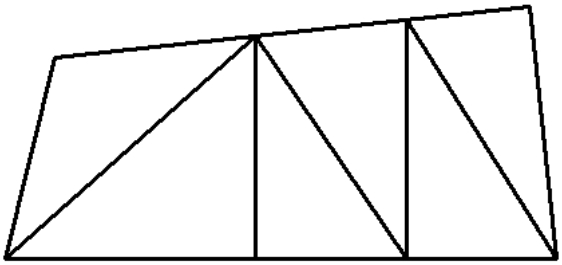
Kõige lihtsam võimalus on toru peal olevate kummipukside asendamine õhematega. Lisades veel õhema põrandakonstruktsiooni on võimalik toru kohalt karkassi viia ~100mm allapoole. See aga tähendab vendriliinil trapi otsa langemist ~350-400mm võrra, mida on siiski vähe. Võimalus oleks ka tuubuse mainitud torust mere poole jääva osa kaldenurka suurendada. Kuna seal aga on vahemaa juba suhteliselt lühike (~5m), siis ei anna ka see erilist efekti. Pealegi on reisijategaleriide ja tuubuste maksimaalne kalle üldjuhul 1/12'le või vähem, mis teeb ~5kraadi. Praegusel tuubusel on aga juba niigi see kuni 8,3kraadi. Kaaludes ja arvestades erinevaid variante selgus, et kõige mõistlikum on tuua raami kinnituskoht horisontaaltasapinnast natuke allapoole. Seega tõuseb karkassi tagumine ots kõrgemale, nurk suureneb ning esimene ots langeb madalamale. Tuues kinnituskohta 270mm allapoole, suureneb kaldenurk 10,6kraadini ning trapi esimene ots langeb vendriliinil arvestuslikult 795mm senisest allapoole. See on, peale mõningasi läbirääkimisi sadamaga, juba piisav. Madalamale enam ei ole võimalik minna, kuna sellisel juhul läheks

kaldenurk juba nii suureks, et tuubus ei oleks kasutatav. 10,6kraadigi on juba nii suur langus, et see läheb käiku ainult eriolukorras, madala veeseisu juures, kui muud võimalust ei ole.

Sadama soov oli ka, et ülemist piirasendit võimaluse korral tõstetaks. Selle teostamine on lihtsam, kuna seal ei ole segavaid talasid. Tuleb ainult tuubuse tõstesilindrid välja vahetada uute vastu, mille töökäik on pikem. Võttes piiriks sama 10,6kraadise kaldenurga, mis oli ka alumises asendis, tõuseb vendriliinil ülemine piirasend senisega võrreldes 740mm kõrgemale. Seejuures aga peab arvestama, et nii suure tõusuga ei ole tuubus reisijatele praktiliselt kasutatav. Pigem on see jällegi erandkorraks, kui tõesti muud võimalust ei ole. Paraku ei võimalda aga ka väike olemasoleva raami ja vendriliini vahekaugus kaldenurkasid vähendada.

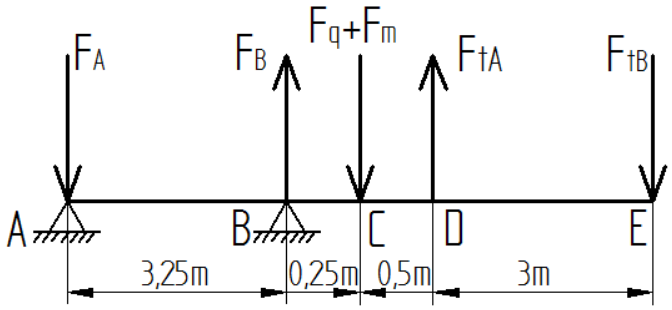
Projekteerimise käigus selgus, et kui trapile lisada täispuhutav sadekate, koos selleks vajalike flantsidega, nagu oli kirjas sadama hanke tehnilistes tingimustes, ei mahu trapp enam täielikult karkassi sisse. See aga tähendab, et ~700mm pikkuselt jääb silla ots välja. Tagamaks aga piisavalt suurt kaugust tuubuse ja vendriliini vahel, tuleb teha ramp 700mm võrra lühem, et trapp annaks laevast piisavalt eemale tulema. Lühem ramp aga tähendab, et kelgu juhtsiinid on samuti lühemad ja ei ulatu enam vendriliinile sama lähedale, mistõttu lüheneb trapi väljaulatus. Lõppkokkuvõttes ei ole võimalik sellise konstruktsiooniga tagada tuubuse piisavat teeninduskaugust. Seetõttu tuleb loobuda täispuhutavast sadekattest. Sadama soov oli, et selle asemel tehtaks väiksem, liikuv katus, mis sõidab trapi varikatuse alt välja. Täpsem konstruktsioon on näha trapi joonisel (vt lisa 4).

Karkassi enda kõrguse leidmisel tuleb arvestada trapi kõrgusega, kelgu jaoks jääva liikumisruumiga ning trapi liikumisulatusega. Sadama nõue oli, et trapi kõrgus varikatuse all oleks vähemalt 2200mm. Kõikumisulatus peaks reisijatesillal olema umbes 1m, et vabalt kaasa teha laeva liikumine lainetuses. Rohkem ruumi ei saa selle jaoks jätta, kuna siis läheb juba karkassi enda kõrgus liiga suureks, mistõttu kasvab ka mass. Lisaks veel peab trapi varikatuse ning rambi lae vahele ära mahtuma kelk koos tõstesüsteemiga. Jättes selle jaoks 500mm, tuleb vajaliku siseruumi kõrguseks 2200+1000+500=3700mm. Samas ei ole sellist kõrgust kogu karkassi ulatuses vaja, kuna tagumises osas on trapi liikumiseks vajaminev ruum oluliselt väiksem. Nii võib katusejoon olla tahapoole langev.



Sele 10. Rambi külje langevate diagonaalidega sõrestik

Oma tüübilt hakkab karkass sarnanema trapi omale, olles samuti langevate diagonaalidega (vt sele 10). Põiksidemed on, erinevalt reisijatesillast, nii üleval kui ka all. Kinnituskoht on tagumises nurgas ning tõstmine toimub keskkoha lähedalt, kuhu ühenduvad hüdrosilindrid. Kuna aga külgi moodustav sõrestik on veelgi keerulisem, kui seda on trapi oma, siis ei ole ka siinjuures võimalik kasutada tavalisest teoreetilisest mehaanikast tuttavaid võtteid ja tuleb kasutada arvutisimulatsiooni abi. Sealt selguvate jõudude ning nende mõjul tekkivate pingete järgi on võimalik määrata ka karkassis kasutatavate profiilmaterjalide mõõtmed. Selleks aga tuleb kõigepealt leda trapile mõjuvad jõud ning tekkivad toereaktsioonid. Mõjuvate jõudude skeem on näha selel 11. Selel 4 leitud toereaktsioonid kanduvad üle ka tuubuse karkassi arvutustesse, kuna trapp toetub selle külge. Selel 4 olevad F_A ja F_B on selel 10 tähistatud vastavalt F_{tA} ja F_{tB}. Rambile ettenähtud kasuskoormuse leidmine käib sarnaselt eelmisele peatükile, kus arvutati trapi kasuskoormust. Karkassi pikkus saab olla maksimaalselt 7000mm, jättes 200mm veel ka kinnituskoha jaoks. Põranda laius aga ligikaudu 2700mm, jättes 150mm kummaltki poolt sõrestiku jaoks. Lisaks tuleb siin arvestada veel ka lumekoormusega, kuna karkassi katus on, erinevalt trapi omast, lageda taeva all. Vastavalt standardile EVS-EN 1991-1-3:2006 on selle suurus silindrilise kumerkatuse puhul 0,75kN/m^2 [2: 40]. Seega tuubuse siseruumi kasuskoormus tuleb $F_q = 7{,}0 \cdot 2{,}7 \cdot (5{,}0 + 0{,}75) = 108{,}7kN$. Karkassi massiks võib ettevõtte kogemuste järgi esialgu arvestada 3600kg, mis teeb sellest tuleneva raskusjõu suuruseks $F_m = 36$kN. Jällegi võib kasuskoormuse liita massist tuleneva mõjujõuga, $F_{qm} = F_q + F_m = = 109 + 36 = 145$kN, kuna nende mõjumise koht ning suund on samad.



Sele 11. Tuubusele mõjuvate jõudude skeem

Jõudude skeemi (vt sele 11) järgi on võimalik koostada momendivõrrandid ning leida toereaktsioonid:

$$M_A = -F_B \cdot 3{,}25 + F_{qm} \cdot 3{,}5 - F_{tA} \cdot 4 + F_{tB} \cdot 7 = 0\text{, millest} \tag{10}$$

$$F_B = \frac{F_{qm} \cdot 3{,}5 - F_{tA} \cdot 4 + F_{tB} \cdot 7}{3{,}25} = \frac{145 \cdot 3{,}5 - 17{,}6 \cdot 4 + 96{,}6 \cdot 7}{3{,}25} = 342{,}6kN \tag{11}$$

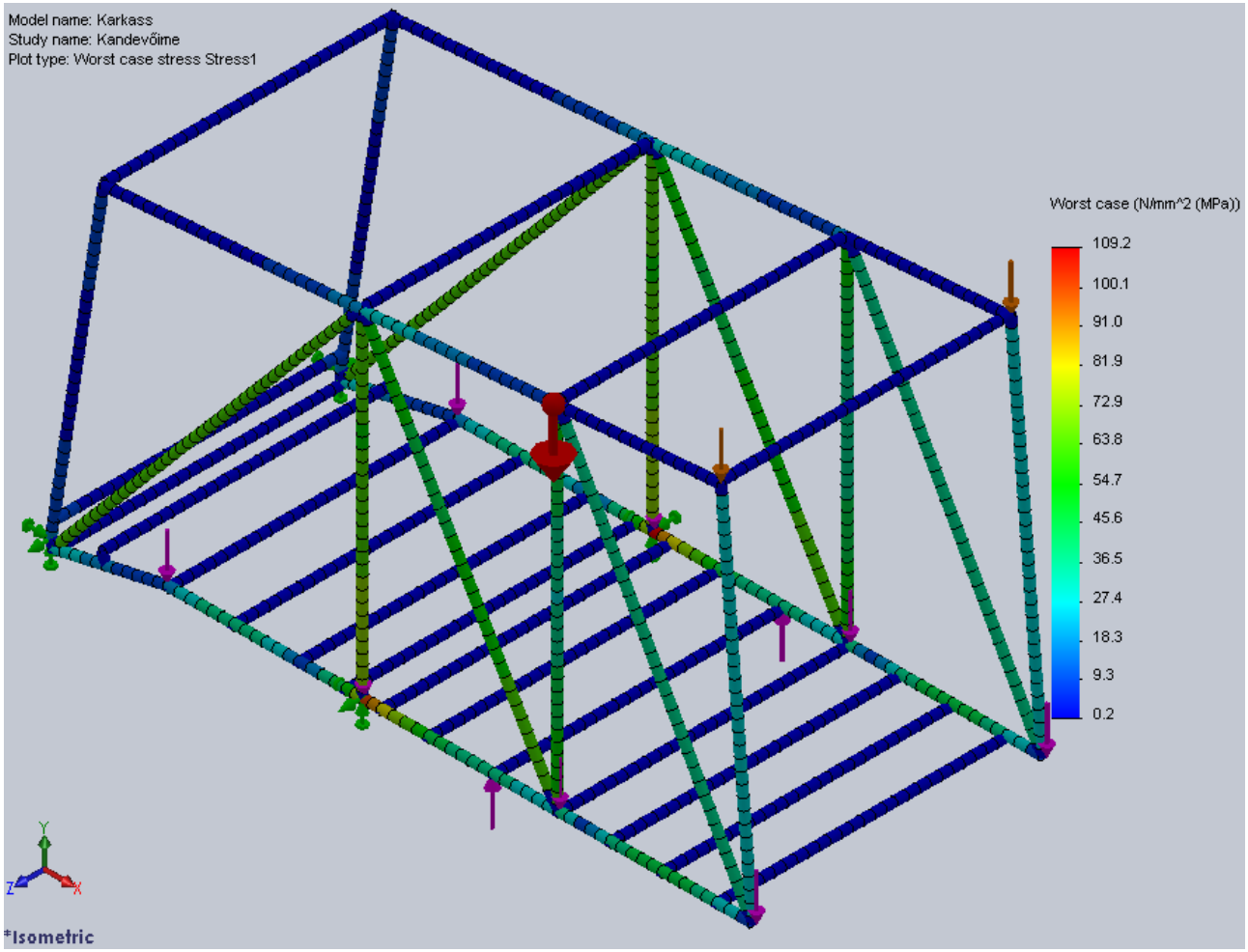
$$M_B = -F_A \cdot 3{,}25 + F_{qm} \cdot 0{,}25 - F_{tA} \cdot 0{,}75 + F_{tB} \cdot 3{,}75 = 0\text{, millest} \tag{12}$$

$$F_A = \frac{F_{qm} \cdot 0{,}25 - F_{tA} \cdot 0{,}75 + F_{tB} \cdot 3{,}75}{3{,}25} = \frac{145 \cdot 0{,}25 - 17{,}6 \cdot 0{,}75 + 96{,}6 \cdot 3{,}75}{3{,}25} = 118{,}6kN \tag{13}$$

Kontroll: $\Sigma V = -F_A + F_B - F_{qm} + F_{tA} - F_{tB} = -118{,}6 + 342{,}6 - 145 + 17{,}6 - 96{,}6 = 0$

Kandes siinsete arvutuste tulemused üle arvutisimulatsiooni selgus erinevaid lahendusi läbi proovides, et kõige mõistlikum on teha vööd ja tõstekoha juures olev post nelikanttorust 150x100x6 ning ülejäänud diagonaalid, postid ja põiksidemed torust 100x100x5. Arvutisimulatsiooni tulemused on näha selel 12. Analüüsid on läbi viidud olukorras, kus trapp on maksimaalselt välja viidud, kuna siis on karkassile langevad koormused kõige ebasoodsamas asukohas.

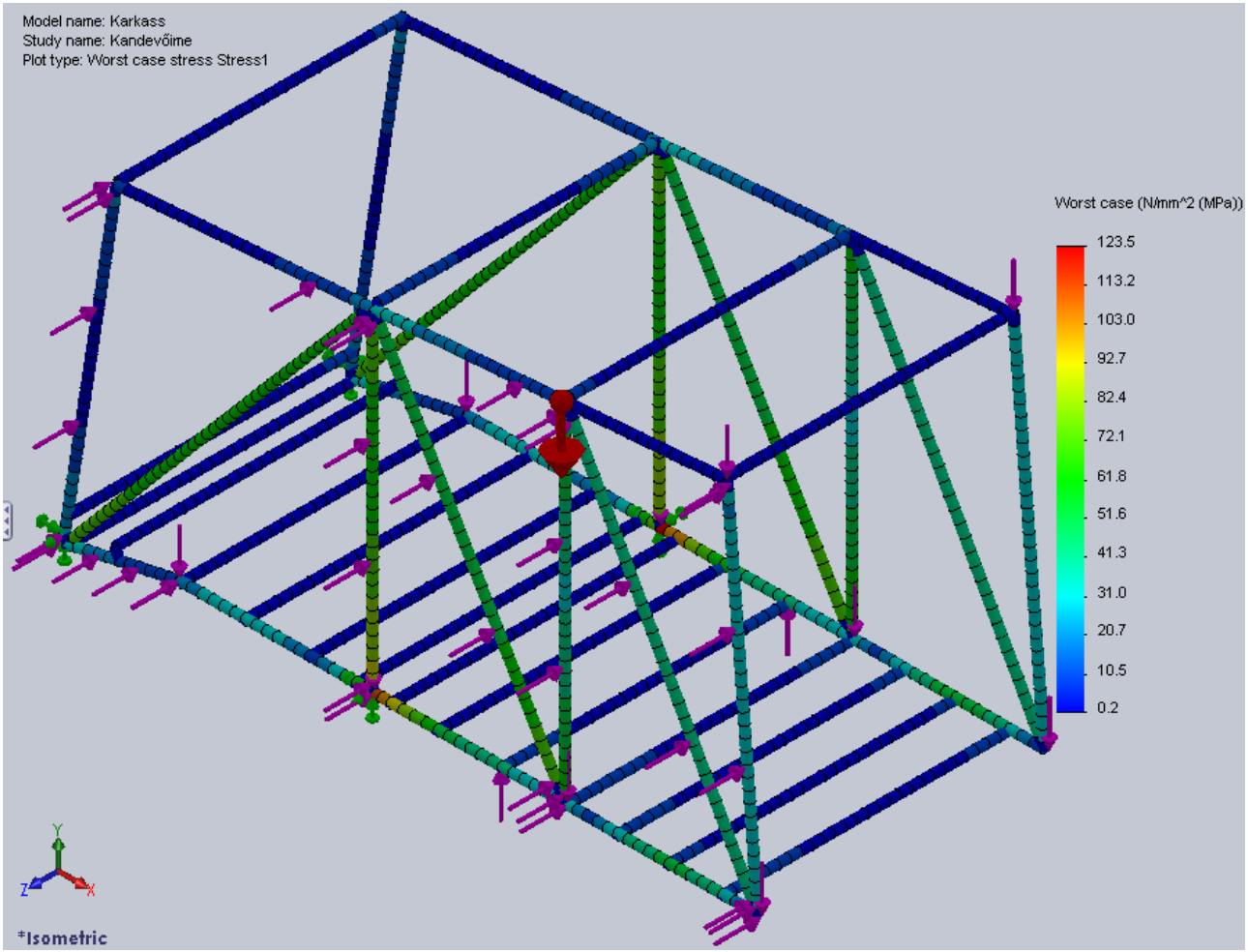
Pinged konstruktsioonis ei ületa maksimaalse koormuse juures 110MPa'd, mis tähendab, et kasutades terast S355J2H, on varu piisav. Tegelikkuses on koormused veel väiksemad, kuna kasuskoormuste leidmisel ei ole arvestatud seda, et trapi ja rambi põrandad kattuvad. See tähendab, et reaalsuses on põrandapind siinsetes arvutustes kasutatust mõnevõrra väiksem, olenevalt kui suur on trapi väljaulatus.



Sele 12. Rambi karkass koormatuna

Kuna tuubus asub mere ääres, siis tuleb selle projekteerimisel arvestada ka tuulekoormusega. Eesti rannikuäärsetel aladel on selle suuruseks ettenähtud 276N/m^2, mis mõjub alati pinnaga risti [2: 40]. Suurim pind, millele tuulekoormus mõjub on külg. Seega tuleb leida külje pindala, mis, võttes karkassi keskmiseks kõrguseks 3,6m, tuleb $S = 7 \cdot 3{,}6 = 25{,}2m^2$. Sellest tulenevalt on tuule poolt avaldatav surve $F_{tuul} = 25{,}2 \cdot 276 = 6955N \approx 7kN$. Lisades selle juba maksimaalselt koormatud karkassile, tõusevad pinged mõnedes lõikudes pea 125MPa'ni. See aga, arvestades kasutatava terase S355J2H voolavuspiiri, on lubatud. Analüüsi tulemused on näha selel 13.

Eelnevalt arvutatud karkass ühendub vana raami külge kinnituskõrvadega, millest läheb läbi võll. See tähendab, et tuleb kontrollida ka nende kõrvade tugevust. Kõigepealt, arvestades kindluse mõttes, et valemis (13) leitud, toereaktsioon mõjub tervenisti ühe poole kõrvadele, tuleb arvutada,



Sele 13. Koormatud karkass koos küljele mõjuva tuulekoormusega

kui suur peab olema nende ristlõige. Valmistamiseks kasutatakse 30mm paksust lehtterast S355J2G3, mis tähendab, et lubatud pinged on jällegi 118MPa. Kui ristlõike ühe külje pikkus on tulenevalt materjali paksusest 30mm, siis on võimalik üldisest pinge valemist:

$$\sigma = \frac{F}{A}, \tag{14}$$

avaldades pindala A ning asendades see ristküliku pindala valemiga $S = a \cdot b$, avaldada teise külje pikkus:

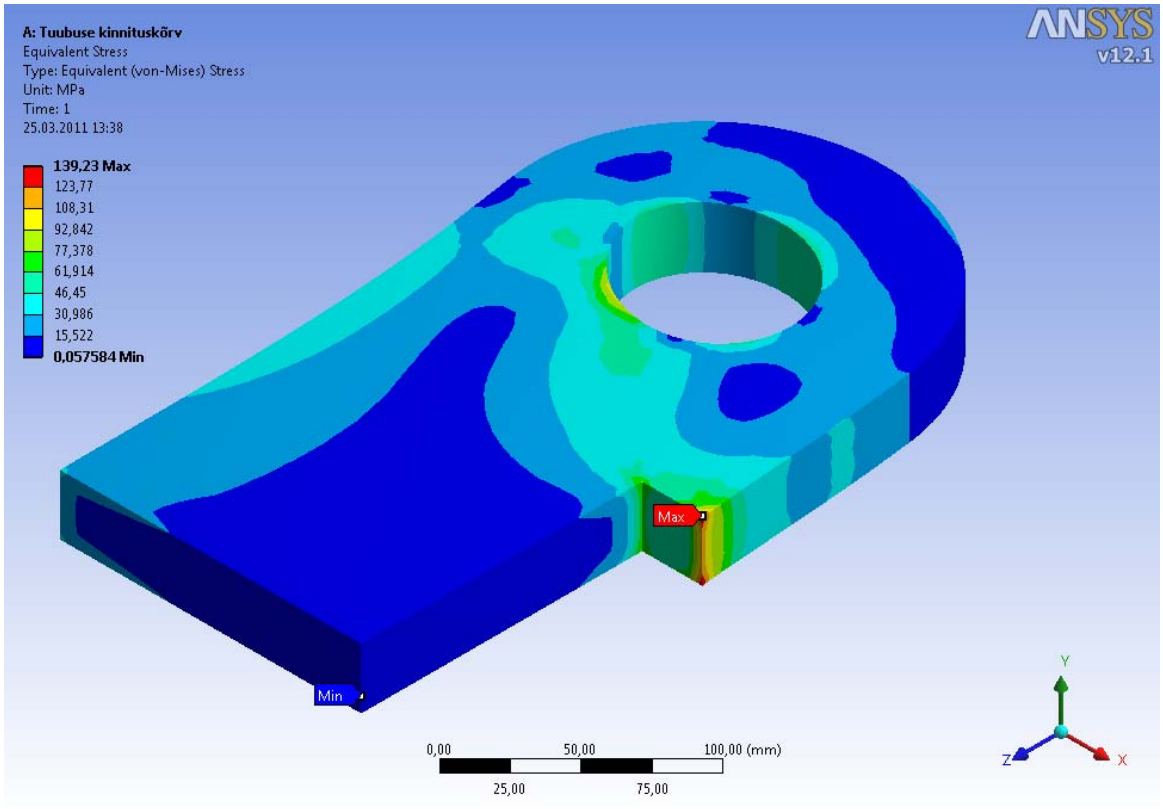
$$A = \frac{F}{\sigma} \Rightarrow a \cdot b = \frac{F}{\sigma} \Rightarrow b = \frac{F}{\sigma \cdot 30} = \frac{118600}{118 \cdot 30} = 33{,}5mm \tag{15}$$

Järelikult peab kõrvade kõige peenem koht olema vähemalt 34mm laiune, mis teeb ühe kõrva kohta 17mm. Kuna antud juhul ei ole materjali hind väga määrav ning tegu on vastutusrikka detailiga, tehakse kõrvad selliselt, et ava ja välimise raadiuse vahe on 50mm, mis teeb ristlõikepindalaks $S = 30 \cdot 50 = 1500mm^2$. See tähendab, et pinged kõrvas jäävad

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{118600}{2 \cdot 1500} = 40MPa,$$

piiresse. Kinnituskõrvade tugevust kontrollitakse ka arvutisimulatsiooniga, selle tulemused on näha selel 14.

Simulatsioon arvutil näitas, et mõnes punktis tõusevad küll pinged kuni 139MPa'ni (vt sele 14), eriti teravates nurkades. Need aga jäävad keevisõmbluse alla, mistõttu pinged seal jaotuvad ühtlasemalt laiali. Samas on näha, et ava sisepinnal jäävad pinged alla 100MPa ning mujal kõrvas alla 40MPa, mis näitab, et arvutused pidasid paika.

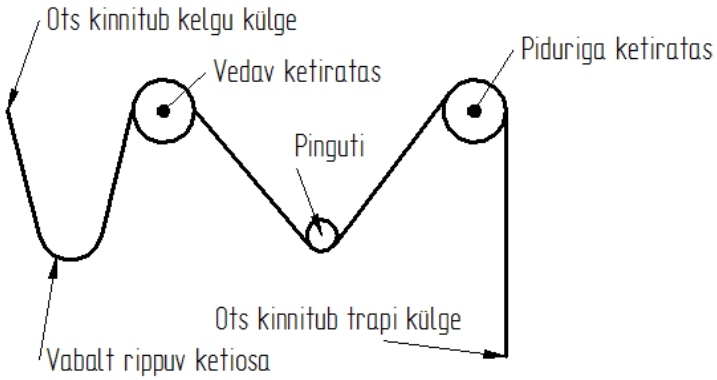


Sele 14. Pinged tuubuse kinnituskõrvas

2.4 Tõstesüsteem

Tõstesüsteemi projekteerimisel tuleb eelkõige lahendada praeguse, telfritel põhineva, süsteemi kõige suurem puudus – töökindlus. Kuna seal kasutatavad tavalised ketid ei ole väga töökindlad ning kipuvad kinni kiiluma, siis asendatakse need rullpuksketiga, mis on oluliselt töökindlam. See aga tähendab, et on vaja ka uut ajamit ning ketirataste süsteemi, mida mööda kett liigub. Valitud on lahendus, kus keti üks ots kinnitub trapi külge, läheb sealt üle esimeste kelgu küljes olevate ketirataste mootoriga ühenduses olevale vedavale ketirattale ning seejärel vabalt rippudes teise otsaga kelgu külge.

Esimeste ketirataste mõte seisneb selles, et turvalisuse huvides on hiljem plaanis tuubusele lisada ka pidurisüsteem, mis hakkab toimima sarnasel põhimõttel, nagu autode turvavööd. Selle jaoks on aga vaja ühte ratast, millest kett käib üle ja mis ei ole mootoriga seotud. Kui peaks toimuma õnnetus ja trapp mingil põhjusel laeva küljest lahti pääsenuna alla hakkab kukkuma, suureneb järsult selle ratta pöörlemissagedus, mistõttu omakorda rakendub tekkiva tsentrifugaaljõu toimel pidur, peatades kukkumise. Võimaldamaks trapi vaba kõikumist koos laevaga, peab ka eelnevalt mainitud ratas tavaolukorras andma vabalt mõlemas suunas pöörlema. Siit aga tuleb esimene probleem. Et mainitud pidurisüsteem üldse toimida saaks, peab kett käima pidevalt üle nimetatud ketiratta. Samas kui trapp tõuseb, vajub lõdvaks jäänud kett sinna samma kõrvale ning ei lähe ise tagasi. See aga tähendab, et kukkumise korral on trapil võimalik enne teatud maa langeda, kuni üldse pidurdav ratas pöörlema hakkab. Probleemi lahendab pinguti lisamine pidurdava ratta ning vedava ketiratta vahele. See hoiab kõikumise jaoks varus oleva keti pidevalt piduriga rattast tuubuse pool ning trapipoolsed ketid pingul (vt sele 15). Kui nüüd peaks reisijatesild ootamatult kukkuma, hakkab



Sele 15. Ketisüsteemi skeem

kohe pöörlema ka piduriga ketiratas. See vähendab oluliselt piduri rakendumisaega ning trapi langemisnurka. Täpne reageerimisaeg ning piduri konstruktsioon ei ole selle lõputöö teema, seega neid siin rohkem ka ei käsitleta.

Pinguti ise on parasjagu sellise jõuga, et hoiab keti küll pingul, aga samas võimaldab ka trapi vaba kõikumist koos laevaga. Sellejaoks nähakse pingutile ette ka käigupikkus vähemalt 450mm. Seega kui trapp vajub, kerkib pinguti kõrgemale ja vastupidi, kui trapp kerkib, langeb pinguti allapoole. Kui aga toimub silla tõstmine, siis kõigepealt tõmmatakse pinguti alt läbi minev ketiosa pingule (pinguti ise kerkib) ning seejärel algab trapi kerkimine. Laeva külge ühendamisel toimub asi vastupidi. Kõigepealt lastakse reisijatesild laeva ukse poomile ning seejärel ei lülitata tõsteajamit kohe välja, vaid lastakse sel pingutile ketti varuks anda (pinguti ise vajub).

Keti valikul lähtutakse peatükis 2.2 leitud trapi toereaktsioonidest, täpsemalt tõstekoha omast, mis valemist (2) tulenevalt on 96,6kN (vt sele 4). Arvestades ohutuse mõttes, et, kuigi kette on kaks, peaks ka üks kett suutma nimetatud koormust kanda. Seega on sobivaks valikuks ISO 606 rullpukskett 20B-1, mille minimaalne tõmbetugevus standardi järgi on 95kN [14]. Järgmine, suurem kett, läheks antud juhul juba liiga massiivseks, olles pea kaks korda raskem kui valitud variant. Eriti veel arvestades, et tavaolukorras kasutatakse neid ainult tühja trapi tõstmiseks. Samuti on tegelikkuses, tootja andmetel, 20B-1 tugevus tunduvalt suurem, kui standard ette näeb, mistõttu on varu tagatud. [15: 4]

Järgmiseks tuleb valida ketirataste suurused ning vedav mootor. Ketirattad tasub teha võimalikult väiksed, et hoida mootorilt nõutavad pöördemoment võimalikult madal. Ehkki väikseid ketirattaid ei ole üldiselt soovitatav kasutada, siis antud juhul ei ole see probleem. Süsteem töötab madalatel pööretel ning tavaolukorras ka väikese koormusega. Lisaks veel on töö lühiajaline. Seega sobivad ISO 606 standardile vastavad 10 hambaga ketirattad, mille läbimõõt on ~100mm. Kuna tõstma hakatakse ikkagi ainult tühja trappi (vastasel juhul läheb nõutav mootori võimus ebapraktiliselt suureks), siis leidmaks vajalikku tõstejõudu jäetakse valemis (2) ära kasuskoormus, seega:

$$F_B = \frac{F_m \cdot 3{,}5 + F_l \cdot 7}{2{,}9} = \frac{8 \cdot 3{,}5 + 1 \cdot 7}{2{,}9} = 12kN$$

Arvestades, et kett jookseb üle mitme ratta, millistel kõigil on oma hõõrdetegur ja seega ka võimsuskadu, tuleb arvesse võtta ka kasutegurit. Kuna tegu on praktiliselt kettülekandega, siis võib

selle järgi määrata ka kasuteguri, mis jääb vahemikku 0,92...0,95 [16: 19]. Sealt võetakse enam-vähem keskmine ehk 0,93. Vajalikuks tõstejõuks kujuneb seega:

$$F = \frac{F_{B2}}{\eta} = \frac{12}{0,93} = 12,9kN \tag{16}$$

Nende andmete põhjal on võimalik leida nõutav mootori väljundmoment, kasutades üldist momendi valemit:

$$M = F \cdot l \Rightarrow 12900 \cdot 0,05 = 645N \cdot m$$

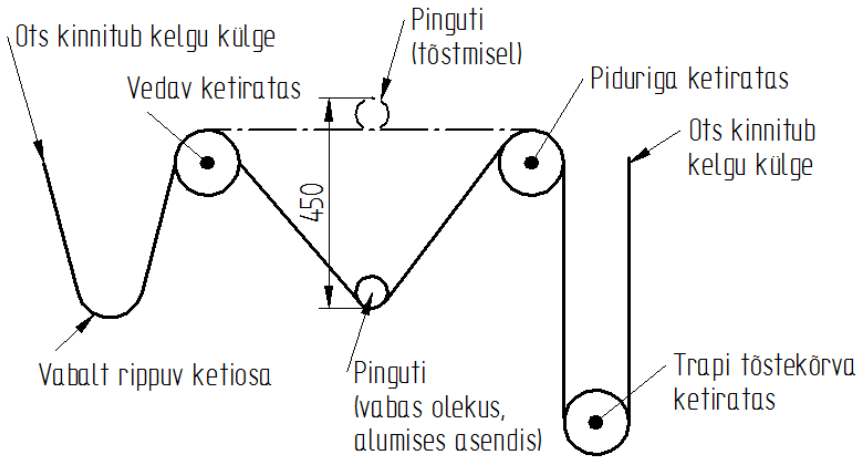
Järgmiseks on vaja teada saada nõutav väljundvõlli pöörete arv. See aga omakorda sõltub trapi tõstekiirusest. Reisijatesilla kerkimise või langemise kiirus ei tohi olla liiga aeglane, sest sel juhul kulub tuubuse paikasaamiseks liiga palju aega. Samas ei saa see olla ka liiga kiire, kuna nii muutub opereerimine ohtlikuks ning suureneb ka mehaaniliste vigastuste tekkimise oht. Tuginedes ettevõtte ja Tallinna sadama senistele kogemustele, on trapi otsa optimaalne liikumiskiirus ligikaudu 3500mm/min. Tõstmine ei toimu aga trapi otsast, mistõttu kettide liikumiskiirus peab olema teine. Selle leidmiseks tuleb arvestada tõstekoha kaugust terve pikkuse suhtes. Teades, et tõstekoht on 2900mm kaugusel trapi tagumisest otsast ning kogupikkus on 7000mm, siis kordaja, mille võrra silla ots kiiremini liigub on 7000/2900=2,4. Seega vajalik kettide liikumiskiirus on 3500/2,4=1458mm/min. Teades ketiratta läbimõõtu ning joonkiiruse valemit, on võimalik leida vajalik pöörlemissagedus n:

$$n = \frac{v}{\pi \cdot D} = \frac{1458}{\pi \cdot 100} = 4,64\,p/\min \tag{17}$$

Selline pöörete arv tähendab, et tõenäoliselt tuleks otsustada tigureduktoriga mootori kasuks, kuna ülekandearv peab olema suur. Teist tüüpi üheastmelistel reduktoritel, näiteks koonusreduktoril, on sellise väljundvõlli pöörlemiskiiruse saavutamine raskem. Suure ülekandearvu tõttu tuleb ka reduktori mass suur ning maksumus kõrge. Pöörete arvu ning seega ka ülekandearvu vähendamiseks on kõige lihtsam võimalus vähendada vedava ketiratta läbimõõtu. See on aga juba niigi väike, mistõttu tuleb leida teine lahendus. Järgmine lihtne võimalus on kasutada plokisüsteemi põhimõtet. See tähendab, et keti ots, mitte ei kinnitu trapi külge, vaid sinna tuleb hoopis väike ketiratas (vt sele 16). Keti ots aga kinnitub kelgu külge. Seega, et saavutada sama tõstekiirust, peab

vedav ketiratas pöörlema kaks korda suurema kiirusega. Lõplikuks väljundvõlli pöörete arvuks jääb seega:

$$n = \frac{v}{\pi \cdot D} = \frac{2 \cdot 1458}{\pi \cdot 100} = 9{,}28\, p/\min$$



Sele 16. Lõplik tõstesüsteemi skeem

Seejuures väheneb ka vajalik väljundmoment, seda aga on kasulikum mitte vähendada, vaid jätta varutegur. Nende andmete põhjal sobib tõstemehanismi mootoriks tigureduktoriga SEW-Eurodrive'i toodang S77DRS80M4BE2, mille mootori võimsus on 1,1kW, väljundvõlli pöörlemissagedus 11p/min ja väljundmoment 660Nm [17]. BE2 tähise lõpus tähendab 14Nm elektromagnetilise piduri olemasolu. See on vajalik ohutuse mõttes, et juhul, kui tõstmise ajal vool ära kaob, trapp alla ei vajuks, vaid mootor ise pidurduks. Senised kogemused näitavad, et hoolimata teooriast, mille järgi tigureduktor peaks toimima ainult ühte pidi, on võimalik seda ringi ajada ka väljundvõllile väikest pöördemomenti rakendades. Lõplik trapi otsa liikumiskiirus tuleb valemist (17) avaldades:

$$v = \frac{n}{\pi \cdot D} = \frac{2{,}4 \cdot 11 \cdot \pi \cdot 100}{2} = 4147 mm/\min$$

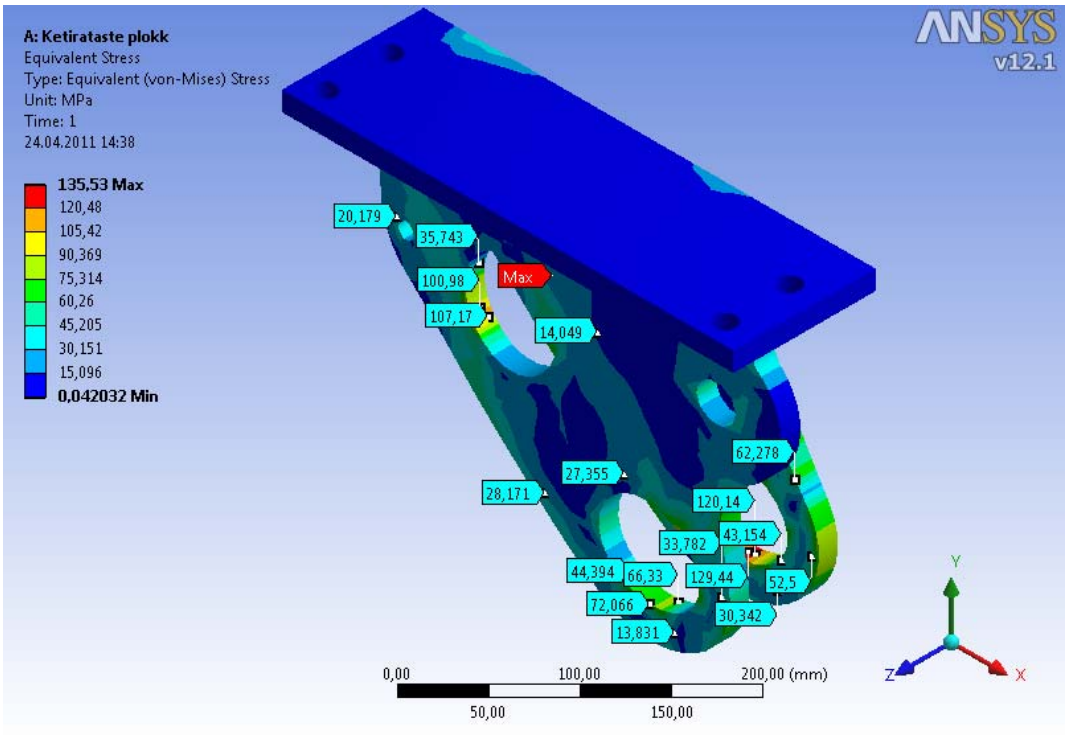
Teades kordajat, mille võrra trapi otsa liikumine on suurem tõstekoha omast, on võimalik täpsustada ka ketipinguti vajalik liikumisulatus. Kui konstruktsiooniliselt on trapile jäetud 1m vaba liikumisruumi, siis laevaga kaasa kõikumiseks piisab 500mm pikkusest ulatusest. Ülejäänud jääb

varuks, et vältida trapi või selle varikatuse muljumist vastu rambi karkassi. Seega vajalik ketipinguti töökäik, arvestades nüüd ka plokisüsteemi kasutamist, on:

$$l = \frac{500 \cdot 2}{2{,}4} = 417mm\,,$$

seega eelnevalt valitud 450mm on sobiv suurus, kuna parem on, kui pinguti annab natuke rohkem liikuma. Sel juhul ei lähe ta piirajate vastu, tänu millele on mehaaniliste vigastuste oht väiksem.

Esimesed ketirattad, millele tulevikus on plaanis lisada eelnevalt mainitud pidurisüsteem, kannavad kogu trapi raskust, mis omakorda kandub üle rattaid hoidvale plokile. Turvalisuse huvides võetakse ühe poole ketiratastele mõjuvaks koormuseks terve trapi koormus, mis tänu tõstesüsteemile on 96,6/2=48,3kN. Kasutades arvutisimulatsiooni abi selgus, et kui kasutada terast S355J2G3, peab lehe paksus olema vähemalt 20mm. Seejuures jäid pinged enamjaolt alla 100MPa (vt sele 17), välja arvatud mõnes üksikus kohas, kus maksimaalne pinge on 135MPa.



Sele 17. Esimese ketirataste ploki tugevusanalüüs

Mainitud ketirataste plokk kinnitub nelja poldiga kelgu raami külge. Poltide läbimõõdu määramisel lähtutakse neile langeva koormuse iseloomust ja suurusest. Antud juhul töötavad poldid tõmbele,

kusjuures on oht, et esimesele kahele poldile langeb praktiliselt kogu koormus. Seega arvutused tehakse, nagu poltide arv oleks nelja asemel 2. EVS-EN 1993-1-8 järgi leitakse poltide tõmbekandevõime valemiga (18).

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}, \qquad (18)[12: 32]$$

kus $F_{t,Rd}$ – poldi tõmbekandevõime N;

$k_2 = 0,63$ peitpeaga poldi puhul, muidu $k_2 = 0,9$;

A_s – poldi keermestatud osa (neto)ristlõikepindala mm^2.

Vajalik poltide läbimõõt on seega, avaldades rislõikepindala valemist (18):

$$F_{t,Rd} = 2 \cdot \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \Rightarrow A_s = \frac{F_{t,Rd} \cdot \gamma_{M2}}{k_2 \cdot f_{ub} \cdot 2} = \frac{48300 \cdot 1,25}{0,9 \cdot 1000 \cdot 2} = 33,5mm^2 \qquad (19)$$

Saadud tulemusele vastab polt M8, et aga tegu on väga tähtsa kohaga kogu tõstesüsteemis, võetakse poldid korraliku varuga M16. Valemi (18) abil kontrollitakse valitud poltide kandevõimet:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot 1000 \cdot 157}{1,25} = 113kN$$

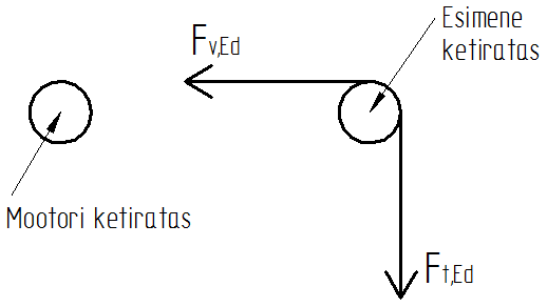
Seega suudab vajadusel ka 1 polt kogu trapi koormatud raskust kanda. Kuna aga tõstmise ajal on poldid üheaegselt koormatud nii tõmbe, kui ka lõikejõuga, siis tuleb kontrollida ka tingimuse

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0, \qquad (20)[12: 32][13: 58]$$

kus $F_{v,Ed}$ – poltidele mõjuv lõikejõud N,

$F_{t,Ed}$ – poltidele mõjuv tõmbejõud N;

täitmist, seejuures võttes tõmbe ja lõikejõud võrdselt 48,3kN, kuna tõstmisel tekkiv jõud on mootori kettiratta suunaline ning seega risti trapi koormusest tekkiva jõuga (vt sele 18). Selleks aga tuleb



Sele 18. Jõudude skeem

kõigepealt leida M16 poldi lõikekandevõime valemi (8) järgi:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \cdot 1000 \cdot 157}{1,25} = 62,8kN$$

Arvutustes on võetud lõikepinna asukohaks poldi keermestatud osa, kuna nii lühikesi M16 polte on saadaval ainult täies pikkuses keermestatuna. Saadud andmete põhjal on võimalik kontrollida tingimust valemi (20) põhjal:

$$\frac{48,3}{4 \cdot 62,8} + \frac{48,3}{1,4 \cdot 2 \cdot 113} = 0,34 \le 1,0,$$

millest on näha, et tingimus on täidetud. Lõikejõule vastupanu osutavate poltide arv on võetud 4, kuna siin, erinevalt tõmbest, töötavad kõik poldid võrdselt.

Kelgu ja sellega koos trapi liigutamine käib mööda hammaslatti liikuvate hammasrataste abil. Nende puhul aja kokkuhoiu huvides tugevusarvutusi teostama ei hakata, vaid need valitakse vastavalt senistele kogemustele samasugused, nagu on kasutusel Tallinna sadama 5. kai tuubuses. Selline valik on võimalik, kuna sealne trapp on 4000mm võrra pikem ning ligikaudu 700kg raskem. Kasutatud hammaslatid ja –rattad on enda usaldusväärsust juba aastate jooksul tõestanud. Samas kui arvutada uus, väiksema mooduliga hammasülekanne, tekib risk, et see ei ole piisavalt vastupidav ning tuleb hiljem välja vahetada, mis aga on kulukas ettevõtmine. Hinnavõit väiksema mooduliga variantide kasutamisel ei ole ka piisavalt suur, et riskida sellise võimalusega.

Seega hammaslatt ja -rattad valitakse firma Mekanex tootevalikust. Hambumise moodul m=4, hamba laius b=40mm, läbimõõt lati puhul tinglikult D_{02}=36±1mm ja hammasrattal D_{01}=80mm ning

hammaste arv z=20 [18: 2][19: 14]. Nende andmete põhjal on eelkõige võimalik leida vajalik telgede vahe, ehk hammasratta tsentri kaugus hammaslatist:

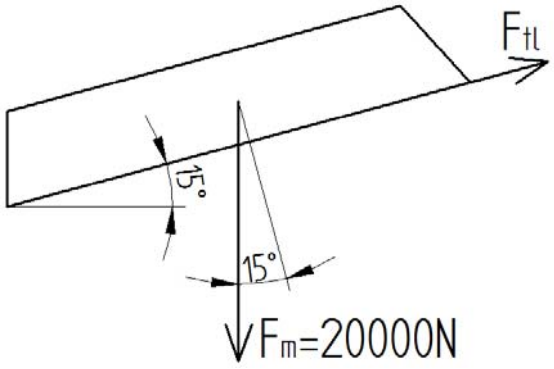
$$a_w = D_{02} + \frac{D_{01}}{2} = 36 + \frac{80}{2} = 76mm, \qquad (21)[18: 2]$$

kus a_w – telgede vahe mm,

D_{01} – hammasratta jaotusringjoone läbimõõt mm,

D_{02} – hammaslati tingliku jaotusringjoone läbimõõt mm;

Leidmaks mootori vajalikku võimsust on vaja teada selle nõutavat pöörlemiskiirust ja momenti. Pöörlemiskiirus valitakse juba varem mainitud 5. kai tuubuse järgi, kus see on 11p/min. Seega on vaja leida nõutav pöördemoment. Kõigepealt on tuleb teada saada aga jõud, millega trappi liigutama peab. Teades, et tuubuse maksimaalne kaldenurk on 10,6kraadi ning võttes varu, arvestatakse, et trapp võib maksimaalselt olla 15kraadise nurga all. Lisaks veel, et ületada erinevaid takistusi, mis silla liigutamisel esineda võivad, võetakse arvutustes trappi massiks 2000kg, mis teeb selle ligikaudseks raskusjõuks F_m=20kN. Jõu suund on vertikaalselt alla, trapp ise aga eelnevalt mainitud nurga all (vt sele 19). Sellises olukorras on väljalükke jõud kõige suurem, mistõttu võetakse see ka arvutustel aluseks.



Sele 19. Jõudude suund trapi välja lükkamisel

Seega väljalükkamise jõud F_{tl}:

$$F_{tl} = F_m \cdot \sin 15° = 20000 \cdot \sin 15° = 5176N \qquad (22)$$

Teades jõudu, on moment leitav jaotusringjoone läbimõõdu kaudu:

$$M = \frac{D_{01}}{2} \cdot F_{tl} = \frac{80}{2 \cdot 1000} \cdot 5176 = 207N \cdot m \tag{23}$$

Võttes jällegi varuga, on parim valik SEW-Eurodrive'i koonusreduktoriga, kahepoolse väljundvõlliga mootor K47DRS71S4BE1, mis on, nagu tähis BE1 viitab, 10Nm elektromagnetilise piduriga. Valitud mootori võimsus on 0,37kW, väljundvõlli pöörlemissagedus 11p/min ning väljundmoment 310Nm. [17]

Hammasrattaid vedava võlli läbimõõt määratakse vastavalt mootori väljundvõlli läbimõõdule. Valitud reduktoril on see 30mm. Siiski tuleb kontrollida tekkivaid väändepingeid. Teades ringikujulise ristlõike polaarvastupanumomendi valemit:

$$W_p = \frac{\pi d^3}{16}, \tag{24}$$

ning üldist pinge valemit, on võimalik avaldada tekkivad väändepinged:

$$\sigma = \frac{M}{W_p} = \frac{M \cdot 10^3 \cdot 16}{\pi \cdot d^3} = \frac{310000 \cdot 16}{\pi \cdot 30^3} = 58MPa$$

Arvutustest selgub, et pinged jäävad lubatu piiresse.

4. SILINDRITE VALIK

Hüdrosüsteemis vahetatakse välja ainult kaks silindrit, mis tõstavad rampi. Ülejäänud süsteemi ümberehitamine ei ole vajalik. Seetõttu võetakse silindrite valikul aluseks olemasoleva hüdrosüsteemi töörõhk, mis on sadama andmetel 200bar'i. Tõstesilindri üleslükkejõud sõltub süsteemi töörõhust ja kolvi pindalast. Kuna töörõhk on aga teada ning seda muuta ei saa, tuleb vajalik survejõud saada silindri läbimõõdu määramisega. Kõigepealt on vaja teada selle jõudu suurust. Tuubuse karkassi tõstmine käib keskkoha lähedalt (vt sele 11), kus valem (11) järgi on jõuks F_B=342,6kN. Tõstesilindreid on kaks, mistõttu ühe silindri nõutav survejõud on F=342,6/2=171,3kN. Teades üldist hüdraulika valemit:

$$F = A \cdot p, \tag{25}$$

kus A – kolvi pindala,

p – rõhk;

leitakse vajalik pindala avaldades A:

$$A = \frac{F}{p} \tag{26}$$

Hüdrosilindrite kasutegur jääb vahemikku 0,85...0,9 [20: 40]. Kõik süsteemis olevad jaotid, torud, voolikud jms omavad mingit takistust. Seetõttu on üldine rusikareegel, et silindrite töörõhk on 75...85% pumba nominaalrõhust. Valemist (26), asendades A ringi pindala valemiga ning lisades mainitud kasutegurid, on võimalik avadada silindri läbimõõt D:

$$\frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{F}{p} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot p \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}8}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 171300}{\pi \cdot 200 \cdot 10^5 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}8}} = 0{,}123m = 123mm \tag{27}$$

Lähim standartne läbimõõt on 125mm. Käigupikkus sõltub ülejäänud konstruktsioonist ning tuubuse tõstekõrgusest ja on 1200mm. Sellise pikkusega silindrid aga valmistatakse eritellimuse alusel. Kataloogis neid ei leidu. Nimetatud silindrid tellitakse Eestist, Viljandimaal asuvast ettevõttest.

Kolmas oluline näitaja silindrite juures on kolvivarre läbimõõt. See valitakse sõltuvalt vajadusest, lähtudes kas töö- ja tühikäigu kiiruste suhetest või ohust peene varre nõtkeks. Silindri survejõu mõjul paindub kolvivars alati teatud suuruse võrra läbi. Varre läbimõõtu määrates tuleb arvutada, kui suur on see nõtke. Mida suurem on läbipaine, seda rohkem kuluvad silindri tihendid. Võib tekkida ka oht, et kolvivars ei suuda silindri survejõule vastu panna ning deformeerub, seda aga ei tohi juhtuda. Nende probleemide vältimiseks kontrollitakse kolvivarre vastupanu nõtkele, kasutades selleks Euleri valemit (28):

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2 n}, \qquad (28)[20: 54]$$

kus F_{cr} – varda kriitiline koormus N,

E – varda materjali elastsusmoodul (terasel $2{,}1 \cdot 10^{11}$Pa) Pa,

I – varda ristlõike inertsmoment m^4,

l – varda pikkus m,

n – varutegur, n = 2,5...4, valitakse 4;

millest avaldades I, saab leida nõutava inertsmomendi:

$$I = \frac{F_{cr} l^2}{\pi^2 E} = \frac{342600 \cdot 1{,}2^2 \cdot 4}{\pi^2 \cdot 2{,}1 \cdot 10^{11}} = 9{,}52 \cdot 10^{-7} m^4 \qquad (29)$$

Teades inertsmomendi I valemit:

$$I = \frac{\pi d^4}{64}, \qquad (30)[9: 168]$$

kus d – varda läbimõõt m;

on võimalik leida minimaalne kolvivarre läbimõõt:

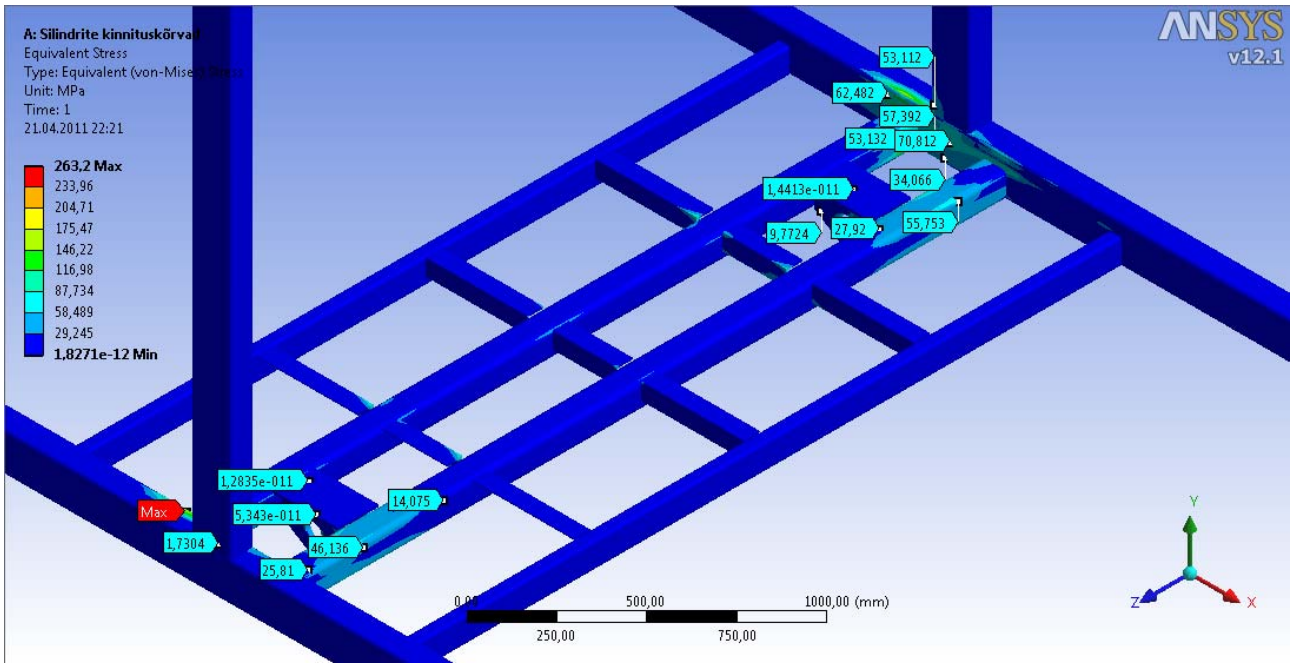
$$I = \frac{\pi d^4}{64} \Rightarrow d = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot I}{\pi}} = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 9{,}52 \cdot 10^{-7}}{\pi}} = 0{,}066m = 66mm$$

Tootja pakutud silindril on kolvivarre läbimõõduks 70mm, seega on tugevustingimused täidetud.

Oluline näitaja silindrite kasutamise juures on ka nende liikumiskiirus. See sõltub otseselt silindri läbimõõdust ning pumba tootlikkusest. Mida suurema läbimõõduga silinder, seda aeglasem on liikumiskiirus. Teistpidi, mida suurem on pumba tootlikkus, seda kiirem on liikumiskiirus. Käesoleva projekti juures, aga kasutatakse juba olemasolevat pumpa, mistõttu ei ole võimalik muuta selle tootlikust. See tähendab, et silindrite liikumiskiirust ei ole võimalik muuta. Samas ei ole see ka oluline, kuna vanad silindrid on sama läbimõõduga, kui uued, tänu millele jääb nende liikumiskiirus samaks. Probleem oleks tekkinud juhul, kui paigaldatavad uued silindrid oleksid oluliselt suurema läbimõõduga ja liikumiskiirus oleks seetõttu oluliselt langenud.

Nagu varem mainitud, kinnituvad silindrid karkassi külge selle keskkoha lähedal. Võimaldamaks kindlamat kandevõimet, on sealkohas põiksidemeteks olevad torud väiksema vahega. Nende vahele keevitatakse silindri kinnituskõrvade tugiplaat ning kõrvad ise. Analoogne konstruktsioon on ka praegusel 12. kai tuubusel. Kontrollida tuleb, aga nende kahe toru kandevõimet. See peab olema piisavalt suur, et pidada vastu koormatud tuubuse raskusele. Kasutatava profiili tüübi määramiseks kasutatakse jällegi arvutil analüüsimist. Nendest selgus, et parim on kasutada nelikanttoru RHS100x100x8. Tulemused on näha selel 20.

Analüüs näitas, et valdavas enamuses jäävad pinged alla 70MPa. Samas mõnes väikses punktis tõusevad kuni 263MPa'ni, jäädes ikkagi alla terase S355J2H voolavuspiiri, tänu millele ei ole nad ka ohtlikud.



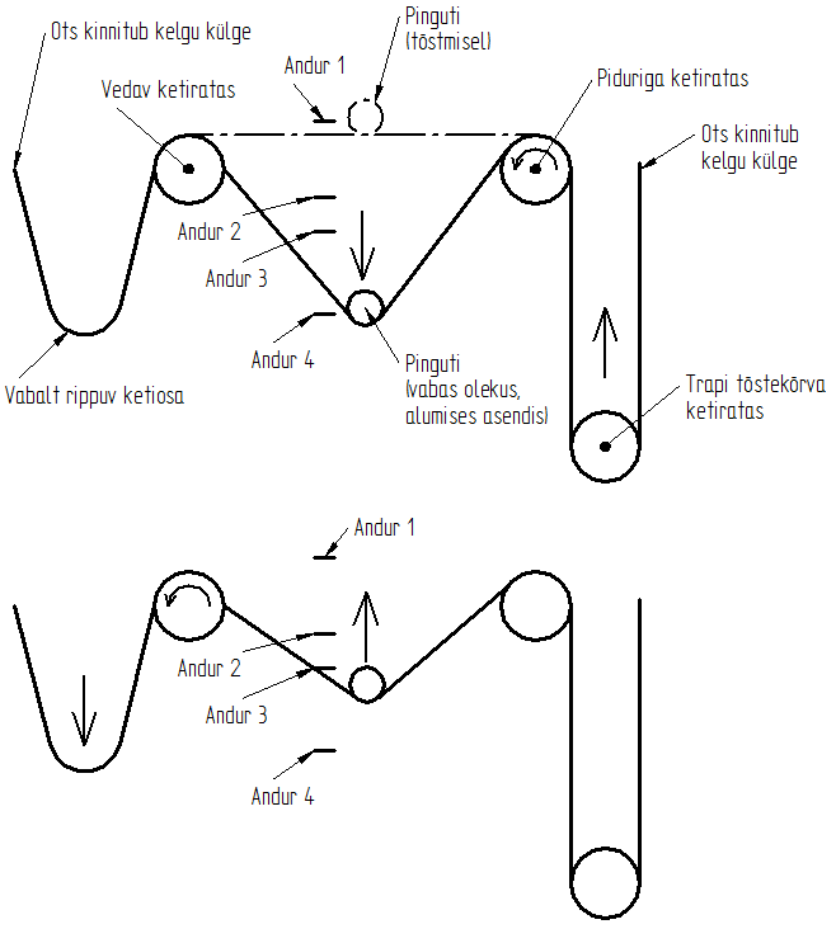
Sele 20. Pinged silindrite kinnituskõrvade kandetalades

5. JUHTIMISSÜSTEEM JA AUTOMAATIKA

Sadama soov oli, et automaatika osa oleks võimalikult väike, kuna nende arvates pidi see pigem segama. Seetõttu sai tuubus projekteeritud ka võimalikult lihtsana. Siiski ei saa piisavat ohutust ilma automaatikata tagada. Vanal tuubusel on juba olemas korralik juhtsüsteem koos Omron'i kontrolleriga. Samas ei ole säilinud selle juhtprogrammi ning ka vabasid sisendeid-väljundeid ei ole piisavalt. Kontrollerist on muidugi võimalik ka programm välja lugeda, aga kuna sealt tuleb see ilma kommentaarideta, siis on kirjutatust arusaamine ning sobivalt ümbertegemine väga suur töö. Kaaludes erinevaid variante, selgus, et kõige parem on panna vana kõrvale uus kontroller, mis hakkab juhtima tuubuse projekteeritava osa toimimist. Vana juhtsüsteem tuleb siiski nii palju ümber teha, et säiluks selle töövõime ka ilma silindrite ujuvasendita. Ilmselt tuleb mõni andur lahti ühendada ning mõne signaal tuua otse kontrolleri sisendisse. See, kumb kontroller otseselt hakkab juhtima rambi tõstesilindreid, selgub hiljem, automaatika ehitamise käigus. Vanalt süsteemilt on võetav ka sagedusmuundur, millega juhiti tuubuse sisemise osa väljaliikumist. Kuna uuel on aga kelk, mille küljes kaks kolmefaasilist elektrimootorit, siis on vaja lisaks olemasolevale veel ka ühte uut.

Juhtimine hakkab toimuma tuubuse seest, seinale kinnitatud juhtpuldist. Trapi sisse-välja ning üles-alla liikumiste juhtimine on dubleeritud veel ka väiksemas, portatiivses juhtpuldis. Seinal olevast puldist juhtides ei ole operaatoril just kõige parem ülevaade toimuvast. Kaasaskantav aga võimaldab operaatoril minna lähemale ning otsida koht, kus laevakinnitus ning poom on selgemini nähtavad. Seega kasutusmugavus ning samuti ka ohutus on parem.

Täpsem automaatika lahendus projekteeritakse ning valmistatakse allhankija poolt, aga neile on ikkagi vaja ette anda teatud tingimused. Tähtsamad neist on andurite tüüp, arv ning asukoht. Tuubuse ohutuks toimimiseks minimaalne andurite arv on 9. Neli neist on induktiivandurid, mis jälgivad ketipinguti asukohta. Kui kett peaks liiga pingule või liiga lõdvaks jääma, siis automaatika kerib vastavalt ketti juurde või vähemaks. Äärmised andurid annavad signaali kerimise alustamiseks ning seesmised lõpetamiseks. Selline lahendus tagab, et automaatika alustaks tööd siis



Sele 21. Ketipinguti automaatika toimimise skeem trapi kerkimisel

kui vaja ning töötaks täpselt nii palju kui vaja, mitte rohkem ega vähem. Süsteemi põhimõte on näidatud selel 21. Kui trapp tõuseb, vajub ketipinguti allapoole, kuni andur 4 annab signaali. Seepeale lülitab automaatika sisse tõstemootori ning kerib ketti pingumale. Mootor töötab nii kaua, kuni andur 2 annab signaali. See tähendab, et ketipinguti on jõudnud oma töökäigu keskele. Trapi langedes toimub protsess vastupidi. Andur 1 käivitab keti juurdeandmise ning andur 3 lõpetab selle. See protsess toimub ainult juhul, kui laev kas laaditakse väga täis või lossitakse tühjaks, mistõttu ta siis vastavalt vajub või kerkib. Lainetel kõikumise kompenseerimiseks piisab pinguti töökäigust ja automaatika ei sekku.

Laeva kerkimise puhul lossimise ajal võib tekkida ka oht, et trapi nurk tuubuse sees läheb liiga suureks, mistõttu võib juhtuda, et varikatus muljutakse vastu karkassi lage puruks. Laeva vajumisel jällegi tekib oht, et trapp jääb rambi põranda peale kandma ning tõstetakse seetõttu laeva poomi

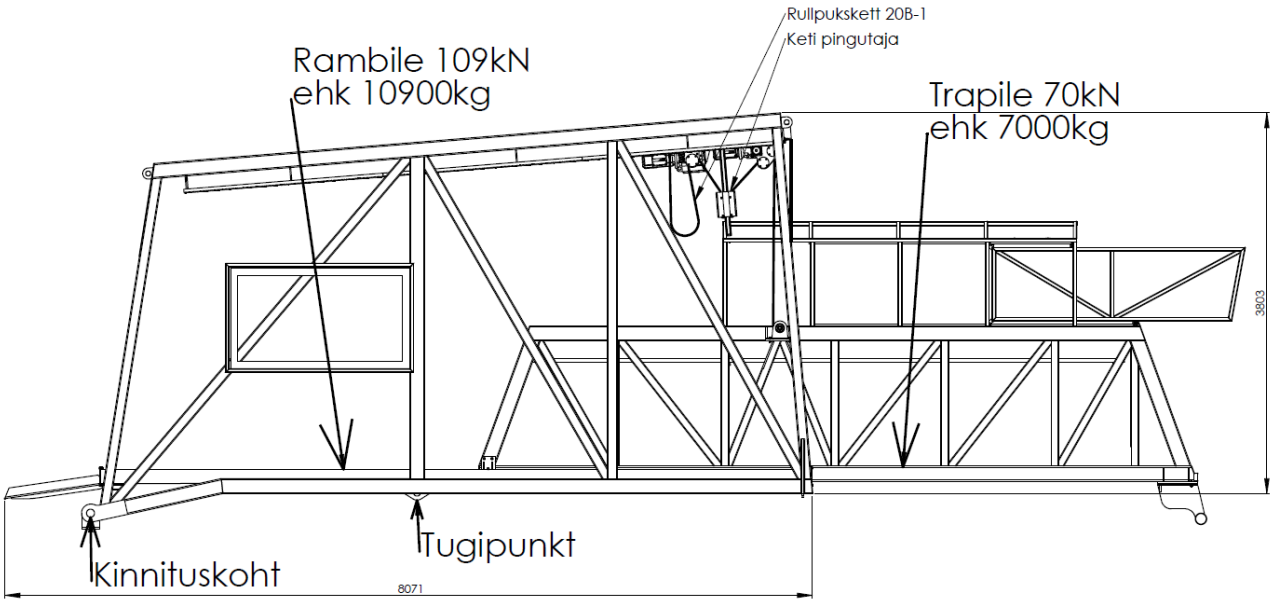
küljest lahti. Nende probleemide vältimiseks pannakse karkassi esimese alumise põiksideme külge ultraheliandur, mis mõõdab pidevalt trapi kaugust. Tänu sellele teab automaatika pidevalt, kui kõrgel või madalal trapp parasjagu asub ning saab vajadusel korrigeerida selle asendit rambi suhtes välimise karkassi tõstmise või langetamisega. Samas ultraheliandur annab välja analoogsignaali. Kontrolleri sisendid aga on digitaalsed. See tähendab, et kontrollerile tuleb lisaks panna veel ka analoogsisendi moodul.

Ülejäänud 3 andurit on piirasendite määramiseks. Kaks neist kelgu jaoks, selle juhtsiini alguses ja lõpus. Need andurid peatavad kelgu liikumise õigeaegselt, välistades mehaaniliste vigastuste tekkimise. Ilma piirajateta võiks kelk sõita vastu juhtsiini otsakatteid ning midagi ära lõhkuda. Kolmas andur on trapi juhtsiini küljes, kus käivitab häiresignaali, kui trapp tõmmatakse liiga kaugele tuubuse seest välja. Helisignaal annab inimestele hoiatuse ning võimaldab neil ohutsoonist lahkuda. Vähemalt üks andur peab jälgima ka trapi ühendust laevaga, et selle eraldumise puhul käivitada avariisignaal.

Ehkki esialgu ei ole plaanis tuubusele teha hädatõste funktsiooni ning ka hädapidurisüsteem on alles väljatöötamise järgus, on siiski ette nähtud reservkohad vajalike andurite paigaldamiseks. Nende hulgas on eelkõige andurid, mis jälgivad trapi paiknemist laeva küljes ehk täpsemalt poomi olemasolu laevakinnituse all. Samuti on kontrolleril vajalik sisendi olemasolu piduri rakendumise signaali jaoks. Kuna ilmselt hakatakse kontrollerina kasutama Siemensi 200nda seeria mudelit, mille sisendite-väljundite arv ei ole piisav, siis tuleb sellele lisada veel ka laiendusmoodul, mis nende arvu suurendab.

6. KOORMUSKATSED

Tuubuse näol on tegu seadmega, milles liiguvad inimesed. Seetõttu on, vastavalt masina ohutuse seadusele ning Europa Parlamendi ja nõukogu direktiivile 2006/42/EÜ, ohutuses veendumiseks vaja teostada koormuskatse. Selle käigus koormatakse konstruktsioon temale ettenähtud maksimaalse raskusega, suuremaga kui ta tegelikkuses ilmselt üldse kokku puutub, arvestades katsetustegurit. Kui kõik vastu peab ja töötab nii, nagu ette nähtud, on tuubus piisavalt ohutu ning kasutamiseks kõlblik. Katse läbiviimisel imiteeritakse reaalset olukorda võimalikult täpselt. Seega kinnitatakse tuubus kahest kohast, kinnituskõrvadest ning tõstesilindrite kõrvadest. Kasutades erinevaid raskusi, nagu näiteks liivakotte, tekitatakse rambi ja trapi põrandale koormus 5,0kN/m^2. Seejuures on trapi väljaulatus maksimaalne, kuna see on konstruktsiooni jaoks kõige ebasobivam ning pinged karkassis on suurimad. Selel 22 on näha koormuste ja kinnituskohtade asukoht.



Sele 22. Tuubuse koormamise skeem

7. OHUTUSNÕUDED

Tuubuse ohutuks toimimiseks ning vältimaks inimeste ning tehnika vigastamist tuleb järgida kindlaid nõudeid:

1. Tuubust opereerib korraga üks inimene. Ohutuse tagamiseks võib teine inimene liikumispiirkonda jälgida.

2. Enne tuubuse või selle trapi liigutamist tuleb veenduda tegevuse ohutuses ja, et kedagi ei ole tööpiirkonnas.

3. Tuubuse liigutamise alustamisel peab käivituma helisignaal ning –lambid, mis hoiatavad lähedal viibivaid inimesi. Kui nimetatud signaal või lambid ei peaks toimima, on tuubuse liigutamine keelatud.

4. Muutes suure raami kõrgust, tuleb koheselt selle riivid uues asendis lukustada, enne kui asutakse liigutama rampi või trappi. Raami hoidmine mingil kõrgusel, ilma lukustatud riivideta, on keelatud.

5. Peale trapi ühendamist laevaga, tuleb juhtpult lülitada automaatrežiimile.

6. Trapi ühendamisel laevaga, tuleb kontrollida, et selle ja karkassi põranda ning lae vahel oleks piisavalt liikumisruumi. Vastasel juhul võib trapp enne viga saada, kui automaatika sisse lülitatakse.

7. Trapi väravad tohib avada alles peale laevaga ühendamist ning tuleb uuesti sulgeda enne trapi lahti tõstmist.

8. Trapi liigutamise ajal peab liikuv katus olema sisemises või keskmises asendis. Vastasel juhul võib liikuv katus viga saada. Seega tohib katuse välja lasta alles peale trapi laevaga ühendamist ja enne maha tõstmist tuleb katus uuesti sisse tõmmata.

9. Trapi ja tuubuse põranda vahele minek on keelatud, eriti kui tuubus on automaatrežiimis, kuna automaatika võib rampi tõsta, nii et rambi põranda ja trapi vahe väheneb.

10. Tugeva tuule korral tohib trapp olla laevaga ühendatud ainult reisijate peale- või mahamineku ajaks ja sel ajal peab olema ka keegi sadama töötajatest tuubuses, et veenduda toimingu ohutuses .

11. Trappi sisse tõmmates, tuleb see lasta põrandale nii, et esiotsas olevad fiksaatorid lähevad rambi otsas olevatesse pesadesse. Muus asendis, laevast lahti ühendatuna, trappi hoida ei ole lubatud.

12. Tuubus on projekteeritud selliselt, et laeva ootamatu kaist eemaldumise korral, puruneb esimesena laevakinnitus. Peale sellise õnnetuse toimumist, tuleb üle kontrollida kõik tõstesüsteemi laagrid ja võllid ning ketid. Vigastuste ja deformatsioonide avastamisel tuleb osa välja vahetada. Vigastatud tuubuse kasutamine on keelatud!

13. Tungivalt soovitatav on tuubust hoida allapoole kaldus. Sel juhul voolavad sademed välja-, mitte sissepoole ning põrandad ei muutu nii libedaks. Eriti oluline on see ajal, mil väljas on miinuskraadid.

14. Miinuskraadidega võivad põrandad libedaks muutuda, tuleb olla ettevaatlik.

15. Laevakinnituse poldid peavad olema piklike avade keskel, kui nad on kuskil servas, tuleb kinnituse asendit kohendada.

8. MAJANDUSLIK OSA

Tööde maksumuse arvestamisel on ettevõttes välja kujunenud süsteem, et nende hinda arvutatakse kilogrammi põhiselt. Sedasi leitakse otsekulud toote valmistamiseks. Tavaliselt ja ka antud projekti puhul koosneb see neljast põhikomponendist:

1. materjalide maksumus,
2. ostutoodete maksumus,
3. tööjõu kulud,
4. allhankekulud (keeviskontroll, värvimine).

Eelnevale lisanduvad veel ka väiksemad kulud, nagu koormuskatse läbiviimine. Sellise meetodiga saadud otsekulud on müügimeestele aluseks, mille põhjal määrata müügihind. Katmaks ettevõtte ja tootmise üldkulusid, on välja arvestatud, et otsekuludele tuleb müügihinna leidmiseks lisada veel vähemalt 23%. Müügimees peab ise tundma turusituatsiooni ning klienti ja selle järgi määrama õige protsendi. Mõned projektid tehakse küll väiksema protsendiga, samas teised jälle suuremaga. Tähtis on, et keskmiselt oleks müügihinnad rohkem kui 23% võrra suuremad otsekuludest. Selles juurdehindluse protsendis sisalduvad kõik ettevõtte tegevusega seotud kulud nagu näiteks tehase valgustus, küte, rendihinnad, müügimeeste lähetustasud jne.

Peale erinevate osade maksumuse kindlaks tegemise, on võimalik leida kogu toote hind. Tulemused on toodud koondtabelis 4.

8.1 Materjalide maksumus

Teades tuubuse valmistamiseks kuluva terase ja alumiiniumi massi, on võimalik välja arvutada ka kulutused nende ostmiseks. Hoolimata erinevate profiilide ning erinevate paksustega lehtede erinevast massist pikkus- või pindalaühiku kohta, on nendes leiduva metalli hind mahu järgi sama.

Näiteks 1kg 10mm lehtmaterjali maksab enam-vähem samapalju kui 1kg 30mm paksust. Nii saab materjali maksumuse arvutada kilogrammide järgi. Seejuures peab aga arvestama, et profiilmaterjali ning lehtmaterjali hinnad on mõneti erinevad.

Tuubuse projekteerimise käigus selgus, et selle lõplikuks massiks kujuneb ligikaudu 4400kg, millest 4190,8kg on metall ning ülejäänud on ostutooted. Materjalide jagunemine markide ja suuremate koostude kaupa on ära toodud tabelis 1. Nende andmete põhjal, ning teades metallide hindu kilogrammi kohta, on võimalik leida ligikaudne materjalide maksumus. Tabel 2 esitab saadud tulemused margi järgi. Hinnad on võetud ettevõtte kogemustele ja hinnapäringutele tuginedes.

Lisaks materjalidele, mida töödeldakse tehases, on tuubuse valmistamiseks vaja veel ka ostutooteid. Nendeks hulka kuuluvad:

- kinnitusvahendid (poldid, mutrid, seibid, lukustusrõngad), 126,98€;
- laagrid, 365,80€;
- hammasrattad ja –hammaslatid, 719,60€;
- rullpukskett, 186€;
- mootorid ja sidurid, 2020€.

Kokku kulub ostutoodetele 3418,38€, mis sisaldab ka tarnijate transporti tehasesse.

Tabel 1

Materjalide kogused koostude kaupa

Koostu nimetus	Mass, kg	Materjali tüüp	Materjali mark	Kogus, kg
Põhiraam	2976	Profiilteras	S355J2H	2656,4
		Terasleht	S355J2G3	127,6
		Alumiiniumleht	AW 6063	192
Trapp	871	Alumiiniumprofiil	AW 6063-T6	486
		Alumiiniumleht	AW 6063-T6	229
		Terasleht	1.4401	81,2
		Profiilteras	1.4401	56,8
		Terasleht	S355J2G3	18
Kelk	296	Profiilteras	S355J2H	169
		Profiilteras	1.4401	16
		Terasleht	S355J2G3	111
Tuubuse luuk	47,8	Alumiiniumleht	AW 6063-T6	45,4
		Profiilteras	1.4401	2,4
Kokku	4190,8			4190,8

Tabel 2

Materjalide kogused ja maksumus markide kaupa

Nimetus	Mark	Kogus, kg	Hind, €/kg	Maksumus, €
Profiilteras	S355J2H	2825,4	0,89	2514,61
Terasleht	S355J2G3	256,6	0,64	164,22
Profiilteras	1.4401	75,2	6,19	465,49
Terasleht	1.4401	81,2	5,35	434,42
Alumiiniumprofiil	AW 6063-T6	486	3,58	1739,88
Alumiiniumleht	AW 6063-T6	466,4	3,26	1520,46
Kokku		4190,8		6839,08

Lisaks detailide valmistamiseks vajaminevatele materjalidele, kulub veel ka keevitustraati ning -gaasi. Ettevõttes arvestatakse nende, sarnaste projektide lahendamise kogemusele tuginedes, abimaterjalide maksumuseks 0,034€/kg. Seega abimaterjalide kuluks tuleb:

$$4190{,}8 \cdot 0{,}034 = 142{,}49€$$

Kuna karkass kaetakse küljelt profiilplekiga, siis on vaja leida ka selle ligikaudne maksumus. Teades tuubuse külgede pindala:

$$S = 2 \cdot a \cdot b = 2 \cdot 7{,}0 \cdot 3{,}8 = 53{,}2m^2, \quad (31)$$

kus a – tuubuse pikkus (7000mm) m,

b – tuubuse kõrgus (3800mm) m;

ning teades ka kasutatava profiilpleki ligikaudset maksumust, 6,4€/m^2, on võimalik leida selle hind:

$$53{,}2 \cdot 6{,}4 = 340{,}48€$$

Tuubuse kõrgus on võetud 3800mm, kuna selline on see tuubuse esimeses, kõrgemas, otsas. Profiilplekk aga peab ühtlaselt katma kogu külje nii, et välisilme jääks korralik, mistõttu ei saa seda sobivalt tükeldada ja tuleb osta varuga.

Katuseplekk ning ka aken võetakse vanalt tuubuselt, mistõttu nende maksumus läheb montaažikulude alla ja ei ole seega selle töö käsitlusalas.

8.2 Tööjõu kulud

Ettevõttes arvutatakse toote valmistamiseks tööjõule tehtavad kulutused vastavalt toote massile ning tüübile. See ei pruugi alati küll kõige täpsem variant olla, aga see eest on see kiire. Siiski, tuginedes rikkalikule kogemustepagasile ning pidevalt seda korrigeerides, on võimalik saada tööjõukulud piisava täpsusega.

Teades tuubuse massi, milleks on 4400kg, kuna siia sisse arvestatakse ka ostutooted, ning tüüpi, milleks on suuremõõtmeline metallkonstruktsioon, mis sisaldab alumiiniumit, roostevaba terast ning masintöötlust vajavaid detaile, on tema tootmise hinnaks 0,71€/kg. Seega kogu tuubuse valmistamise tööjõu kulu tehases (palgafond) on:

$$4400 \cdot 0{,}71 = 3124€$$

Lisaks keeviskontruktsiooni valmistamisele on vaja teostada ka tuubuse lõppkoostamine, koos koormustestiga. Selle kulu, arvestades tööde mahtu ning seejuures tuubuse massi, on kilogrammi kohta 0,1€/kg. Lõppkoostamise maksumus kokku tuleb seega:

$$4400 \cdot 0{,}1 = 440€$$

Tööjõukuludele lisandub veel ka keevisliidete kontrolli maksumus, mis tuleb tellida ettevõttest väljastpoolt. Eestis on kaks suuremat firmat, kes sellega tegelevad. Nendeks on TIS International ja Tehnokontrolli keskus. Vastavalt hinnapäringutele võib NDT (mittepurustav kontroll) peale arvestada 430€. Täpsem summa sõltub keevitustest ja selgub peale tööde lõppu. See tuleneb asjaolust, et jätkatavad profiilid tuleb kontrollida radiograafilise testiga. Jätkamiste hulk aga sõltub materjali kasutusest, mistõttu praegu on seda raske ennustada. Hetkel piisab ka ligikaudsest summast, milleks on 430€.

8.3 Kulutused värvimisele

Tuubuse näol on tegemist konstruktsiooniga, mis asub mere ääres. Seega on teras lisaks ilmastikukoormusele veel ka soolade ja pritsmete mõju all. Piisava korrosioonikindluse tagamiseks tuleb teraskonstruktsioon katta vastavalt keskkonnaklassile C4 (ISO/FDIS 12944). Nimetatud klassi tagamiseks on kõige parem kasutada Teknos'i värviskeemi K23c, mis on mõeldud sellistes tingimustes kasutamiseks ning sobib eriti ka värvimiseks objektil [21: 40]. Viimane on oluline boonus, kuna montaaži käigus saab värvikiht nagunii kahjustada, mistõttu tuleb kohapeal teostada värviparandusi.

Saamaks teada värvimise hinda, on vaja kõigepealt teada pindala, mis tuleb katta. Kuna konstruktsioon on aga keeruline ning detaile on palju, siis ei hakata kõikide pindala kokku arvutama, vaid võetakse üks keskmise mahuga detail ja leitakse selle järgi keskmine pindala kg kohta. Konkreetse tuubuse juures läheb värvimisele ainult teraskarkass ning kelgu raam. Trappi ei värvita, see jääb paljas alumiinium. Karkassis aga on põhiliseks profiiliks RHS100x100x5. Teades nimetatud toru 1m massi, mis on 14,4kg on võimalik arvutada pindala/massi suhe [8: 7]. Selleks tuleb aga kõigepealt leida välispindala:

$$S_{välis} = 4 \cdot S_{külg} = 4 \cdot a \cdot b = 4 \cdot 1 \cdot 0{,}1 = 0{,}4m^2 \tag{32}$$

misjärel saab leida pindala/massi suhte k_{pm}:

$$k_{pm} = \frac{0{,}4}{14{,}4} = 0{,}028 m^2 / kg$$

Seega kogu teraskarkassi pindala tuleb seega:

$$S_{kogu} = k_{pm}(m_{karkass} - m_{luuk} + m_{kelk}) = 0{,}028 \cdot (2976 - 192 + 296) = 86{,}24m^2 \tag{33}$$

Saadud andmete põhjal on võimalik välja arvutada haavelduse maksumus, värvi kulu ja tööraha. Haavelduse maksumus ja tööraha tulevad mõlemad otse töödeldavast pindalast, värvi maksumus aga vastavalt värvi kulule ruutmeetri kohta. Tegu on neljakihilise värviskeemiga, seega on ka tööraha vaja iga kihi värvimise kohta. Sealhulgas on krunti 2 kihti, millega tuleb arvestada. Tulemused on esitatud tabelis 3. Kokku läheb värvimine maksma 910,71€, mis teeb kilogrammi kohta 0,30€. See on täiesti keskmine hind. Kuna värvimine teostatakse allhankena teises ettevõttes,

siis lisandub veel ka transport sinna ja tagasi, mille hinnaks kokku on 230€. See teeb kogu värvimise allhanke hinnaks 1140,71€. Kilogrammi kohta tuleb lõplik maksumus seega 0,37€

Tabel 3

Värvimise maksumus

Nimetus	Kulu, l/m^2	Maksumus, €/l	Hind, €/m^2	Kokku, €
Haaveldus (koos materjalidega)	-	-	3,2	275,97
TEKNOZINC SS	0,15	7,03	1,06	91,42
TEKNOCRYL PRIMER 3	0,14	5,78	2x0,81	139,71
TEKNOCRYL 90	0,11	10,27	1,13	97,45
Lahusti (20% värvist)	0,08	1,86	0,15	12,94
Töö	-	-	4x0,85	293,22
Kokku			10,56	910,71

Tabel 4

Kulutused tuubuse tootmiseks

Nimetus	Hind, €/kg	Hind, €	Märkused
Materjalid	1,63	7179,56	
Abimaterjalid	0,034	142,49	
Ostutooted	-	3418,38	
NDT	-	430	allhange
Värvimine	0,37	1140,71	allhange
Tootmine	0,71	3124	
Lõppkoostamine	0,1	440	
Kokku	3,61	15875,14	

Toote omahind tuleb kokku 15875,14€, mis, arvestades projekti keerukust, ei ole kõrge hind. Sellele lisandub veel transport ülegabariidilise veosena, automaatika ja hüdraulika ning paigalduse maksumus. Neid aga, arvestades juba töö niigi suurt mahtu, käesolevas lõputöös ei käsitleta. Otsekuludele lisanduvad veel ka ettevõtte kaudsed kulud, milleks on varem mainitud 23% ning kasumi protsent, millest kokku moodustub müügihind. Projekti maksumusega on klient nõustunud ning leping on allkirjastatud.

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks oli projekteerida olemasolevale tuubusele uus esimene osa, mis vastaks sadama tehnilistele tingimustele ja muudele nõudmistele. Töö käigus selgus küll, et osa neist tuli ära jätta või muuta. Näiteks tuli loobuda täispuhutavast sadekattest ning selle asemele teha uudne liikuv katus. Samuti sai tavaliste telfrite asemel loodud rullpuksketil põhinev tõstesüsteem.

Lõputöös sai antud ka lühiülevaade tuubustest üldiselt ning nende tööpõhimõtetest, seejuures tuues välja ka erinevate lahenduste eelised ja puudused. Välja sai toodud ka fakt, et teleskoopsüsteemil põhinevad lahendused on enamlevinumad ning üldiselt turvalisemad. Telfersüsteemiga tuubused on aga ülekaalus Tallinna sadamas, kus hinnatakse nende lihtsust ja töökindlust.

Projekteeritud tuubus ühendab positiivsed omadused nii teleskoopsüsteemiga tuubustelt, kui ka telfritel põhinevatelt. Rullpuksketil põhinev tõstesüsteem võimaldab kasutada trapi tõstmiseks ka automaatikat, mida senine lahendus ei võimalda. Turvalisuse tõstmiseks on esmakordselt tähelepanu pööratud ka sellele, mis juhtub, kui laev ootamatult otste purunemise tõttu kaist eemaldub. Sellises olukorras on laevakinnitus projekteeritud kõige nõrgemaks kohaks. Tekkivate jõudude mõjul purunevad kinnituse poldid ning see murdub trapi küljest lahti. Säästmaks aga loodust ja raha, on ette nähtud ketid või trossid, mis ühendavad laevakinnituse trapiga, vältides selle kukkumist merre. Tänu õigete poltide purunemisele, on välistatud ka oht, et purunevad trapi tõsteketid ning trapp tuubusest välja tõmmatakse. See tõstab aga omakorda tuubuse ohutust.

Tugevusarvutustega on kindlaks määratud ka nii rambi kui trapi karkassis tekkivad sisejõud, mille põhjal omakorda on valitud õige profiilmaterjali suurus. Vastavalt profiilmaterjali seinapaksusele on valitud ka keevisõmbluste kõrgus. Arvutustega on määratud ka tõstesüsteemi mootorite näitajad, võllide läbimõõdud ning ka kõikvõimalike poltide suurused. Saadud tulemused tagavad, et tuubus peab talle ettenähtud koormustele vastu.

Tänu automaatika lisamisele on võimalik tuubusele, peale rullpuksketiga tõstesüsteemi töökindluses veendumist, lisada ka hädatõste funktsioon. See tõstab turvalisust veelgi. Hädatõstesüsteemi

toimimise lihtsustamiseks ning töökindlamaks muutmiseks saab teha ka uue laevakinnituse. Praegune on tehtud olemasolevate eeskujul. Parem aga oleks variant, mis võimaldab, liigse koormuse langemisel trapile, laeva küljest lahti lasta ning seejärel sooritada hädatõste. Hetkel aga ei olnud sadam sellega nõus, kuna kartsid, et see avanemise süsteem võib täiesti süütus olukorras ootamatult rakenduda. Ette on nähtud ka võimalus hädapiduri lisamiseks, mis peataks trapi kukkumise. Selleks on kelgu raami esiküljel avadega kinnitusplaat. Mainitud võimaluste lisamisega tõstetaks tuubuse turvalisus hoopis uuele tasemele, võrreldavale parimate teleskoopsüsteemil põhinevatega. Seega ideed edasiseks arendustööks on olemas.

SUMMARY

The purpose of this graduation thesis is to design a new first section for a gangway in The Port of Tallinn. This is the most important and complicated part of the gangway. A connection mechanism to connect the gangway to a ship is also located in that section. A gangway, also called passenger boarding bridge, is in itself a movable link between the walkways and a ship, enabling people to go on or off board. The graduation thesis is done in cooperation with Ilmarine AS, which has big experiences in design, production, and installation of port equipment. The author of this thesis has worked there for more than a year.

Only the first section of the old gangway will be rebuilt. Other parts will be retained, including outer frame and sections which lay between the first section and the walkway. The purpose of this reconstruction is to overcome problems which the old gangway built in the mid 90's has. It was designed by a Finnish company Finnmecanplan OY and also built by Finns. The main problem is that during winter when sea level is low the gangway's lower position is higher than a ship's door. Also when due to heavy ice conditions a ship was not able to come to the fender line and stayed ~1,5 m away, the gangway did not reach it and therefore was not usable. In addition, there is a problem with inductive sensors which check the presence of the ship door's beam. They are too sensitive and often give false alarms, which causes the gangway to separate itself from the ship.

The new gangway is designed with a new technical solution. It joins positive sides from two main types of gangways. A small bridge made of aluminum is used. The lifting is done with roller chains and a gear motor instead of chain hoists. The roller chains are more reliable than chains which are used in the hoists because they do not jam. At the same time they give the bridge bigger freedom to move with the ship and therefore the forces to which the whole construction is subjected are smaller. New gangway's lowest position is 795 mm below the lowest position of the old gangway and highest position is 740 mm higher. Therefore, serving ships during winter when sea level is low is possible.

The designed new gangway meets the requirements placed by The Port of Tallinn and therefore is suitable. Before the installation in the port, testing will be provided. During the test, the gangway is loaded with weights to its maximum capacity. If there are no failures in frames or other parts then the gangway is safe to operate and will be installed in the port.

In future there is a plan to add an emergency lift function which is designed to preserve the gangway in case the ship floats away from the fender line. It separates the bridge from the ship before it can do any damage to the gangway. Moreover, an emergency brake is in development. The brake should stop the bridge in case of a fall. These systems, when operational, will take safety of the gangway to a whole new level.

VIIDATUD ALLIKAD

1. EVS-EN 1991-1-1:2002 – Eurokoodeks 1: Ehituskonstruktsioonide koormused.
2. Ehituskonstruktori käsiraamat 2. (2002). Toim. T. Masso. Tln: Ehitame, 178lk.
3. Rohusaar J. (2006). Teoreetiline mehaanika. Tln: Tallinna Tehnikakõrgkool, 103lk.
4. Alloy Data Sheet EN AW 6063 [www] http://www.cosmosaluminium.gr/pdf/alloy_data_sheet_6063.pdf (15.03.2011)
5. Mechanical Engineers' Handbook. Third edition. (2006). Toim. M. Kutz. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 1341lk.
6. Aluminium 6082 T6 [www] http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=fad29be6e64d4e95a241624f1f6e1eb7 (15.03.2011)
7. Taschenbuch für den Maschinenbau. (2007). Koost K.-H. Grote ja J. Feldhusen. Berliin: Springer.
8. Ruukki Structural Hollow Sections. (2008). TP 1.2.1 10.2008, 19lk.
9. Jürgenson A. (1985). Tugevusõpetus. Tln: Valgus, 458lk.
10. Steel Grades, Properties and Global Standards. (2010). Avesta: Outukumpu Stainless AB, Avesta Research Centre, 12lk.
11. SKF General Catalogue. (2008). 6000/I EN, 1130lk.
12. EVS-EN 1993-1-8:2005 – Eurokoodeks 3: Teraskonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-8: Liidete Projekteerimine.

13. Teraskonstruktsioonide abimaterjal. (2010). Koostanud G. Kodi. Tln: Tallinna Tehnikaülikool, 80lk.

14. 20B-1-NO12 Chain Half Link, 1-1/4" Pitch BS, Simplex [www] http://www.rollerchains.co.uk/20b-1-no12-chain-half-link-1-14-pitch-bs-simplex-864-p.asp (05.04.2011)

15. Renold Roller Chain. [www] http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0ecf/0900766b80ecf29d.pdf (05.04.2011)

16. Tiidemann M. (2010). Masinaelementide projekteerimise alused. Tln: Tallinna Tehnikakõrgkool, 117lk.

17. SEW-Eurodrive DriveConfigurator [www] https://portal.drivegate.biz/irj/portal?NavigationTarget=navurl://27b9af272614e19b4b636f44ccede7a2 (06.04.2011)

18. Kuggstänger [www] http://www.mekanex.se/pdf/pdfkat/103_o_121_124.pdf (04.04.2011)

19. Cylindriska kugghjul [www] http://www.mekanex.se/pdf/pdfkat/102_120.pdf (04.04.2011)

20. Soots R. (2005). Hüdraulika ja hüdroseadmed. II osa. Tln: Tallinna Tehnikakõrgkool, 56lk.

21. Teknos värvisüsteemide tootekirjeldused [www] http://kemiflora.ee/metall/SKEEMID/skeemid%20K1-K27.doc (09.05.2011)

LISAD

Lisa 1. Tuubus TS 00.00.000

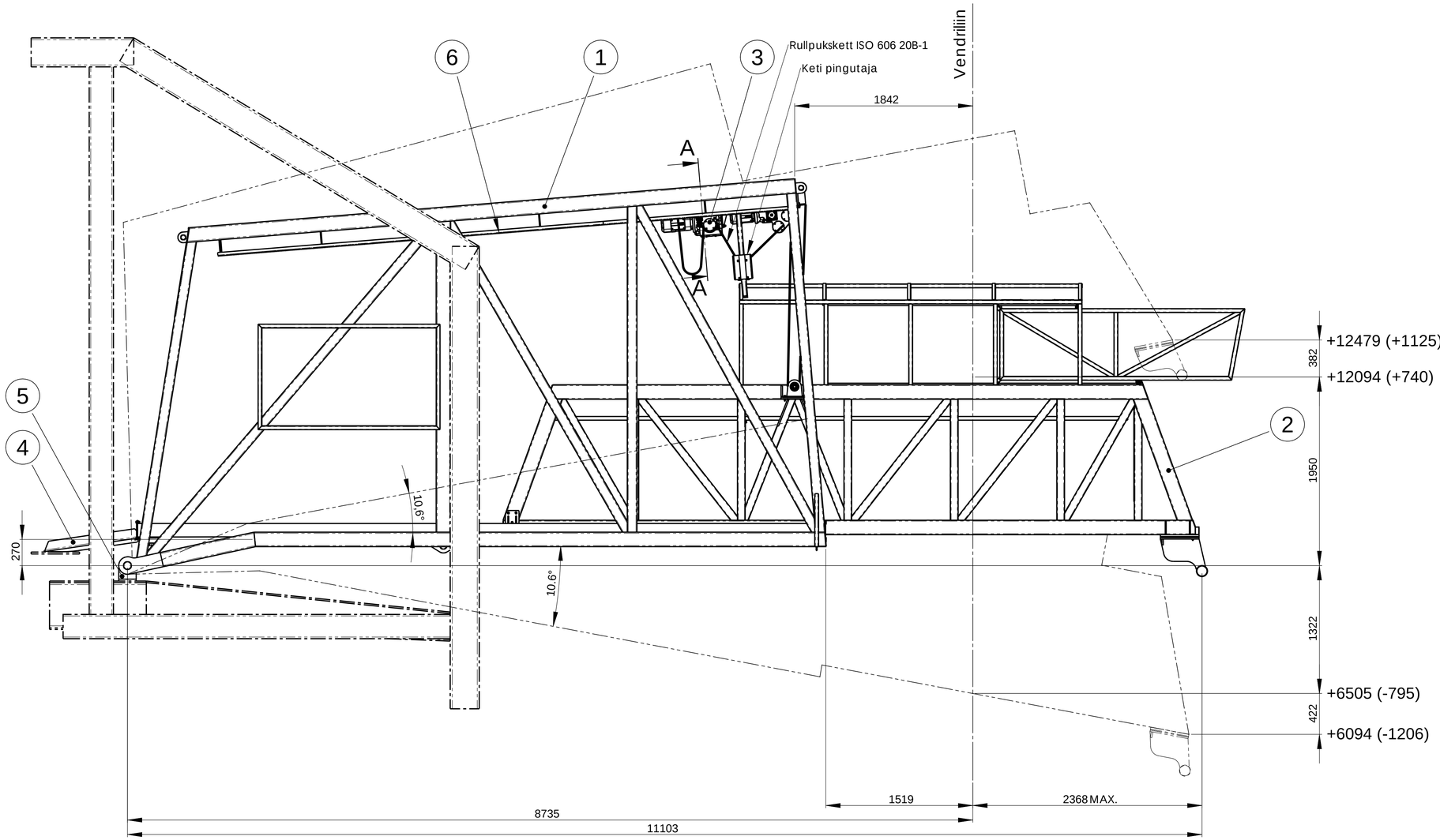
Lisa 2. Põhiraam TS 01.00.000

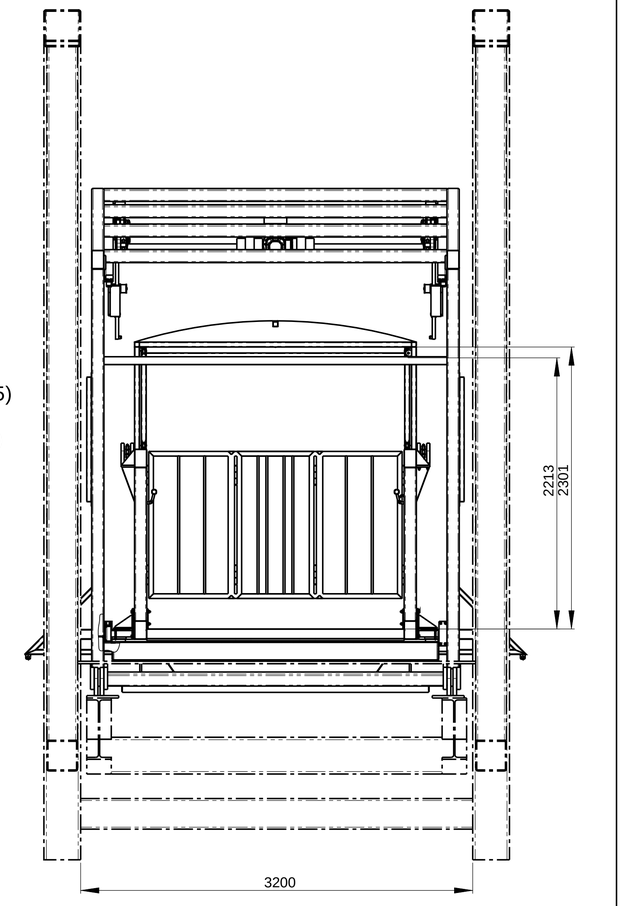
Lisa 3. Karkass TS 01.01.000

Lisa 4. Trapp TS 02.00.000

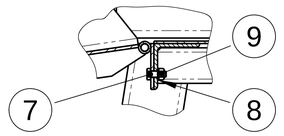
Lisa 5. Kelk TS 03.00.000

Lisa 6. Ketirataste plokid TS 03.02.000

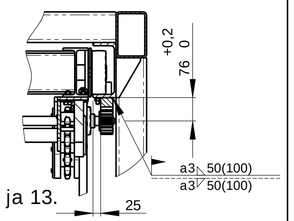


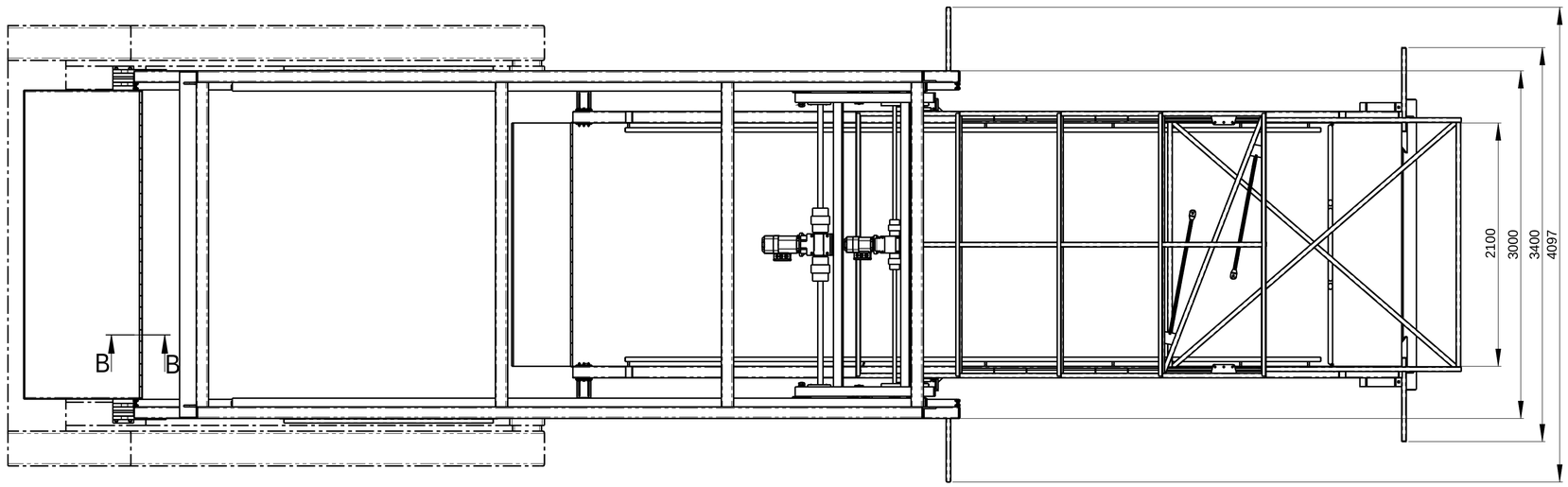


B-B (1 : 5)



A-A (1 : 10)

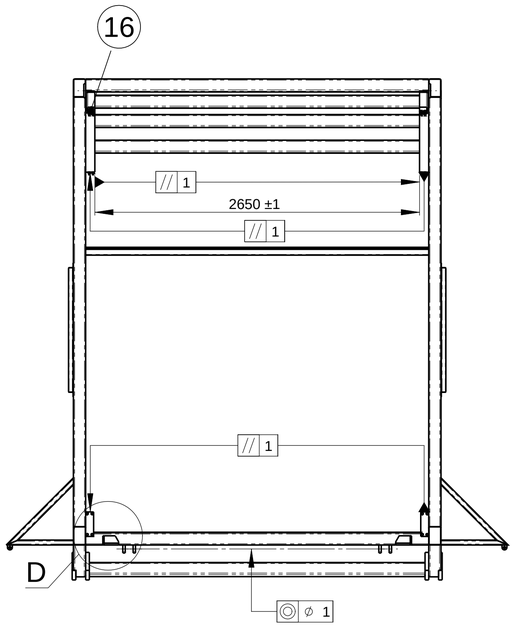


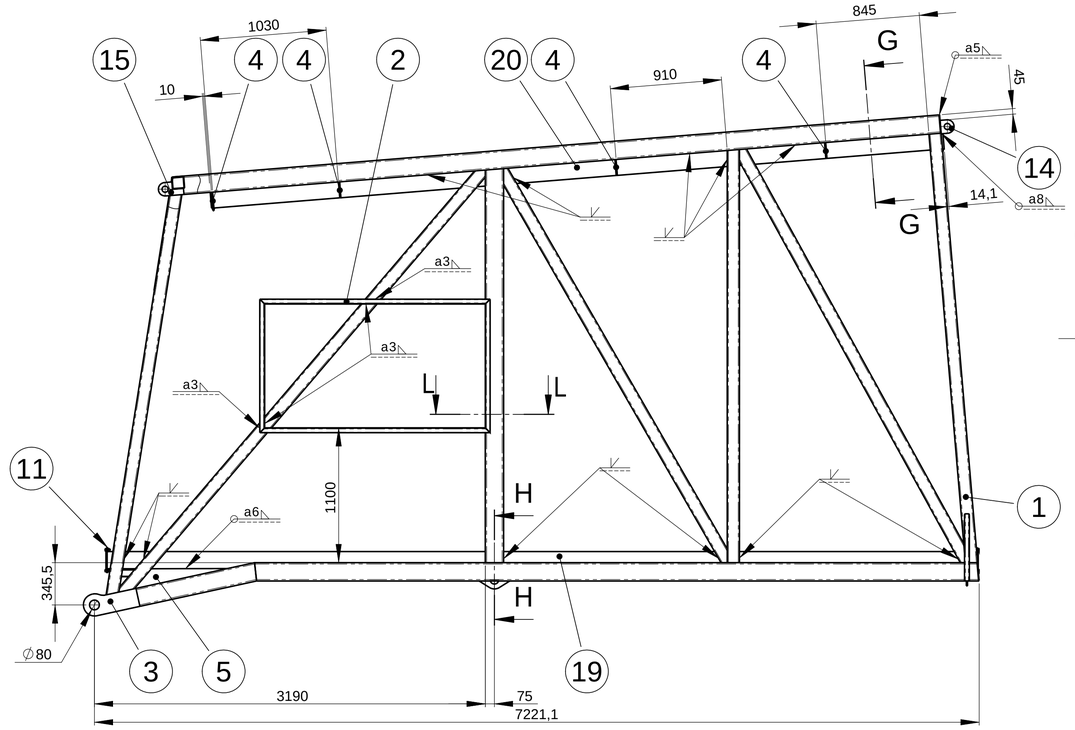


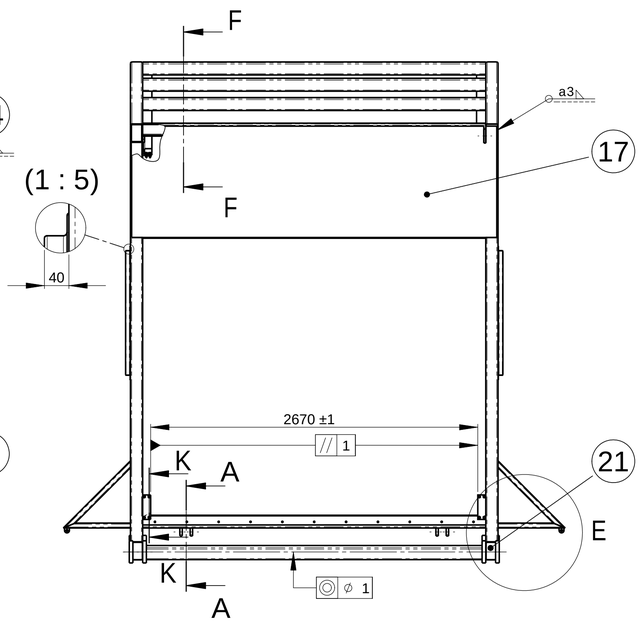
1. Trappi liigutatakse kelguga, analoogselt 5. ja 13. kai tuubustele.
2. Trapi tõstmine käib delfrite asemel reduktormootri ja rullpuksketiga ISO 606 20B-1, millele on hiljem võimalik juurde lisada pidurdussüsteem, vältimaks trapi alla kukkumist laeva äraliikumise korral.

Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
9		Mutter ISO - 4032 - M10 - A4		11	
8		Seib DIN 125 - M10 - A4		11	
7		Polt ISO 4017 - M10 x 20 A4		11	
6		Gear-Rack-K402000-S040-Mekanex		6	
5		Vana raami kinnituskõrv	TS 05.00.000	2	
4		Tuubuse luuk	TS 04.00.000	1	
3		Kelk	TS 03.00.000	1	
2		Trapp	TS 02.00.000	1	
1		Põhiraam	TS 01.00.000	1	

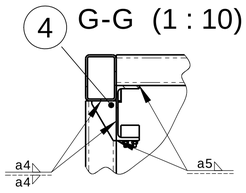
Materjal:		Märkimata piirhälbed: ISO 13920 - AE	Mass:	Mõõt: 1:25
Teostas:	L. Erm	Nimetus: Tuubus		Faili nimetus:
Kontrollis:	J. Särak			
Kinnitas:	M. Tiidemann			
TTK MI81		Leht: 1	Tähis: TS 00.00.000	Formaat: A1

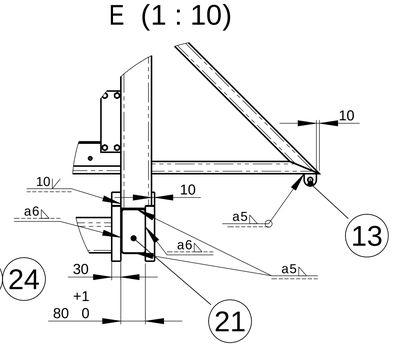


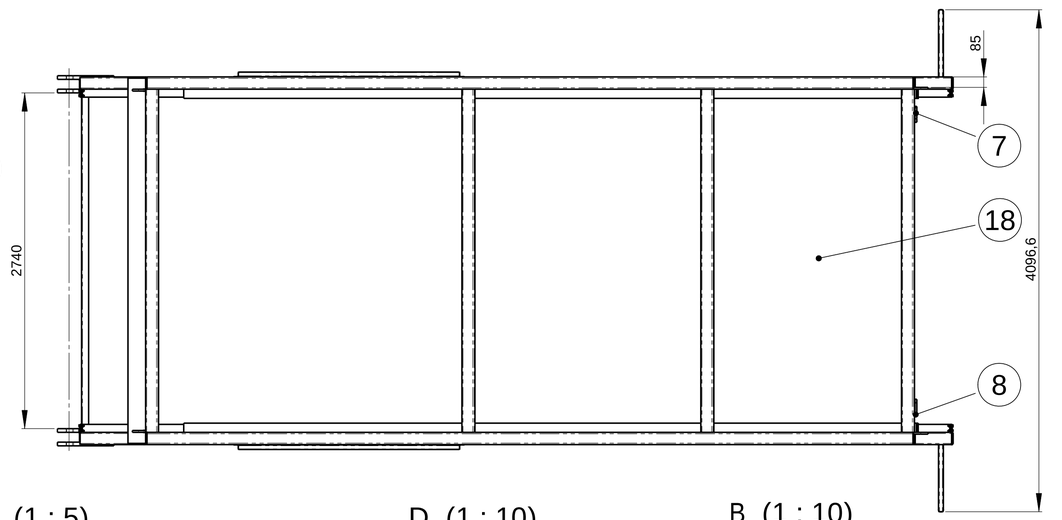


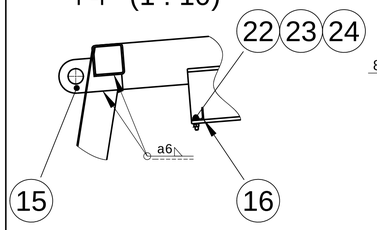


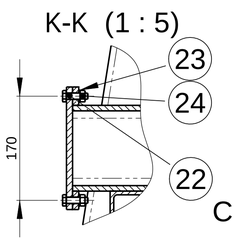
1. Lehtmaterjal: S355J2G3, EN 10025
2. Profiilmaterjal: S355J2H, EN 10219
3. Rihvelpleki sisse puurida karkassi põrandasõrestikus olevate avade järgi neetimiseks avad D=5mm.
4. Rihvelplekk kinnitada tõmbeneetidega 4,8x18mm
5. Keevisõmbluste kvaliteediklass ISO 5817/C
6. Märkimata keevisõmbluste kõrgus a valida materjali paksuse järgi.
7. Faasid keevitada täis.
8. NDT kontroll:
   1. VT - 100%
   2. MT - 100%
   3. UT - 20%
   4. Torude jätkukohad - RT 100%
9. Pinnatöötlus vastavalt keskkonnaklassile C4 (ISO/FDIS 12944).
10. Värvi toon valida vastavalt sadamas olemasolevale tuubusele.

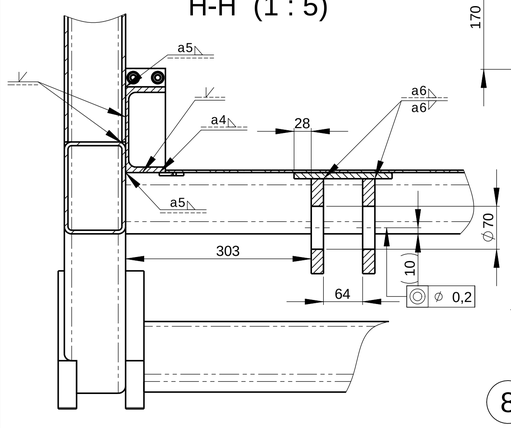


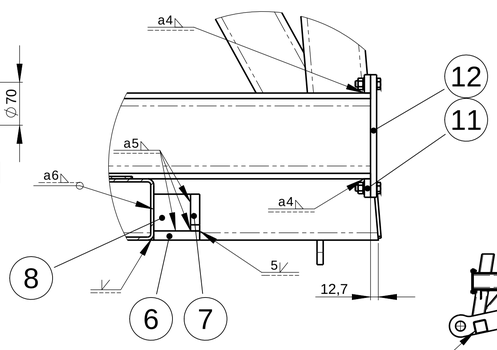


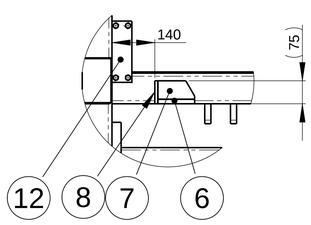


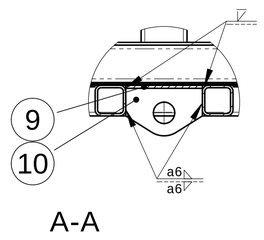


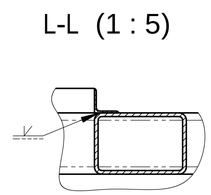


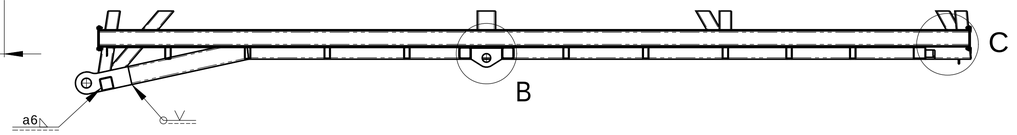






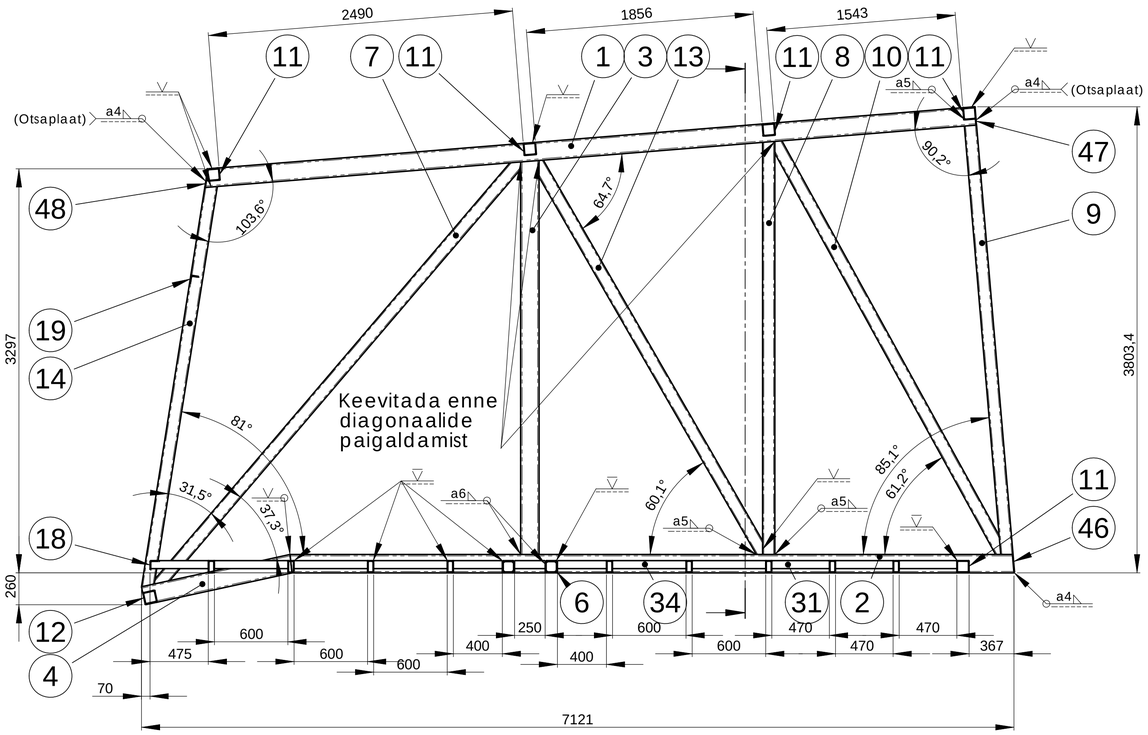


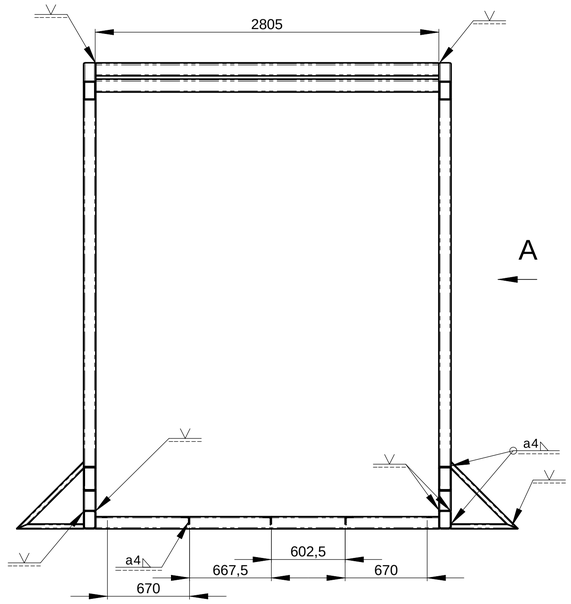


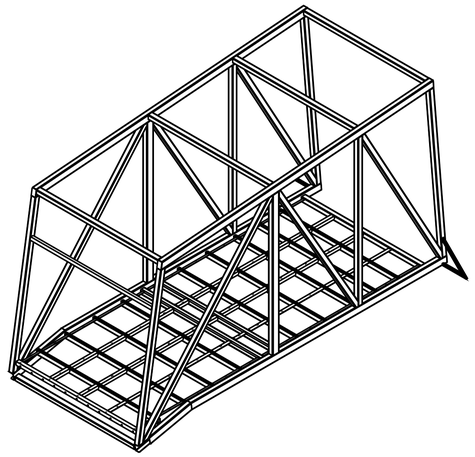


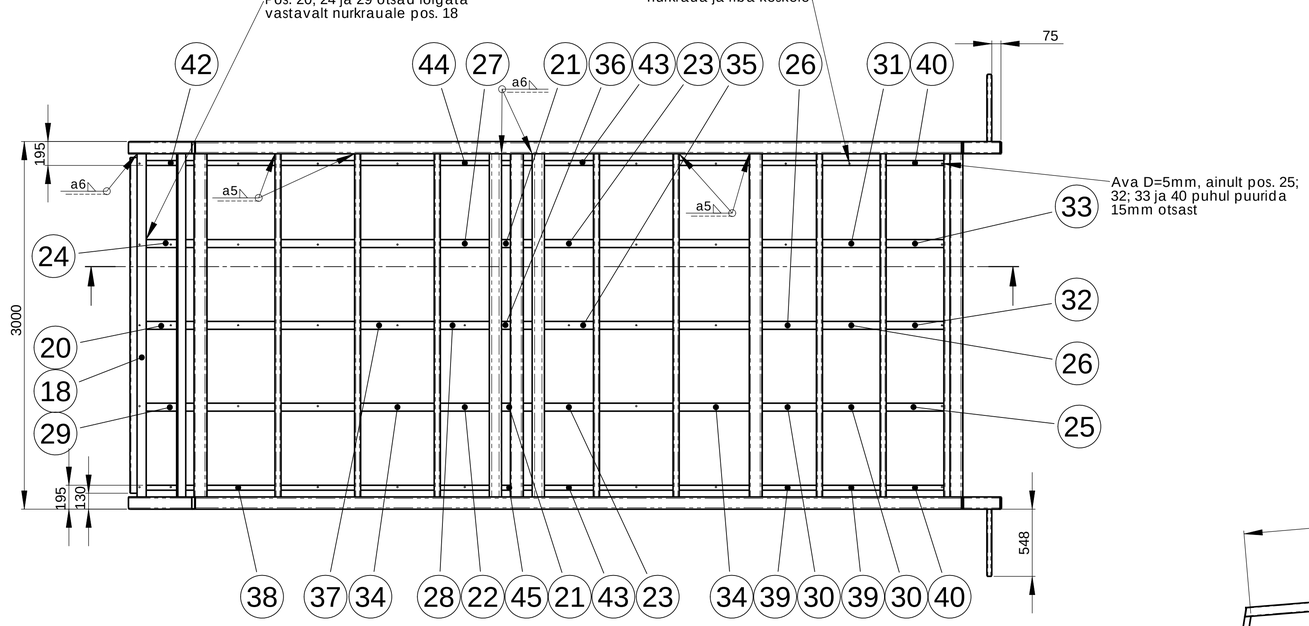
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
24		Mutter ISO - 4032 - M10 - A4		24	
23		Seib DIN 125 - M10 - A4		24	
22		Polt ISO 4017 - M10 x 35 A4		24	
21		Otsaplaat, Leht S=5 77x145		2	
20		Ülemine juhtsiin, UPE 180 x 6000		2	
19		Alumine juhtsiin, UPE 140 x 7100		2	
18		Põrand, Rihvelplekk 2800x7100	Expamet	1	
17		Karkassi otsaplekk	TS 01.17.000	1	
16		Piiraja, L40x40x3x60 avadega	TS 01.16.000	4	
15		Tuubuse tagumine tõstekõrv	TS 01.15.000	2	
14		Tuubuse esimene tõstekõrv	TS 01.14.000	2	
13		Võrgu seekli kinnituskõrv	TS 01.13.000	2	
12		Trapi juhiku otsaplaat	TS 01.12.000	4	
11		Trapi juhiku otsaplaadi kinnitus	TS 01.11.000	8	
10		Silindri kinnituskõrv	TS 01.10.000	4	
9		Silindri kinnituskõrva alus	TS 01.09.000	2	
8		Trapi luku külg	TS 01.08.000	2	
7		Trapi luku otsaplaat	TS 01.07.000	2	
6		Trapi luku alus	TS 01.06.000	2	
5		Tuubuse kolmnurk	TS 01.05.000	2	
4		Kelgu tee tugevduskolmnurk	TS 01.04.000	8	
3		Kinnituskõrv - 30mm	TS 01.03.000	4	
2		Akna raam	TS 01.02.000	2	
1		Karkass	TS 01.01.000	1	

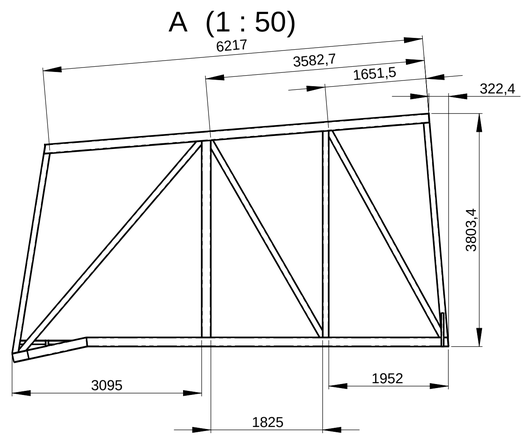
	Materjal:	Märkimata piirhälbed: ISO 13920 - AE	Mass: 2976	Mõõt: 1:25	
Teostas:	L. Erm	Nimetus: Põhiraam		Faili nimetus:	
Kontrollis:	J. Särak				
Kinnitas:	M. Tiidemann				
TTK MI81		Leht: 1	Tähis: TS 01.00.000		Formaat: A1







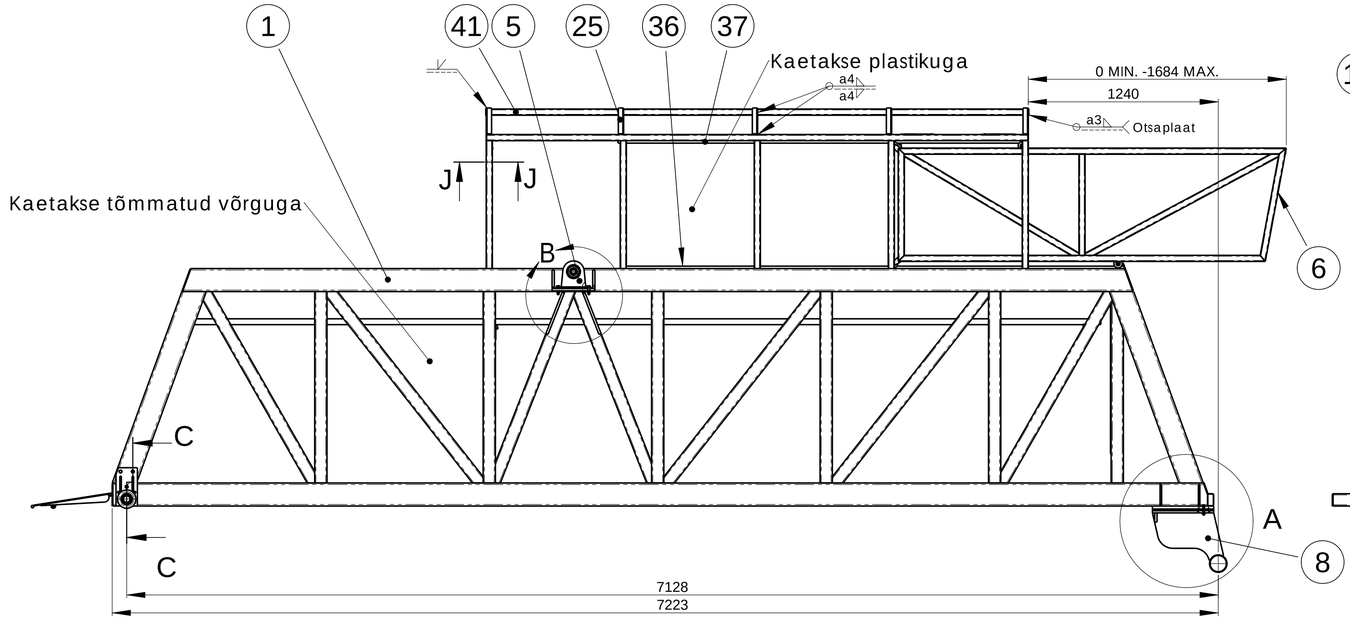


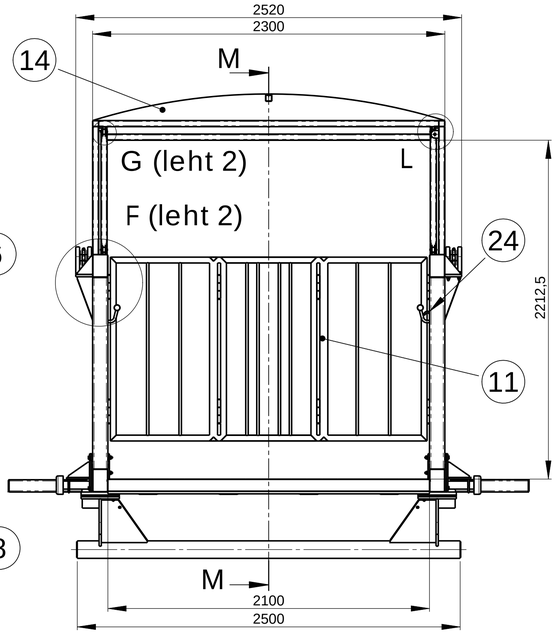


1. Materjal:
   1. profiil: S355J2H EN10219
   2. leht: S355J2G3 EN1002
2. Keevisõmbluste kvaliteediklass ISO 5817/C
3. Märkimata keevisõmbluste kõrgus a valida materjali paksuse järgi.
4. Faasid keevitada täis.
5. Püstiste postide küljed, mis jäävad diagonaalide alla, keevitada enne diagonaalide paigaldamist.
6. NDT kontroll:
   3. MT - 100%
   4. UT - 20%
   5. Torude jätkukohad - RT 100%
7. Pinnatöötlus vastavalt keskkonnaklassile C4 (ISO/FDIS 12944).
8. Värvi toon valida vastavalt sadamas olemasolevale tuubusele.

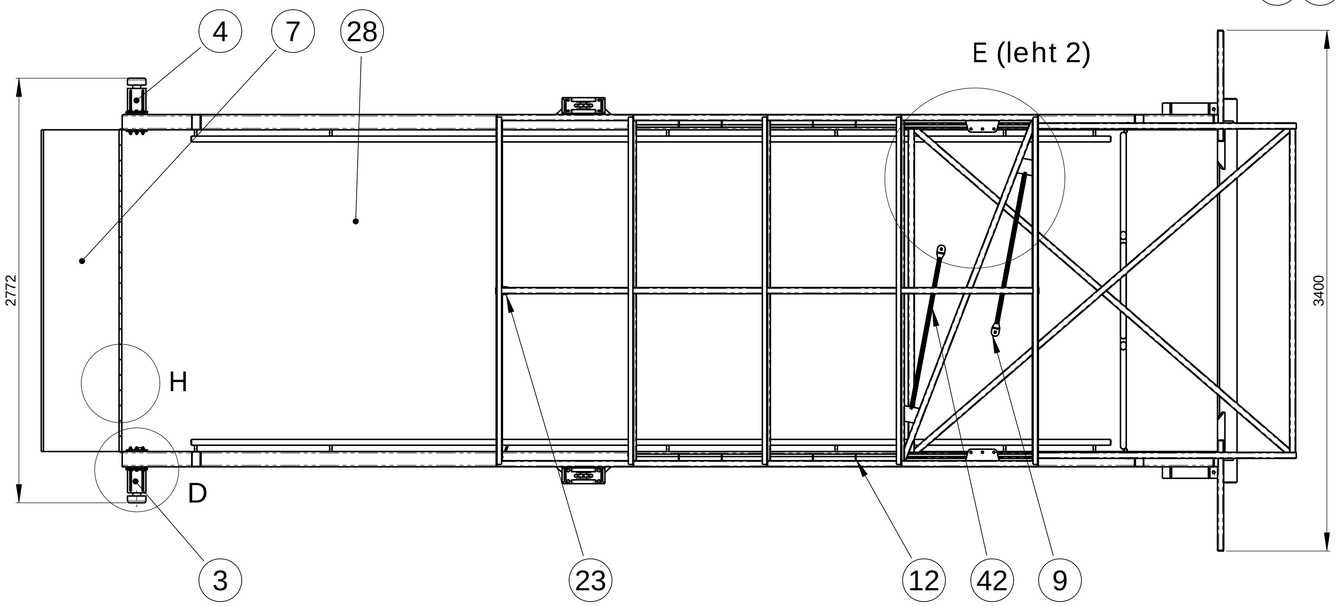
Osa		Nimetus	Tähis	Hulk	Pikkus
48		Otsaplaat, Leht S=5		2	94 x 148
47		Otsaplaat, Leht S=5		2	94 x 144
46		Otsaplaat, Leht S=5		2	94 x 145
45		Ääris, Riba 40 X 5		2	250
44		Ääris, Riba 40 X 5		2	399.52
43		Ääris, Riba 40 X 5		2	400
42		Ääris, Riba 40 X 5		1	403.16
41		Ääris, Riba 40 X 5		1	403.16
40		Ääris, Riba 40 X 5		2	470
39		Ääris, Riba 40 X 5		4	470
38		Ääris, Riba 40 X 5		10	600
37		Nurkraud, L 65 X 65 X 7		5	600
36		Nurkraud, L 65 X 65 X 7		1	250
35		Nurkraud, L 65 X 65 X 7		1	400
34		Nurkraud, L 65 X 65 X 7		10	600
33		Nurkraud, L 65 X 65 X 7		1	470
32		Nurkraud, L 65 X 65 X 7		1	470
31		Nurkraud, L 65 X 65 X 7		2	470
30		Nurkraud, L 65 X 65 X 7		2	470
29		Nurkraud, L 65 X 65 X 7		1	469.48
28		Nurkraud, L 65 X 65 X 7		1	399.52
27		Nurkraud, L 65 X 65 X 7		1	399.52
26		Nurkraud, L 65 X 65 X 7		2	470
25		Nurkraud, L 65 X 65 X 7		1	470
24		Nurkraud, L 65 X 65 X 7		1	469.48
23		Nurkraud, L 65 X 65 X 7		2	400
22		Nurkraud, L 65 X 65 X 7		1	399.52
21		Nurkraud, L 65 X 65 X 7		2	250
20		Nurkraud, L 65 X 65 X 7		1	469.48
19		Äärik, L 65 X 65 X 7		1	2800
18		Tugi, L 75 X 75 X 6		1	2800
17		Konsool, RHS 40 X 40 X 4		2	548.28
16		Diagonaal, RHS 40 X 40 X 4		2	775.39
15		Põikside, RHS 100 X 50 X 5		9	2800
14		Tagumine post, RHS 100 X 100 X 5		2	3323.02
13		Diagonaal, RHS 100 X 100 X 5		2	3697.11
12		Põikside, RHS 100 X 100 X 5		1	2740
11		Põikside, RHS 100 X 100 X 5		5	2800
10		Diagonaal, RHS 100 X 100 X 5		2	3842.22
9		Esimene post, RHS 100 X 100 X 5		2	3517.33
8		Teine post, RHS 100 X 100 X 5		2	3371.12
7		Diagonaal, RHS 100 X 100 X 5		2	4560.58
6		Tugiside, RHS 100 X 100 X 8		2	2800
5		Tagumine vöö, RHS 150 X 100 X 6		1	1240.81
4		Tagumine vöö, RHS 150 X 100 X 6		1	1240.81
3		Keskmine post, RHS 150 X 100 X 6		2	3215.37
2		Alumine vöö, RHS 150 X 100 X 6		2	5909.11
1		Ülemine vöö, RHS 150 X 100 X 6		2	6309.4

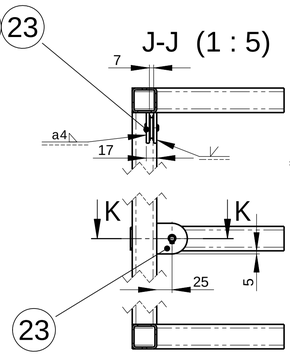
Materjal:		Märkimata piirhälbed: ISO 13920 - AE	Mass: 2150	Mõõt: 1:25
Teostas: L. Erm	Nimetus: Karkass			Faili nimetus:
Kontrollis: J. Särak				
Kinnitas: M. Tiidemann				
TTK MI81	Leht: 1	Tähis: TS 01.01.000		Formaat: A1

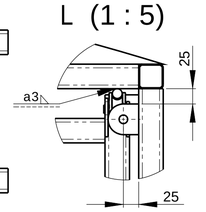


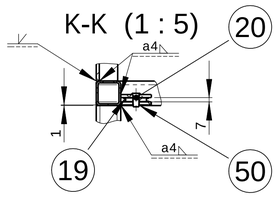


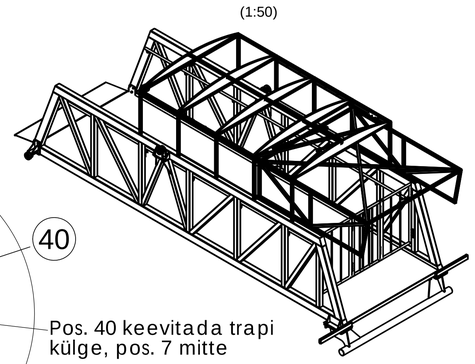
1. Lehtmaterjal: EN AW 6082 T6
2. Profiilmaterjal: RHS 150x100x5 EN AW 6082 T6, ülejäänud profiilid: EN AW 6063 T6
3. Trapp kaetakse alumiiniumist tõmmatud võrguga ja plastikuga analoogselt 5. ja 13. kai tuubustega.
4. Liikuv katus kaetakse plastikuga.
5. Liikuva katuse vastu laeva surumine käib tõmbevedru ja 4mm terastrossiga, läbi blokisüsteemi
6. Keevisõmbluste kvaliteediklass ISO 10042/C
7. Märkimata keevisõmbluste kõrgus a valida materjali paksuse järgi.
8. Faasid keevitada täis.
9. NDT kontroll:
   1. VT - 100%
   2. MT - 100%
   3. UT - 20%
   4. Torude jätkukohad - RT - 100%
10. Laevakinnituse poldid on valitud selliselt, et nad puruneksid enne, kui puruneb trappi tõstev kett.

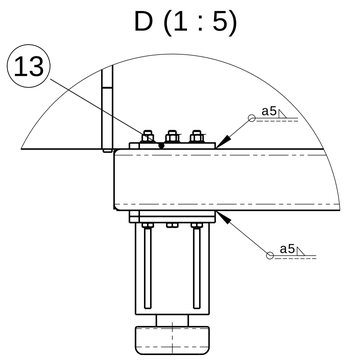


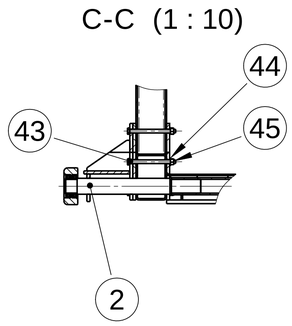


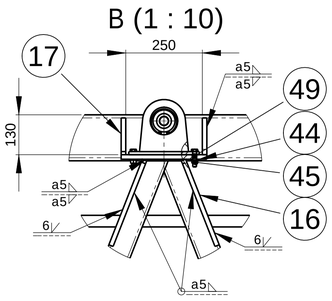


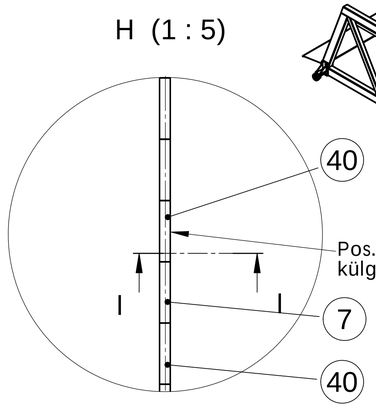


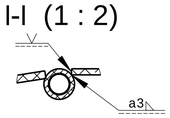








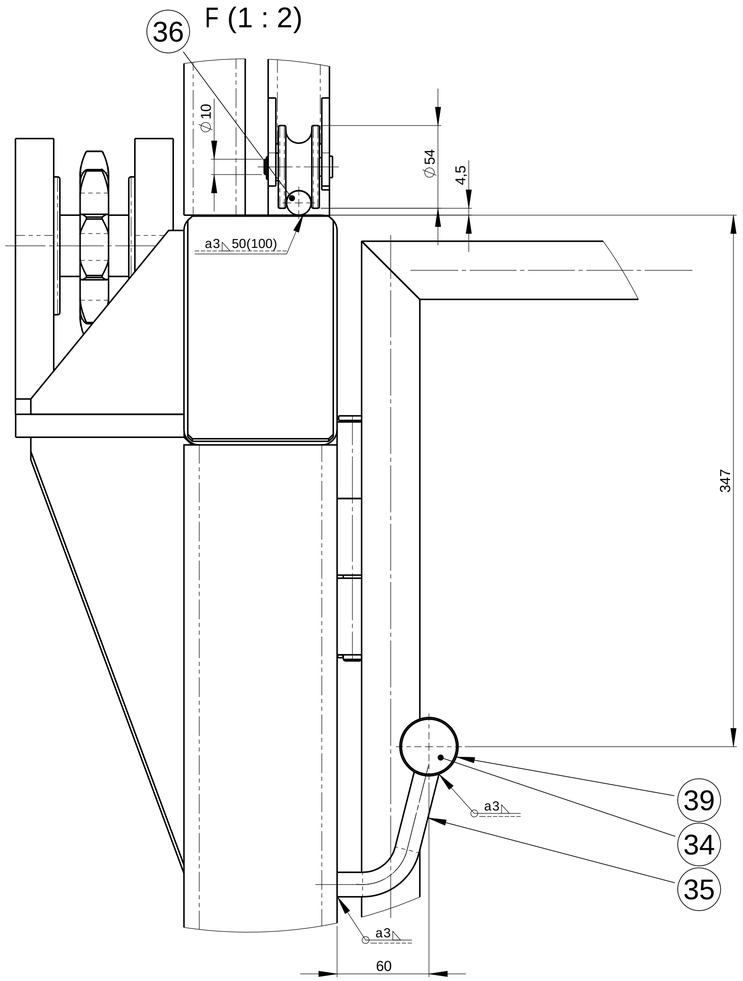




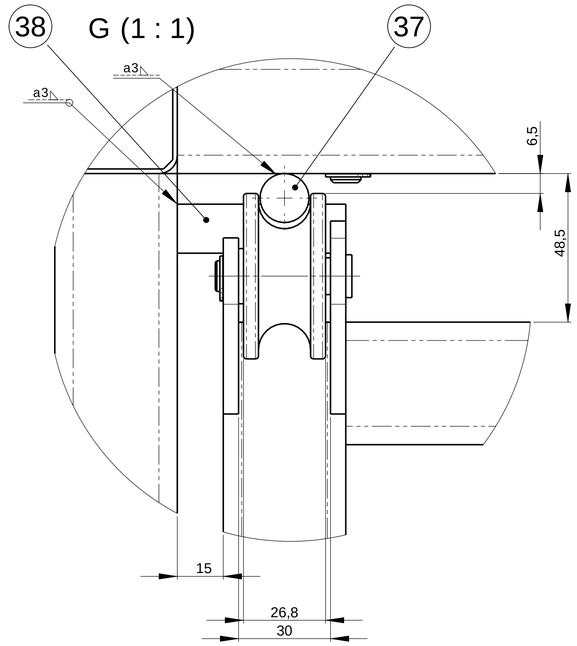
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
50		Lukustusrõngas DIN 471 - 10 x 1		2	
49		Polt ISO 4014 - M12 x 50 A4		4	
48		Mutter ISO - 4032 - M10 - A4		4	
47		Seib DIN 125 - M10 - A4		4	
46		Polt ISO 4014 - M10 x 60 - A4		4	
45		Mutter ISO - 4032 - M12 - A4		14	
44		Seib DIN 125 - M12 - A4		14	
43		Polt DIN 931 A4 - M12 x 150		10	
42		Tõmbevedru SF-TS DIN 17224		2	
41		RHS 40 x 40 x 3.0 x 3540		1	
40		Toru D=20x3,5x100		11	
39		Toru D=38 x 2.0 x 6000		2	
38		Ümar D=16x55		2	
37		Ümar D=16x2665		2	
36		Ümar D=16x3290	TS 02.37.000	2	
35		Ümar D=16	TS 02.36.000	14	
34		Leht S=3, D=36	TS 02.35.000	4	
33		Leht S=3 37x37 alu	TS 02.34.000	2	
32		Leht S=5 40x40 alu	TS 02.33.000	2	
31		Leht S=5 75x95	TS 02.32.000	2	
30		Leht S=10 50x70 alu	TS 02.31.000	2	
29		Leht S=20 250x400 alu	TS 02.30.000	2	
28		Rihvelplekk 2100x7100	TS 02.29.000	1	
27		Värava hinge alusplaat	TS 02.28.000	2	
26		Värava hing	TS 02.27.000	8	
25		Trapi katusekaare äärik	TS 02.26.000	5	
24		Katusekinnituse konks	TS 02.25.000	1	
23		Trossiratta kinnituskõrv	TS 02.24.000	4	
22		Trapi luugi telg	TS 02.22.000	1	
21		Vedru kinnituskolmnurk S=5	TS 02.21.000	2	
20		Trossiratta sõrm	TS 02.20.000	2	
19		Trossiratas	TS 02.19.000	2	
18		Laevakinnituse tugikolmnurk S=10	TS 02.18.000	4	
17		Trapi kinnituskõrva kolmnurk S=15	TS 02.17.000	4	
16		Trapi kinnituskõrva kolmnurk S=15	TS 02.16.000	4	
15		Trapi ketiratta alusplaat alu S=15	TS 02.15.000	2	
14		Trapi katuse kaar S=5	TS 02.14.000	5	
13		Trapi tugevdusplaat S=10	TS 02.13.000	4	
12		Juhtsiini tugikolmnurk S=5	TS 02.12.000	8	
11		Väravad	TS 02.11.000	1	
10		Trossirataste plokk	TS 02.10.000	2	
9		Plokk	TS 02.09.000	2	
8		Laevakinnitus	TS 02.08.000	1	
7		Trapi luuk	TS 02.07.000	1	
6		Liikuv katus	TS 02.06.000	1	
5		Trapi tõstekõrv	TS 02.05.000	2	
4		Trapi telje fiksaator - vasak	TS 02.04.000	1	
3		Trapi telje fiksaator - parem	TS 02.03.000	1	
2		Trapi telg	TS 02.02.000	1	
1		Trapi karkass	TS 02.01.000	1	

Materjal:		Märkimata piirhälbed: ISO 13920 - AE	Mass: 870	Mõõt: 1:20
Teostas: L. Erm	Nimetus: Trapp		Faili nimetus:	
Kontrollis: J. Särak				
Kinnitas: M. Tiidemann				
TTK MI81	Leht: 1/2	Tähis: TS 02.00.000		Formaat: A1

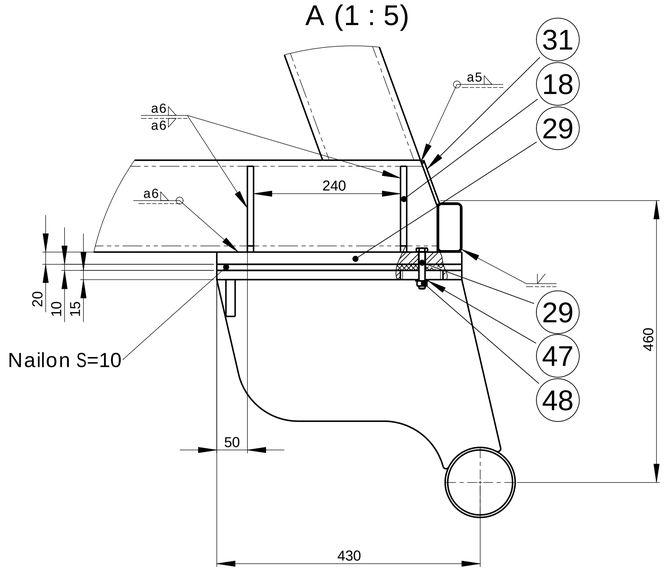
F (1 : 2)



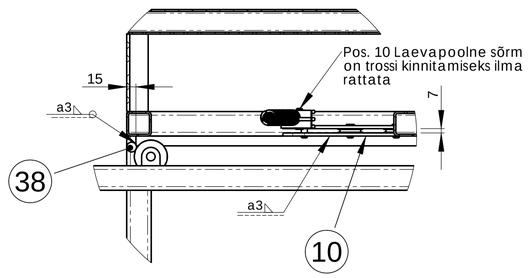
G (1 : 1)



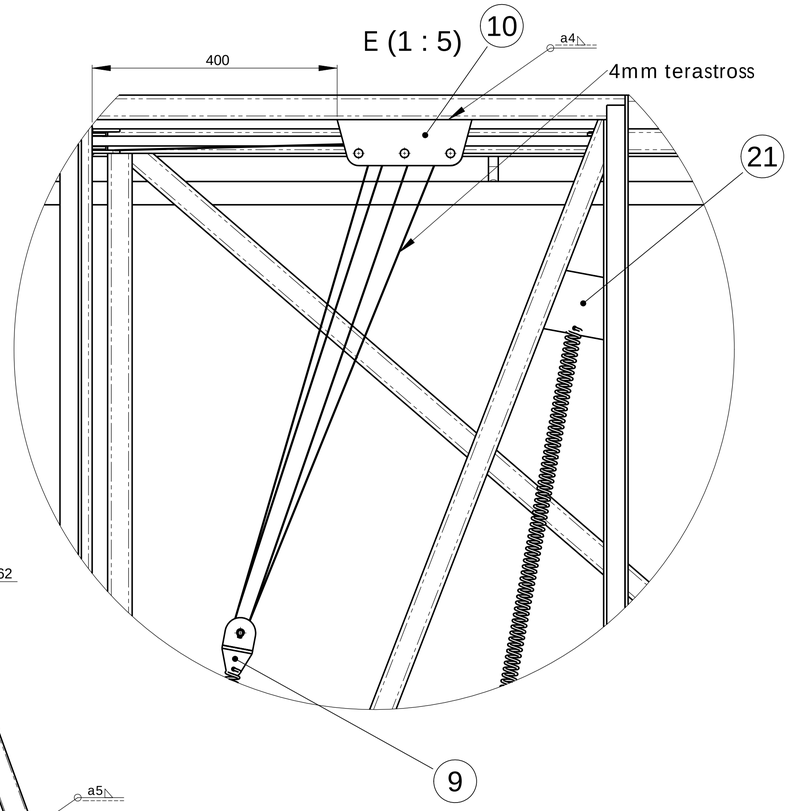
A (1 : 5)



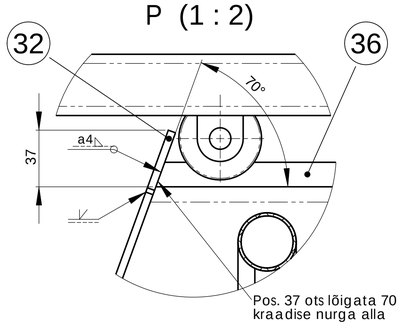
Q (1 : 5)



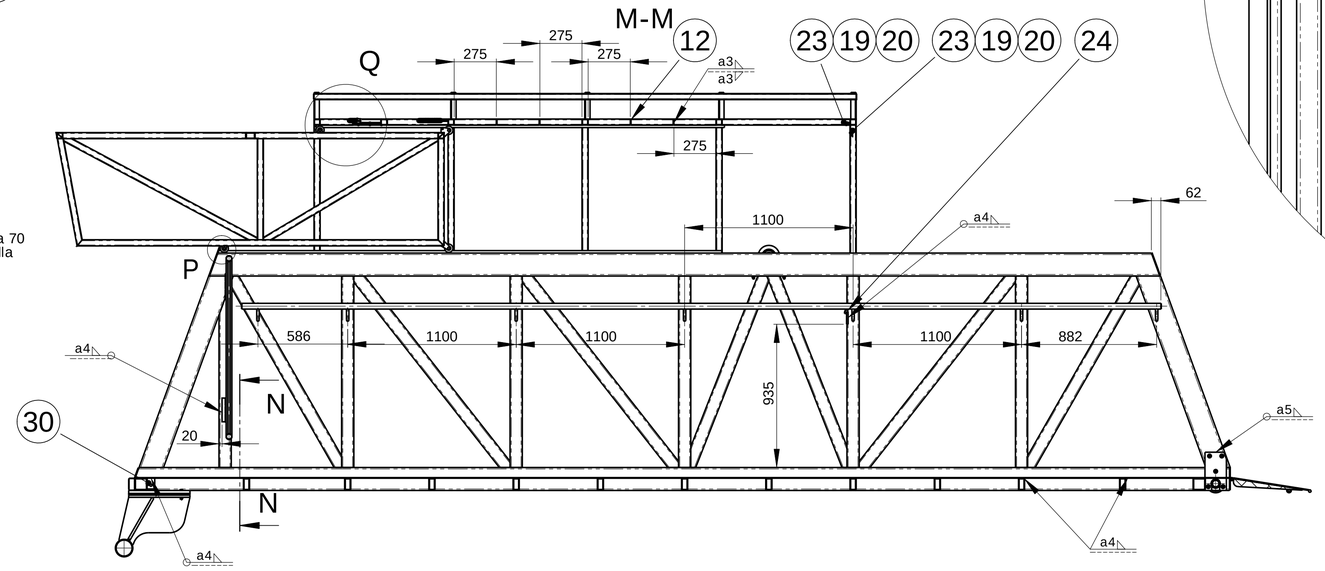
E (1 : 5)



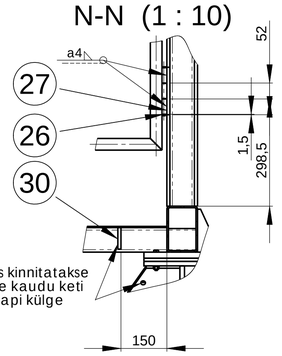
P (1 : 2)



M-M

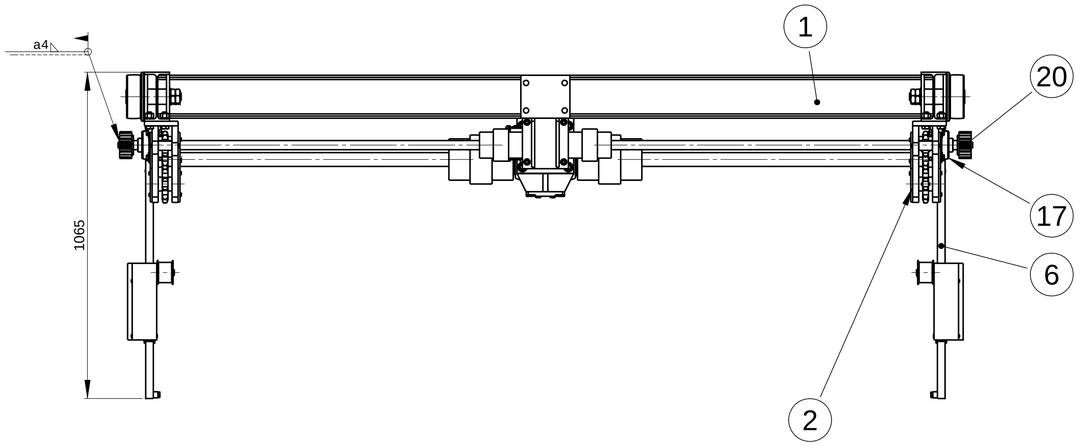


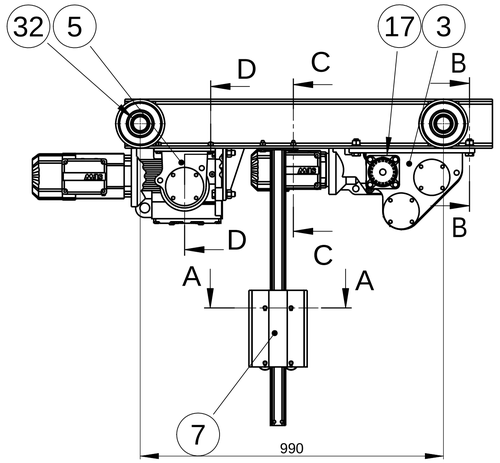
N-N (1 : 10)



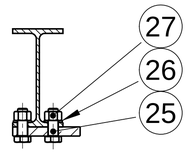
Laevakinnitus kinnitatakse nende avade kaudu keti või trossiga trapi külge

	Materjal:	Märkimata piirhälbed: ISO 13920 - AE	Mass: 870	Mõõt: 1:20
Teostas: L. Erm	Nimetus: Trapp			Faili nimetus:
Kontrollis: J. Särak				
Kinnitas: M. Tiidemann				
TTK MI81	Leht: 2/2	Tähis: TS 02.00.000		Formaat: A1

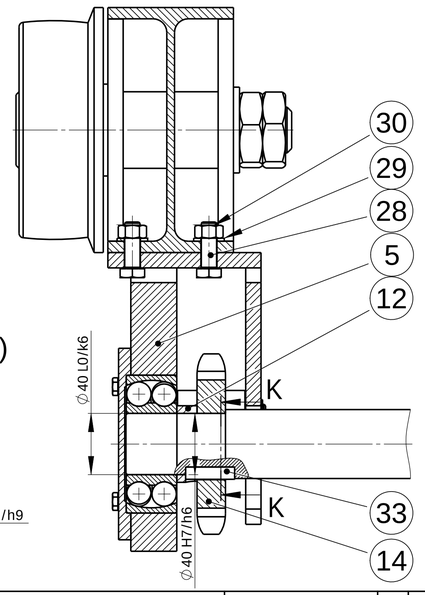




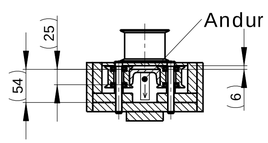
B-B (1 : 5)



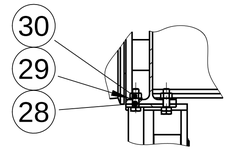
D-D (1 : 2)



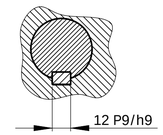
A-A (1 : 5)

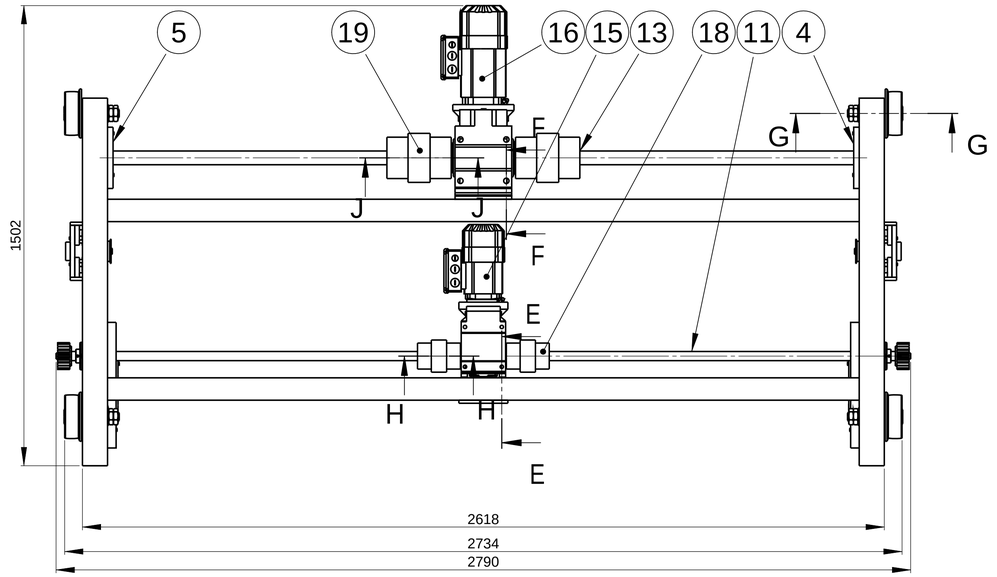


C-C (1 : 5)

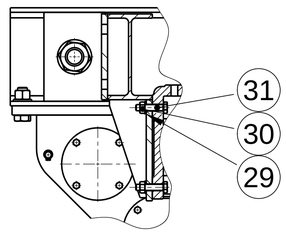


K-K (1 : 2)

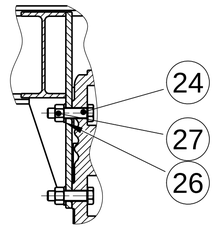




E-E (1 : 5)



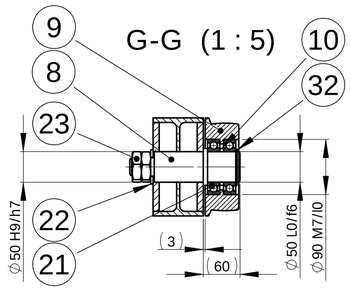
F-F (1 : 5)



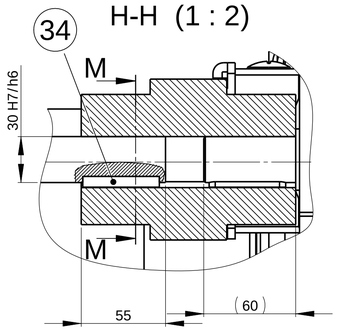
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
35		Liist A14 x 9 x 70 DIN 6885		2	
34		Liist A8 x 7 x 50 DIN 6885		2	
33		Liist A12 x 8 x 32 DIN 6885		2	
32		Lukustusrõngas DIN 471 - 50 x 2		4	
31		Polt ISO 4014 - M10 x 45 A4		12	
30		Mutter ISO - 4032 - M10 - A4		28	
29		Seib DIN 125 - M10 - A4		28	
28		Polt ISO 4017 - M10 x 30 A4		16	
27		Mutter ISO - 4032 - M16 A4		12	
26		Seib DIN 125 - M16 A4		12	
25		Polt ISO 4017 - M16 x 45 A4		8	
24		Polt ISO 4014 - M16 x 65 A4		4	
23		Mutter ISO - 4035 - M30 A4		8	
22		Seib DIN 125 - M30 A4		4	
21		Laager DIN 625 - 6210		8	
20		Spur-Gear-40020-S40-Mekanex		2	
19		Sidur, ROTEX 75		2	
18		Sidur, ROTEX 48		2	
17		SNR ESFE206		2	
16		SEW S77DRS80M4BE2		1	
15		SEW K47DRS71S4BE1		1	
14		Ketiratas ISO 606- 10Z 20B-1-10SA40	TS 03.14.000	2	
13		Telfri telg	TS 03.13.000	2	
12		Vedava ketiratta vaherõngas	TS 03.12.000	2	
11		Hammasratta võll	TS 03.11.000	2	
10		Kelgu ratta vaherõngas	TS 03.10.000	4	
9		Kelgu ratas	TS 03.09.000	4	
8		Kelgu ratta telg	TS 03.08.000	4	
7		Ketipinguti kelk	TS 03.07.000	2	
6		Ketipinguti	TS 03.06.000	2	
5		Tagumine parem laagripukk	TS 03.05.000	1	
4		Tagumine laagripukk	TS 03.04.000	1	
3		Esimene parem ketirataste plokk	TS 03.03.000	1	
2		Esimene vasak ketirataste plokk	TS 03.02.000	1	
1		Kelgu raam	TS 03.01.000	1	

Materjal:	Märkimata piirhälbed: ISO 13920 - AE	Mass: 334	Mõõt: 1:10
Teostas: L. Erm	Nimetus: Kelk		Faili nimetus:
Kontrollis: J. Särak			
Kinnitas: M. Tiidemann			
TTK MI81	Leht: 1	Tähis: TS 03.00.000	Formaat: A1

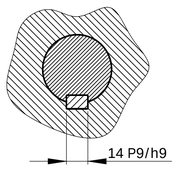
G-G (1 : 5)



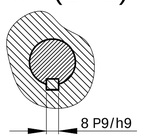
H-H (1 : 2)



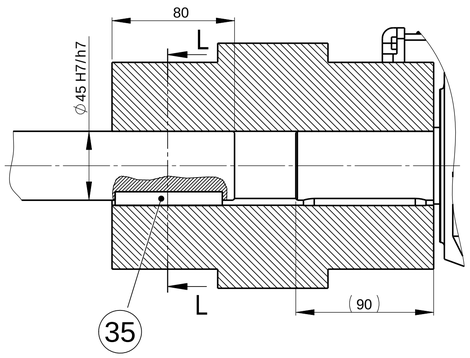
L-L (1 : 2)

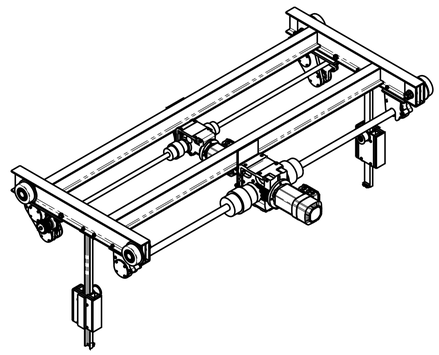


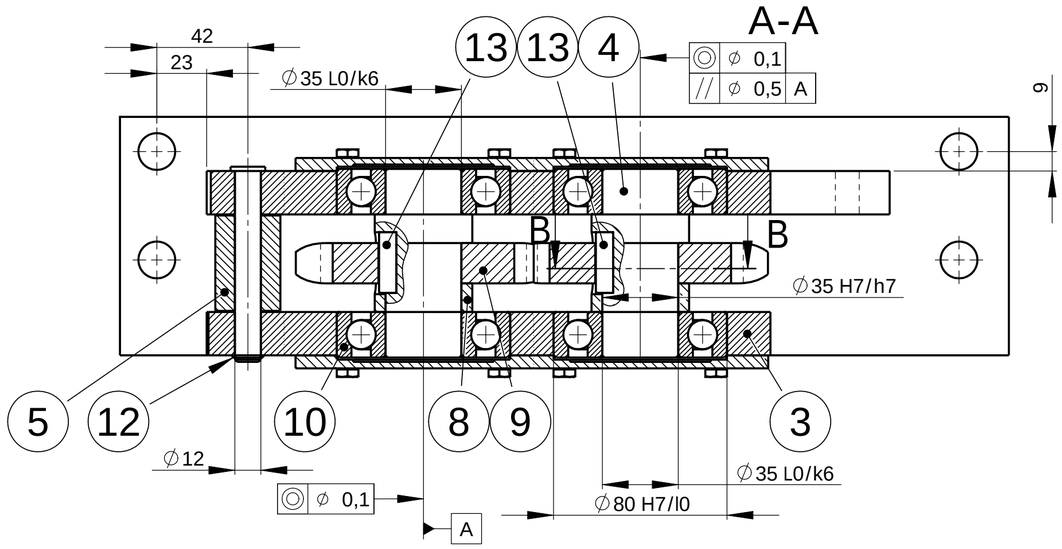
M-M (1 : 2)

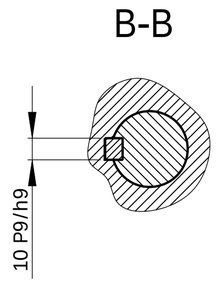


J-J (1 : 2)

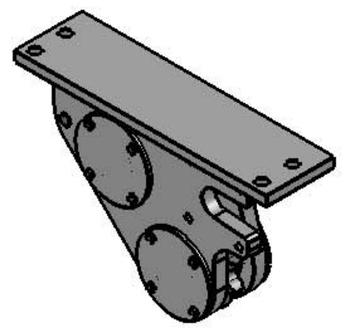




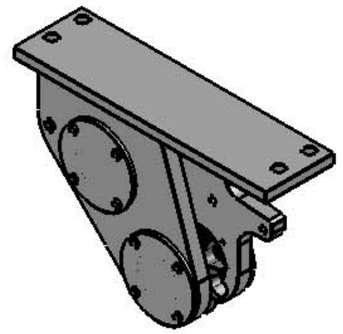


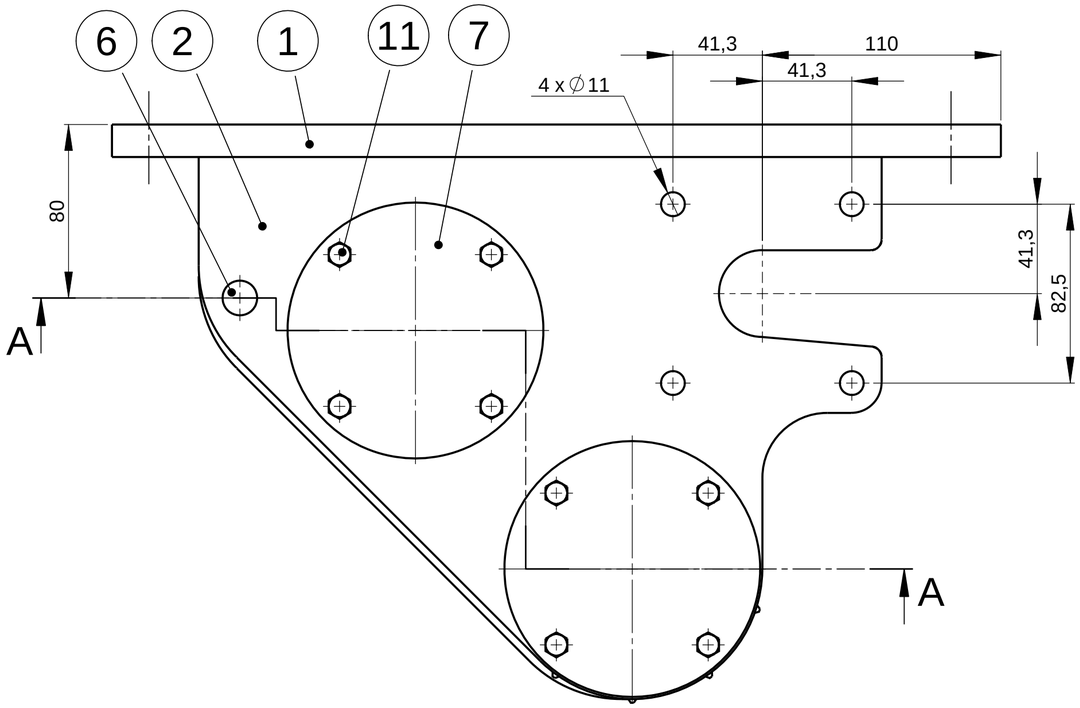


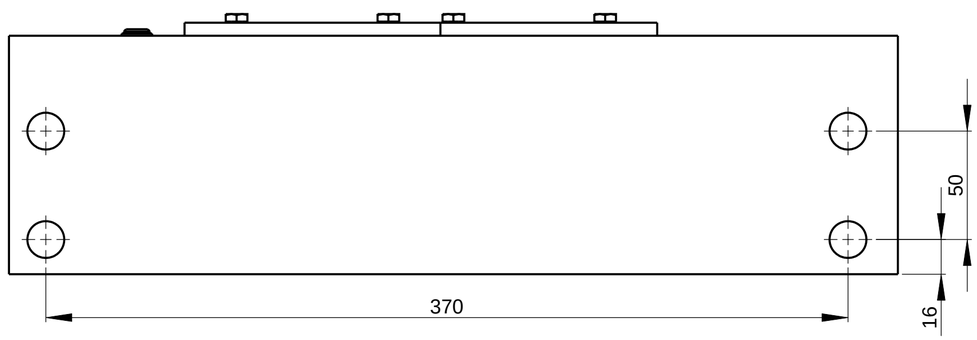
TS 03.02.000 (1:5)

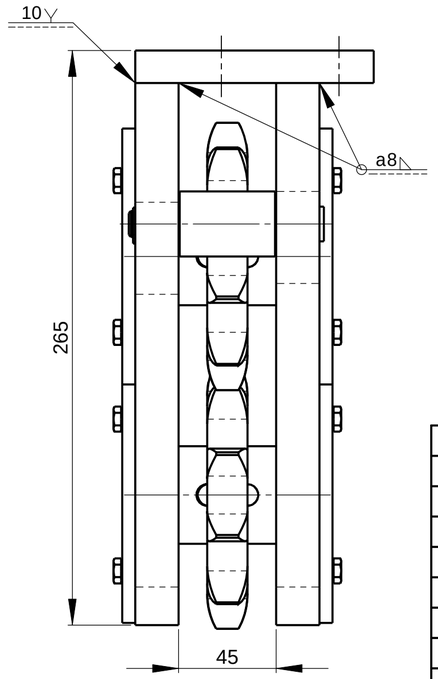


TS 03.03.000 (1:5)









1. Üks koost valmistada jooniste järgi, teine peegelpildis.
2. Keevisõmbluste kvaliteediklass ISO 5817/C
3. Märkimata keevisõmbluste kõrgus a◺ valida materjali paksuse järgi.
4. Faasid keevitada täis.
5. NDT kontroll:
   1. VT - 100%
   2. MT - 100%
   3. UT - 20%
   4. Torude jätkukohad - RT 100%
6. Pinnatöötlus vastavalt keskkonnaklassile C4 (ISO/FDIS 12944).
7. Värvi toon valida vastavalt sadamas olemasolevale tuubusele.

Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
13		Liist A10 x 8 x 28 DIN 6885		2	
12		Lukustusrõngas DIN 471 - 12 x 1		1	
11		Polt ISO 4017 - M6 x 20 A4		16	
10		Laager DIN 625 - 6307		4	
9		Ketiratas ISO - 10Z 20B-1-10SA35.0N	TS 03.02.009	2	
8		Distantsrõngas	TS 03.02.008	2	
7		Laagrikaas 70x70	TS 03.02.007	4	
6		Ketirulliku sõrm	TS 03.03.006	1	
5		Keti tugirullik	TS 03.03.005	1	
4		Ketiratta võll	TS 03.03.004	2	
3		Telfri esimene flants sisemine	TS 03.03.003	1	
2		Telfri esimene flants	TS 03.03.002	1	
1		Telfri flatsi kinnitusplaat	TS 03.03.001	1	

Materjal:	Märkimata piirhälbed: ISO 13920 - AE	Mass: 20.9	Mõõt: 1:2

Teostas:	L. Erm	Nimetus: Ketirataste plokid	Faili nimetus:
Kontrollis:	J. Särak		
Kinnitas:	M. Tiidemann		
TTK MI-81		Leht: 1	Tähis: TS 03.02.000 / Formaat: A2