

**TAL
TECH**

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

**VÄIKELAEVA MUDELI INERTSMOMENTI
MÄÄRAVA KIIKRAAMI EDASIARENDUS**

**FURTHER DEVELOPMENT OF MOMENT OF INERTIA
APPARATUS OF SMALL CRAFT MODEL**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Kalju Saar

Üliõpilaskood: 183737MATM

Juhendaja: Martin Eerme, professor

Tallinn 2020

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 2020

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 2020

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."..... 2020

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Kalju Saar (sünnikuupäev: 29.07.1990)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Väikelaeva mudeli inertsmomenti määrava kiikraami edasiarendus, mille juhendaja on Martin Eerme,

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

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

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

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

_____ (alkiri)

_____ (kuupäev)

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

TalTech Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Kalju Saar, 183737MATM

Õppekava, peeriala: MATM02/18, Tootarendus ja tootmistehnika

Juhendaja(d): professor Martin Eerme, +372 6203270 (amet, nimi, telefon)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) *Väikelaeva mudeli inertsmomenti määrava kiikraami edasiarendus*

(inglise keeles) *Further development of moment of inertia apparatus of small craft model*

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Analüüsida eelnevalt ehitatud prototüübi vigu ja puudusi.
2. Modelleerida uus ja parem kiikraam.
3. Viia läbi tugevusanalüüsid ja koostada projekti maksumus.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Analüüsida eelneva prototüübi puudusi ja arutada kasutajaga.	01.03.20
2.	Modelleerida kiikraam.	06.04.20
3.	Viia läbi tugevusanalüüsid, teha täiendusi.	20.04.20
4.	Vormistada lõputöö	18.05.20

Töö keel: eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: "25" mai 2020 a

Üliõpilane: Kalju Saar "...." 2020 a
/allkiri/

Juhendaja: Martin Eerme "...." 2020 a
/allkiri/

Programmijuht: Martin Eerme "...." 2020 a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	6
SISSEJUHATUS	7
1. KIIKRAAMI TÖÖPÕHIMÕTE JA EESMÄRK	8
2. REFERENTSKIIKRAAMID	10
3. PROTOTÜÜBI KIRJELDUS JA PUUDUSED	11
4. INERTSMOMENTI MÄÄRAVA KIIKRAAMI PROJEKT	14
4.1. Uue kiikraami kontseptsioon	14
4.2. Kiikraami detailid ja koost	18
4.3. Uue kiikraami tugevusanalüüsid	25
4.3.1. Välimise raami tugevusanalüüs	25
4.3.2. Sisemise raami tvusanalüüs	30
4.3.3. Alusraami tugevusanalüüs	31
4.3.4. Sisemist raami toestava vertikaalatoru tugevusanalüüs	34
5. KIIKRAAMI VÕNKEPERIOODI MÕÕTMINE	36
5.1. Enkoodri valik	36
5.2. Enkoodri põhimõtte kirjeldus	37
5.3. Kontrolleri valik	38
6. KIIKRAAMI DETAILIDE TARNIJAD JA MAKSUMUS	40
KOKKUVÕTE	41
SUMMARY	42
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	43
LISAD	44
Lisa 1 CALT GHH20 anduri spetsifikatsioon	44
Lisa 2 Alusraami koostejoonis	45
Lisa 3 Välimise raami koostejoonis	46
Lisa 4 Siseraami koostejoonis	47
Lisa 5 Välimise võlli koostejoonis	48
Lisa 6 Sisemise võlli joonis	49
Lisa 7 Trapetslati joonis	50
Lisa 8 Kiikraami koostejoonis	51
Lisa 9 Kiikraami piirasendid	52

EESSÕNA

Magistritöö väikelaeva mudeli inertsmomenti määrava kiikraami edasiarendusest valmis Tallinna Tehnikaülikooli Eesti Mereakadeemia Väikelaevaehituse kompetentsikeskuse vajadusest tõhustada väikelaevamudelite veekatseteks seadistamist. Käesoleva töö autor töötab Kuressaares asuvas kompetentsikeskuses ning tema loodud on hetkel kasutatav prototüüp-kiikraam. Kolme kasutamisaasta jooksul on prototüübil ilmnenud puudused, mis antud magistritöös lahendatakse.

Olulise edasiarendusena valmistatakse uus kiikraam jäigemast Norcan profiilitorust, millel on varasema prototüübi materjaliga võrreldes mitmeid eeliseid. Jäigem materjal vähendab raami läbipainet ja võimaldab seega inertsmomenti määramisel täpsema tulemuse saavutada.

Uut kinni polditud profiili on võimalik osadeks monteerida, et oleks võimalik kiikraami muuta vastavalt katsekeha parameetritele. Norcan profiilitorude külge on lihtne lisada andureid ning laevamudelit fikseerivat lisavarustust. See võimaldab seadeldist kiiresti ja paindlikult kasutada.

Lisaks esitab magistritöö autor kiikraamile paigaldamiseks soovitatavate andurite valiku. Anduriga saab täpsemalt mõõta raami ja katsemudeli võnkumissagedust. Saadud väärtust kasutades on võimalik leida laevamudeli õõtsumisraadius, mis on oluline veekatseteks.

Magistritöö koostamisel olid asendamatud Väikelaevaehituse kompetentsikeskuse mudelkatsete peaspetsialisti Tarmo Saha kogemused ja nõuanded.

Inertsmoment, kiikraam, mudelkatse, väikelaev, raamehituse tugevusanalüüs, magistritöö.

SISSEJUHATUS

Käesoleva magistritöö eesmärk on arendada inertsmomenti määrav kiikraam, mille varasemat prototüüpi kasutatakse Tallinna Tehnikaülikooli Eesti Mereakadeemia Väikelaevaehituse kompetentsikeskuses laevamudelite massiparameetrite seadistamisel. Magistritöös on kirjeldatud inertsmomenti määrava kiikraami arendusprotsessi alates varasema prototüübi puuduste selgitamisest kuni tootmisvalmis tööjooniste loomiseni.

Väikelaevaehituse kompetentsikeskuses praegu kasutatav kiikraam valmis magistritöö autori rakenduskõrgharidusõppe lõputööna. Kolme kasutamisaasta jooksul on kiikraami prototüübil ilmnunud puudusi, mis antud magistritöös lahendatakse. Autori sihiks on koostada täpsem ja kasutajale käepärasem kiikraam laevamudelite seadistamiseks.

Lõputöö põhiosa kirjeldab inertsmomenti määrava kiikraami tööpõhimõtet ja otstarvet ning esitab olemasoleva prototüübi puudused koos lahendustega. Arvestatud on kasutaja soovidega hõlbustada katsekehade ülesseadistamist ning muuta protsess kiiremaks. Töös esitatakse tugevusanalüüsid, et kahandada läbipainetest tulenevaid mõõtmisvigu, ning samas mitte liiga raske raam koostada, et vajadusel saaks liigutada. Lisadena esitatakse olulisemad joonised kiikraami sõlmpunktidest ning koostejoonised.

Kiikraami disainimisel kasutati tarkvara SolidWorks, täpsemalt lisamoodulit Weldments, mille abil saab hõlpsasti modelleerida raami konstruktsiooni ning valida sobivaimad profiilitorud. SolidWorksis on ka vajalik tööriistad, et teha tugevusanalüüse ja tööjooniseid.

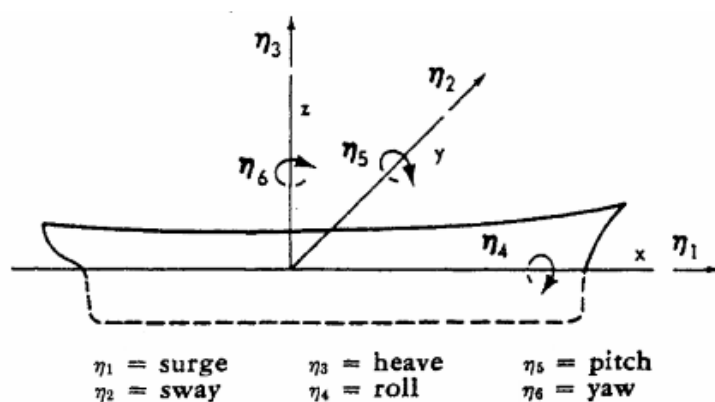
1. KIIKRAAMI TÖÖPÕHIMÕTE JA EESMÄRK

Enne laeva mudeli veekatseid, peab mudel olema õigesti balansseeritud ehk raskuskese õiges kohas ning massijaotus vastavalt katsestandarditele. Kuna mudel on tehtud vahust ning tegelik laev raskemast materjalist, siis tekib olukord, kus mudel käitub lainetes päris laevast erinevalt. Seetõttu lisatakse mudelile raskused saavutamaks õiget raskuskeset ning ühtlasi ka massijaotust. Kui kogu mass on keskmes, siis ülejäänud kere liigub lainetes nagu kerge sulg, aga tegelikult on päristäissuuruses laevas lasti kõikjal alates mootoritest kuni mööblini. Laeva keeruka kuju tõttu on seda võimalik saavutada kõige paremini kiigutamise teel.

Raskuskese leitakse balansseerimisel ning massijaotuse leidmisel kasutatakse füüsikalise pendli teoreemi, et leida õõtsumisraadiused. Pendeldades katsemudelit, saame mõõta perioodi ning seda kasutades saame arvutada inertsmomendi. Kirjeldatud protsessi on vaja teostada kaks korda: laevamudeliga ja tühja kiikraamiga. Arvestades maha tühja kiige pendeldamisperioodi saamegi katsekeha enda perioodi. Saadud väärtusega arvutatakse välja õõtsumisraadiused. Need parameetrid on olulised, et laeva mudel käituks vees nagu täissuuruses laev merel, muidu katsetulemused on väärtusetud.

Õõtsumisi on kolm erinevat vastavalt koordinaatsüsteemile (joonis 1):

1. Külgõõtsumine (inglise keeles *roll*)
2. Pikiõõtsumine (*pitch*)
3. Seegamine (*yaw*)



Joonis 1. Nurganihete tähistus [1: 41]

Sõidukatseteks lainetes on oluline pikiõõtsumine ja stabiilsuskatseteks külgõõtsumine. Kiigutades mudelit piki x -telge saame kätte külgõõtsumisraadiuse ja y -telje kaudu saame pikiõõtsumisraadiuse. Vajalikud väärtused, mis on vaja mudelil saavutada, ütleb iga laeva disainer katsetajale ette. Enamus katseid, mida teostatakse Väikelaevaehituse Kompetentsikeskuses, on lainekatsed.

2. REFERENTSKIIKRAAMID

Euroopas on üksikud uurimisasutused, kus viiakse läbi laevade mudelkatseid. Infot, kuidas katsekehad seejuures seadistatakse, on väga vähe, kuna iseäranis ärieesmärgil katseteenuste pakkujad infot avalikult jagada ei soovi. Iga asutus, kus vastavaid katseid tehakse, teeb endale ise vastavalt vajadustele ja võimalustele kiikraami, millega leida laeva mudeli massiparameetrid.

Euroopas on üks asutus, kes toodab müügiks laevamudelkatsete seadmeid, nimega Cussons Technology. Tootja asub ise Suubritannias ning tootab erinevaid laboriseadmeid sh ka täislahendusi laevade mudelkatsetele. Neil on olemas ka üks kiikraam mõeldud kuni kolme meetristele katsemudelitele (joonis 2).



Joonis 2. The Cussons 66R1-20E & 66R1-30E Ship Model Moment of Inertia Apparatus [2]

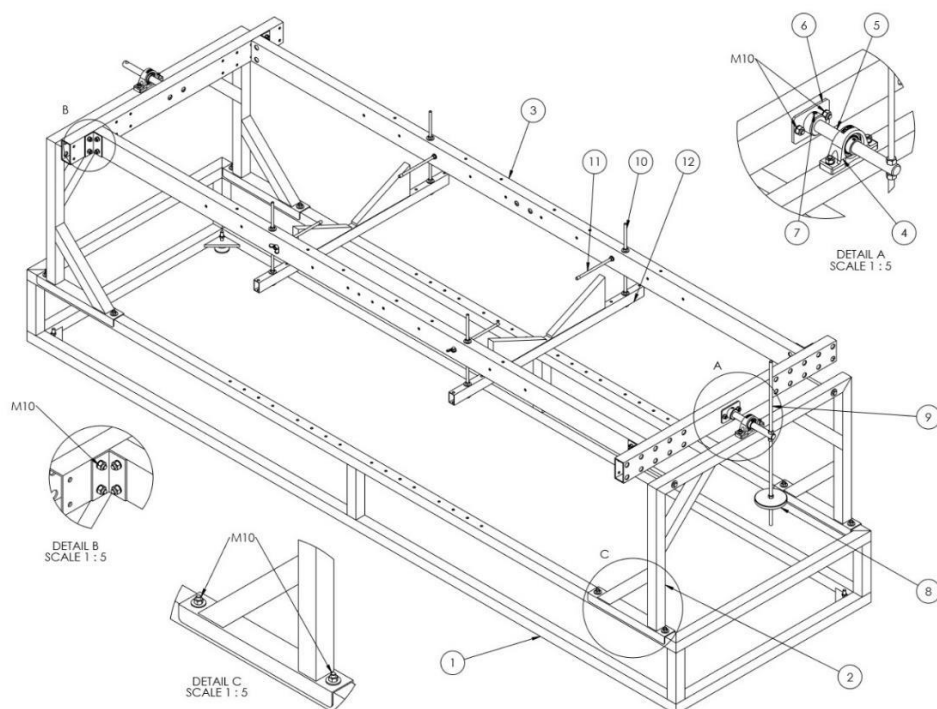
Antuid raamiga oli probleeme tarnimisega ning lõpphinda ei saanudki teada. Arvatavasti selle raamiga oleks kaasa tulnud iga-aastane hooldus koos tasudega ning raam ise on ka kallis. Kiikraam on koostatud alumiiniumprofiilitorudest ning küljes on loendur. Kirjelduses on mainitud, et saab kiigutada kahte telge. Kiikraame on tehtud ka terastorudest, näiteks joonisel number kolm on kuni 250 kg mudelitele.



Joonis 3. Terastorudest kiikraam [3: 9]

3. PROTOTÜÜBI KIRJELDUS JA PUUDUSED

TalTechi Väikelaevaehituse kompetentsikeskuses kasutatakse laevamudelite inertsmomendi määramiseks 2016. aastal ehitatud alumiiniumist kiikraami (joonis 4). Antud raam sai ehitatud kohapeal olemasolevast materjalist. Alusraam on keevitatud kokku 50x50x5 mm ruutorudest ning kiikuv osa on 100x50x5 mm profillidest kokku polditud. Kiikraami eeldatav vajaminev maksimaalne kandevõime pidi olema 150 kg.



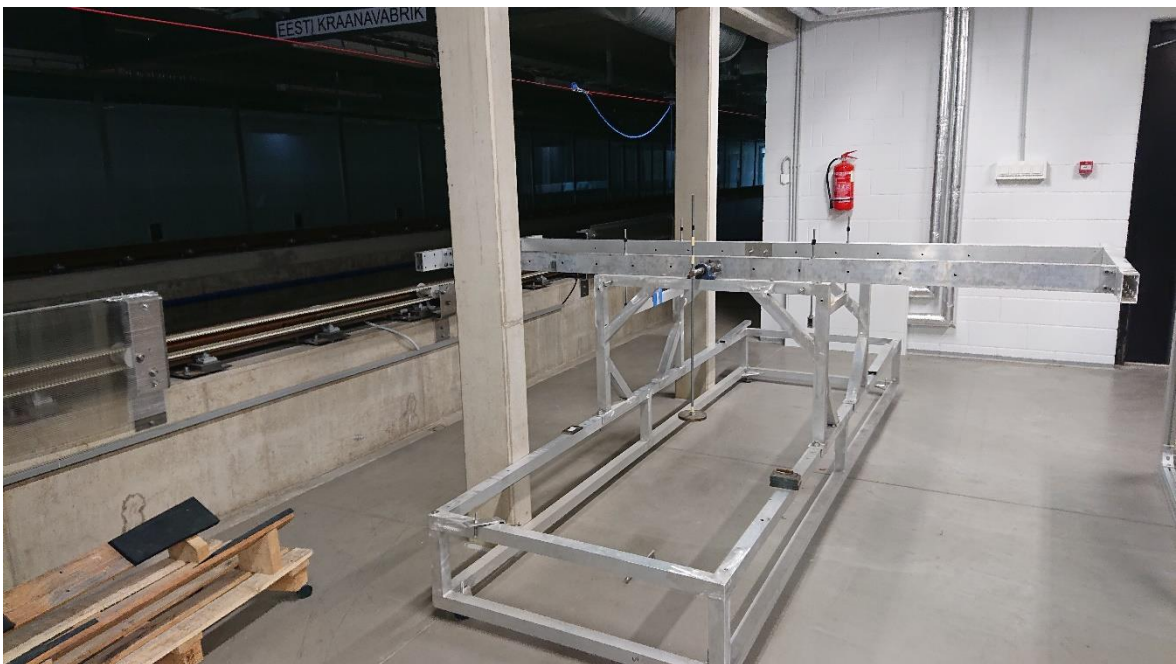
Joonis 4. Ekraanitõmme hetkel kasutuses oleva prototüübi koostejoonisest [3: 12]

Katsekeha liigutamiseks üles ja alla, on kasutusel M10 keermelatid. Neid on mõlemal pool mudelit kaks tükki, ja nendega mudeli täpseks horisontaalseks ajamiseks tuleb palju keerata ja sättida (joonis 5). Tavaline keere hakkab ka vahest kinni kiiluma. Samas annab selline mehhaaniline lahendus täieliku vabaduse positsioneerimisel.



Joonis 5. Kasutuses olev pukklaager ja keermelatt M10. Kinnitusplaat viltu.

Terasosadena on kasutusel tavaline konstruktsiooniteras mitte roostevaba, ning seetõttu peab neid aegajalt määrima. Kuna tegemist on niiske keskkonnaga, siis rooste tekib ruttu peale (joonis 5).

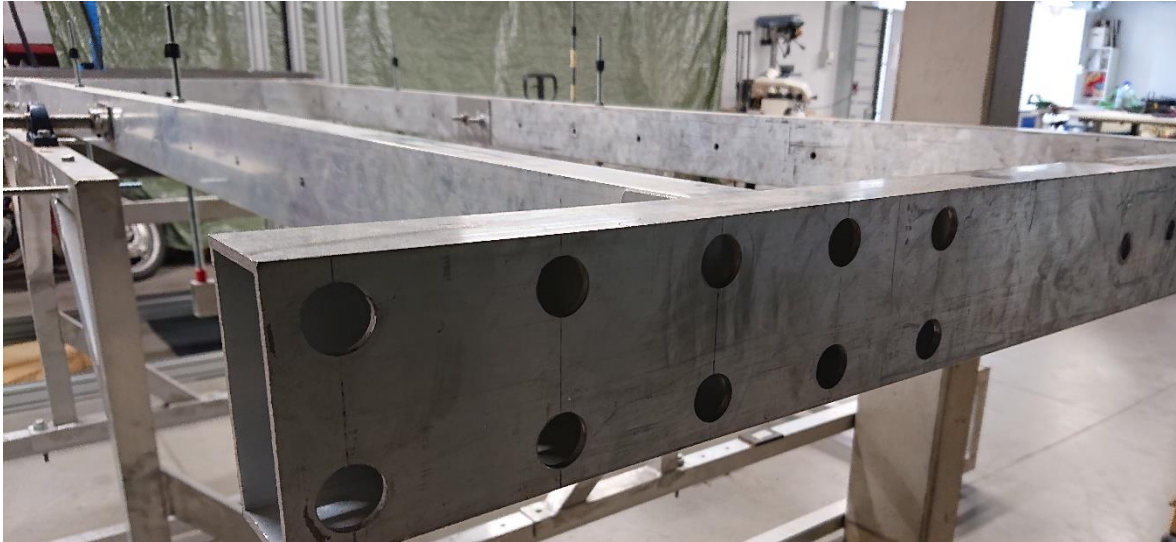


Joonis 6. Prototüüp pikiõõtsumise asendis

Kiikraami ümber modifitseerimisega saab kiigutada mudelit ka teisel teljel (joonis 6). M10 keermelattidega saab mudelit liigutada üles-alla et sättida raskuse kiigutamisteljele. Kogu tööprotsess on ajakulukus ning iga kord tuleb uuesti balansseerida kiikraam ise. Ühtlasi pannes kiikraam teisele teljele, suureneb vajaminev

ruumi ala kiigutamiseks. Katsete ettevalmistusalas on aga maja toetuspostid, mis piiravad paindlikust kiikraami positsioneerimisel.

Alusraami keevitamisega kaasnevate sisepingete tõttu ei ole alusraam ideaalselt sirge ning kiigutava osa augud tuli tol hetkel käsitsi puurida, mis ei ole piisavalt täpsed ning on lõtkuga. Kuna tegemist on tavalise toruprofiiliga, siis erinevad katseasendid tuli saavutada rohkemate kinnitusaukude olemasoluga (joonis 7).



Joonis 7 Käsitsi puuritud poltide asukohad erinevateks asenditeks

4. INERTSMOMENTI MÄÄRAVA KIIKRAAMI PROJEKT

4.1. Uue kiikraami kontseptsioon

Uuenenud kiikraam lähtub seadeldise kasutaja vajadustest. Kasutaja esitas kiikraamile kaheksa peamist ootust:

1. Katsekeha ehk laevamudeli suurim lubatud mass on 150 kg.
2. Katsekeha ehk laevamudeli suurim lubatud pikkus on 3 meetrit.
3. Maksimaalse massi puhul läbipaindest tulev kiigutamistelje nihe kuni 10 mm
4. Mehaaniline, välise energiaallikata (suruõhk, elekter, gaas)
5. Minimaalne hooldusvajalikkus
6. Kiikraam on kasutajasõbralik (võrreldes prototüübiga)
7. Võimalusel saaks kasutada telfrit katsekeha tõstmiseks
8. Kiikraami konstruktsioon võimaldab tulevasi edasiarendusi (pendeldusperioodi mõõteseadme paigaldamine, loodide kinnitamine)

Katsete ettevalmistusala on laekõrgus 2,7 meetrit ning soov kasutada telfrit, on jääkkõrgus 2,2 meetrit (joonis 8). Enamus katsetatavatest väikelaevamudelitest on pardakõrgusega kiilust 35-50 cm. Arvestades lisaks ka rihmade venimine ja asend ümber katsemudelite, võiks kiikraami kõrgus olla maksimaalselt 1,3 meetrit.



Joonis 8. Telfri tõstekonks ülemises asendis

Kõigepealt on loodud morfoloogiline skeem hindamaks erinevaid tehnilisi lahendusi (tabel 1). Tabelis on välja toodud neli erinevat põhiskeemi telgede suhtes. Kaks versiooni on lihtsad, aga olemas on ainult üks telg. Teised kaks versiooni on mõlemate kiigutamistelgedega. Kirjeldatud on erinevaid materjale, liitevõimalusi, vastavalt materjalile pinnakatteid, liigendite valik ja loendamise võimalusi.

Tabel 1. Morfoloogiline skeem

Nr	Funktsioon	A	B	C	D
1	Kiigutamissuund	Külgõõtsumine	Pikiõõtsumine	Mõlemad suunad konstruktsiooni muudatusega	Mõlemad suunad koheselt
2	Materjal	Alumiiniumsulam	Teras	Puit	Plastik
3	Liited	Keevis	Polt	Neetimine	Liimimine
4	Pinnakate	Anodeeritud	Tsink	Värv	Lakk
5	Liigend	Puks	Laager	Hing	Kuulliigend
6	Loendamine	Käsitsi	Elektrooniline	Mehhaaniline	

Järgnevalt on koostatud neli erinevat võimalikku tehnoloogilist lahendust kombineerituna morfoloogilisest maatriksist välja toodud võimalustele. Potentsiaalsed lahendused on kombineeritud maatriksi tulpade ja ridade tähistustega ning hinnad viie punkti skaalal, kus on võrreldud võimalikult erinevaid kooslusi (tabel 2).

Tabel 2. Hindamismaatriks nelja erineva kombineeritud kiikraami kohta. Skaala 1...5.

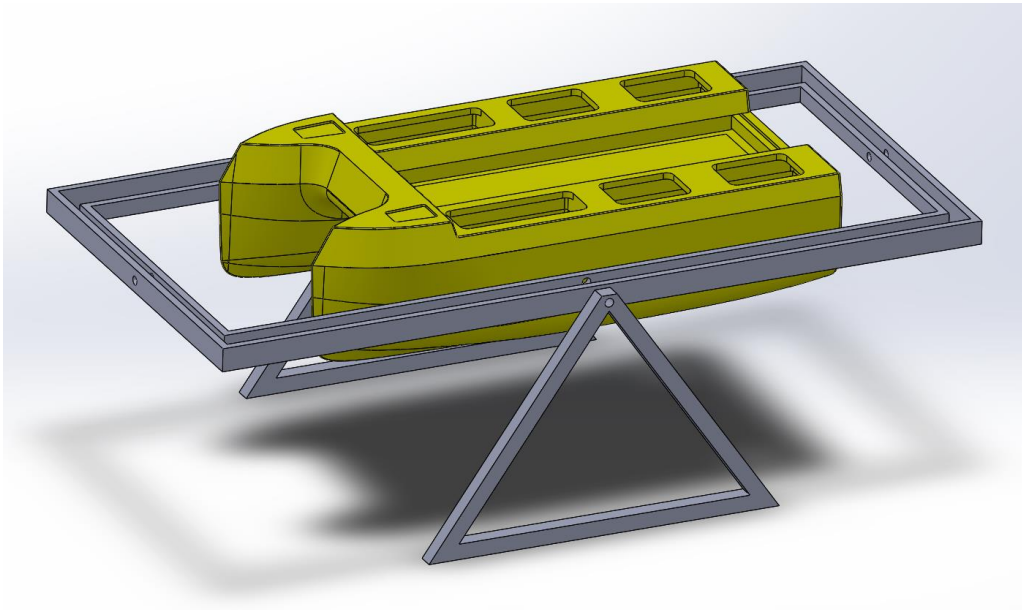
Võimalikud lahendused	1A, 2B, 3A, 4B, 5A, 6C	1C, 2D, 3D, 4C, 5B, 6A	1B, 2A, 3C, 4C, 5B, 6B	1D, 2A, 3B, 4C, 5B, 6B
Kriteeriumid				
Telgede olemasolu	1	3	1	5
Hind	5	3	5	2
Lihtsus	4	2	4	4
Mugavus	4	2	4	5
Töökindlus	5	2	5	4
Täpsus	4	3	4	5
Hooldusvabadus	3	4	4	4
Summa	26	19	27	29

Kõige väiksema tulemuse sai konstruktsiooni muudatusega mõlemate telgedega plastikust raam, millel on madal töökindlus ja mugavus. Ühtlasi ka keeruka konstruktsiooniga tuleks plastmaterjali hind kallis. Kirjeldatud raam on ligilähedane olemasolevale prototüübile. Parimale tulemusele jäid veidi alla ühe teljega raamid, kus on kasutusel metallist konstruktsioon. Lihtne raamehitus tagab parema töökindluse aga kuna on üks telg, siis peaks tegema kaks eraldiseisvat raami või leppima ühe teljega. Parimaks osutus raam, kus on koheselt olemas kaks telge, ning materjaliks polditud alumiiniumkonstruktsioon.

Erinevalt prototüübi raamist, prooviks uuel raamil vältida igasuguseid keevisliited. Parim profiil, mida kasutatakse ka mujal katsebaseini konstruktsiooni elemendina, on Norcan profiilid. Need on jäigemad kui tavalised profiilitorud, on hea kokku poltida ning saab kergesti muuda liidete asukohti, mis on eriti oluline laevamudelite erineva kuju tõttu.

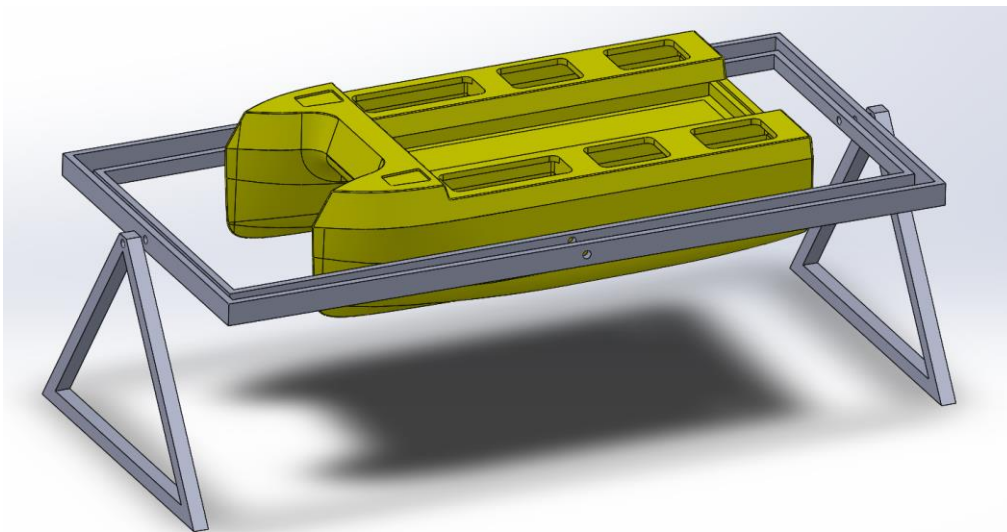
Laeva mudelite pikkuse puhul tuleb arvestada raskuskeset, sest see asub täpsest keskkohast rohkem tagapool, seega pikkust tuleks arvestada nelja meetri kanti. Kasutajasõbralikum oleks ka kui mõlemad kiigutamisteljed on võimalik saavutada ilma, et peaks konstruktsiooni suuresti muutma. Esmasel modelleerimisel tekkinud ideid on näha joonistel 9 ja 10, kus kogu konstruktsioon koosneb kolmest põhiosast: alusraam,

välimine kiikuv raam ja sisemine kiikuv raam. Erinevus on alusraami asetuses ning sellest tulenevalt ka telgede põhimõtte.



Joonis 9. Kiikraami kontseptsioon nr 1

Joonisel nr 9 on toetuses külgedel ning seetõttu on pikiõõsumistelg välimise ja külgõõsumistelg sisemise raami küljes ning joonisel nr 10 on need vastupidiselt.



Joonis 10. Kiikraami kontseptsioon nr 2

Katsebaseini laborandile, kes seadistab katsemudeleid, meeldis pigem teine variant, sest oluline on hea ligipääs külgedelt, et balansseerida katsekeha. Ühtlasi toetus otstes tagab stabiilsema raami.

Järgmiseks probleemikohaks on laevamudeli liigutamine üles ja alla. Prototüübil on selleks neli M10 keermelatit. Võimalikud alternatiivlahendid:

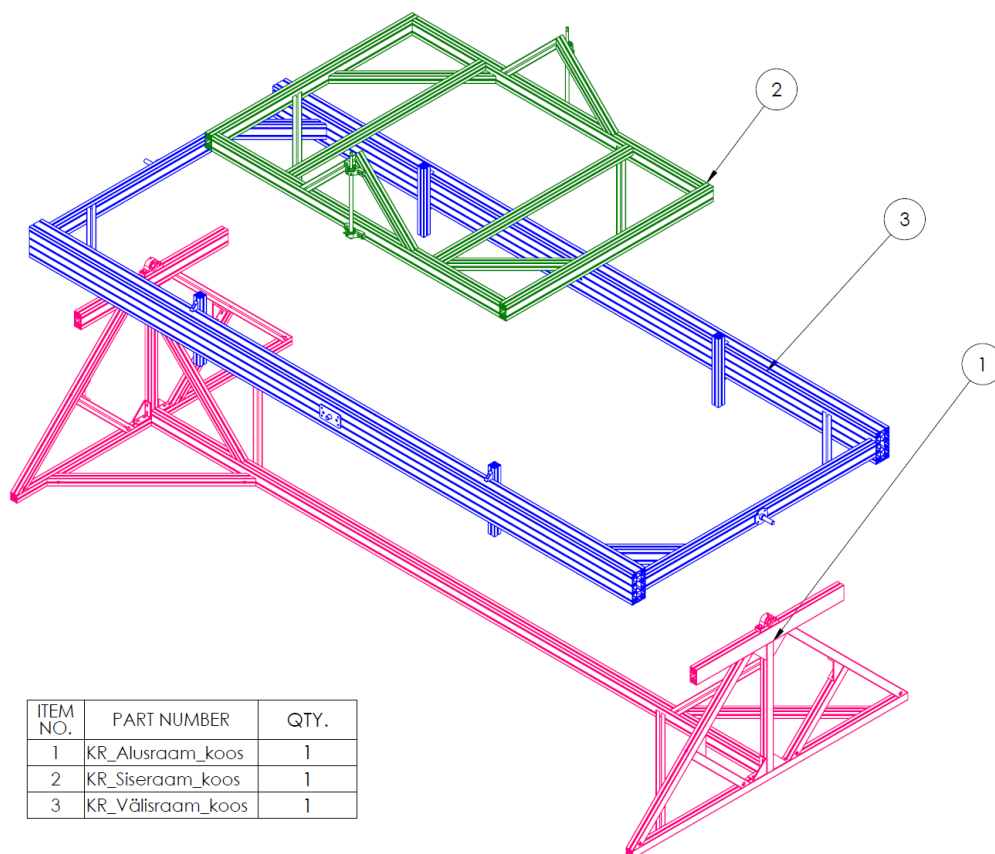
1. Keermelatid (neljast punktist)
2. Keermelatid (läbi telje – 2tk)
3. Hüdraulika
4. Plokkidest süsteem
5. Hammaslatt
6. Tiguülekanne
7. Rihmülekanne
8. Pneumosilindrid
9. Linearmootorid

Et siia panna vertikaalsuunalisi lineaartelgi rohkem kui kaks, oleks vaja vahele veel üht raami, mis ühendaks kiigutamistelje üles-alla liikuva raamiga. Lisaks kasutajal on raske saavutada täpne asend, kui on nii palju liigutamispunkte. Et reguleerida vertikaalset liikumist ainult ühel pool raami, tuleks liigutatavad osad ühendada mingi ülekandega allpool või ülevalpool laevamudelit et liikumine oleks sünkroonis. See kõik hakkaks piirama mudelite sättimist raamis ning ka mudeli kuju. Ühtlasi kiikuv raam läheks palju raskemaks ja keerulisemaks. Kasutaja ei soovinud mingeid hüdraulikat ega voolu vajaminevat varustust. Hammaslati fikseerimine vertikaalselt vajaks väga jäika ja tugevat alusehitust. Töö autor leiab, et heaks lihtsaks lahenduseks sobib keermelati ülekanne kiigutamistelje peal. Sellega kahandaks reguleeritavaid punkte kahele – üks mõlemal pool raami. Et liikumine ei kiiluks kergesti kinni ning pöörete arvuga saaks paremini kontrollida lineaarset distantssliikumist, sobiks kõige paremini trapets- või ruutkeere. Kuna trapetskeere võtab paremini teljesuunalisi jõude vastu ning on odavam toota, võiks kasutada seda.

4.2. Kiikraami detailid ja koost

Edasiseks modelleerimiseks on valitud kontseptsioon nr 2, sest sarnane on ka prototüüp, ning otsest kinnitatud alusraami külge on stabiilsem tulemus ning küljed on paremini ligipäätavad mudeli ülesseadistamiseks. Ühtlasi saab kiikraami asetada risti telfri rajaga ja tõsta küljepealt katsekeha raami peale. Alusraami otstes on kasutatud korralikuks toestamiseks diagonaale ning otsad on omavahel ühendatud ühe pika 90x45 profiiliga, et luua monoliitsem tulemus (L2). Nii ei jää jalgade ette segama mingit muud konstruktsiooni ning nii sisemine kui ka välimine kiikuv raam saab vabalt liikuda (joonis 11).

Alusraami otsad on tehtud Norcan profiilidest, kus üks külge on sile ehk sooneta (N0285, N0286). Sellega on saavutatud puhtam ja soliidsem välimus eemalt vaadates. Aluse otste peal on horisontaalne toru, mis ulatub külgedele rohkem välja, et sinna saaks kinnitada Norcan nurgad, mis fikseeriks külgsuunalise liikumise, kui on vaja katsemudelit raami tõsta või kui on vaja teha pikiõõtsumine. Kõige raskem liikuv osa on välimine kiikuv raam (L3), kus on külgedel suured 180x90 Norcan profiilitorud (N0119) ning otstes on 90x45 profiilid (N0166). Külgeprofiilid on valitud suuremad, sest kui katsekeha kiigutada külgsuunas, siis prototüübi pealt oli näha liiga suurt läbipainet külgsuunas. Esialgu olid pikad küljetorud profiiliga 90x90 (N0267) ning nendega on tehtud ka simulatsioon. Tulemus ei olnud piisavalt hea ning hiljem sai need välja vahetatud suuremata vastu. Selle kohta on tehtud eraldi simulatsioon uuele raamile. Lisaks on välimise raami küljes vertikaalselt liigutatavad lühikesed torud, kuhu külge pannakse Norcan nurgad fikseerimaks sisemise raami pikiõõtsumine. Ühtlasi toetavad need sisemist raami külgeõõtsumise ajal, et keermelatt ei pea kogu kiigutatavat massi külgsuunas vastu võtma.



Joonis 11. Uue kiikraami põhiosad

Kergeks koostamiseks on kiikraamile pandud külge pukklaagrid, ning neil on eemaldatud tihendid, et oleks väiksem hõõrdetakistus võllile ning määrdeks madala

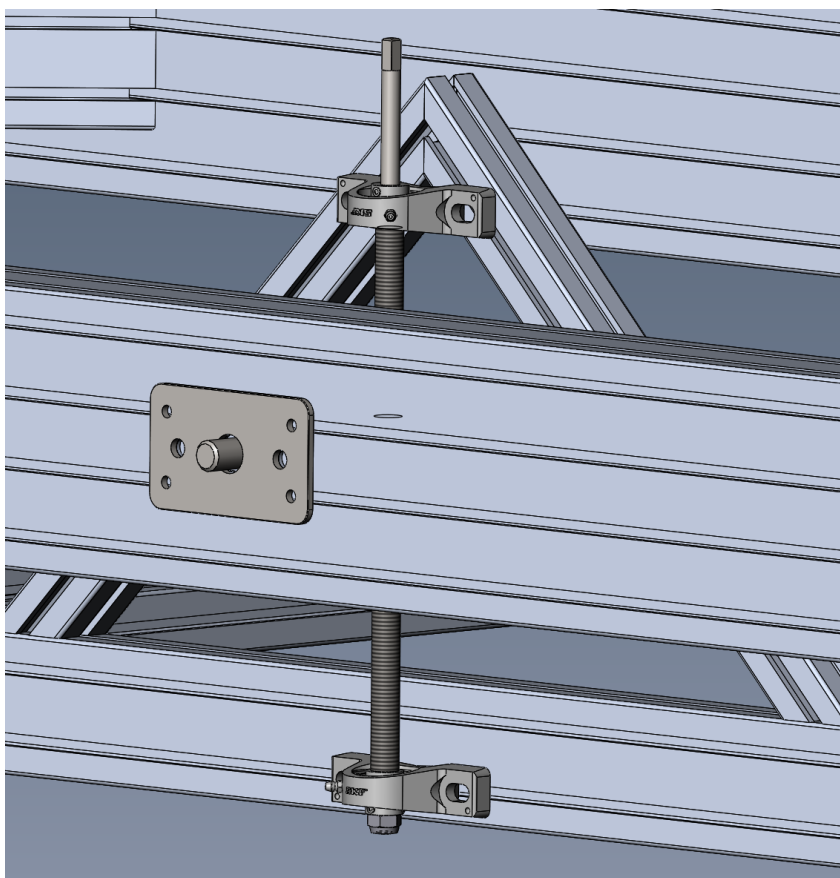
viskoossusega määrendeõli. Alusraami otste küljes on kaks UCP204 pukklaagrit, mis mõeldud külgõõtsumiseks ning pikiõõtsumiseks on välimise raami küljes kaks FYTJ 20 TF pukklaagrit, kus sees on YAR-204-2F laagrit (joonis 12). Viimaste laagrite raskuskese ühtib kiikumisteljega, mis on siinkohal juba oluline kuna nad on osa kiikuvast raamist.

CALCULATION DATA

Basic dynamic load rating	C	12.7 kN
Basic static load rating	C ₀	6.55 kN
Fatigue load limit	P _u	0.28 kN
Limiting speed ²⁾		8500 r/min
Calculation factor	f ₀	13

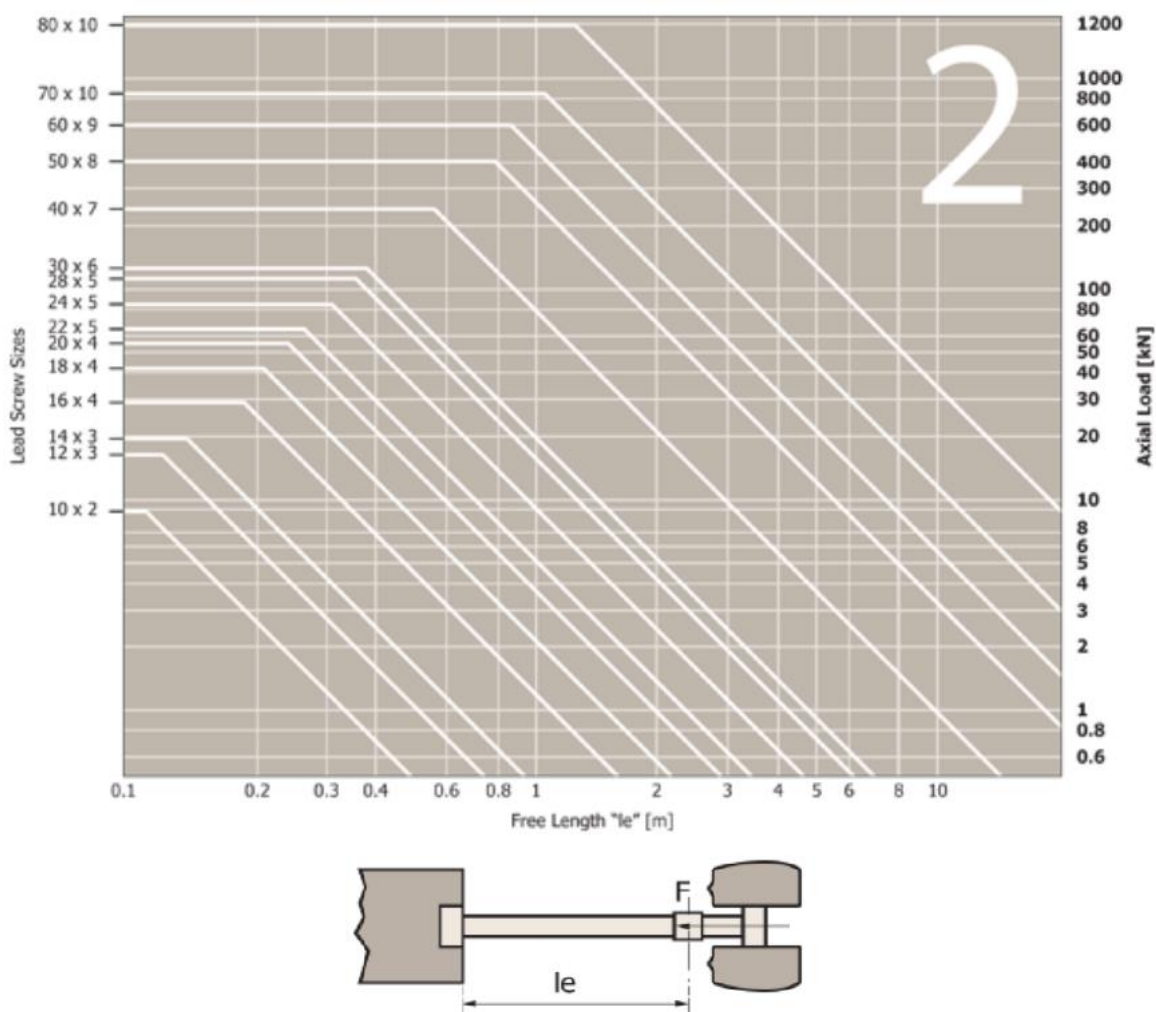
Joonis 12. Laagrite YARA-204-2F tehniline informatsioon []

Sisemise raami vertikaalseks liigutamiseks on trapetslatt millega saab kiiremini ja täpsemini liigutada üles-alla kui tavalise keermelatiga, mida on kasutatud prototüübi peal. Trapetslatt on fikseeritud sisemise raami külge kahe SY 12 TF pukklaagri vahele ning liikumisala on vähemalt 300 mm (vt joonis 13).



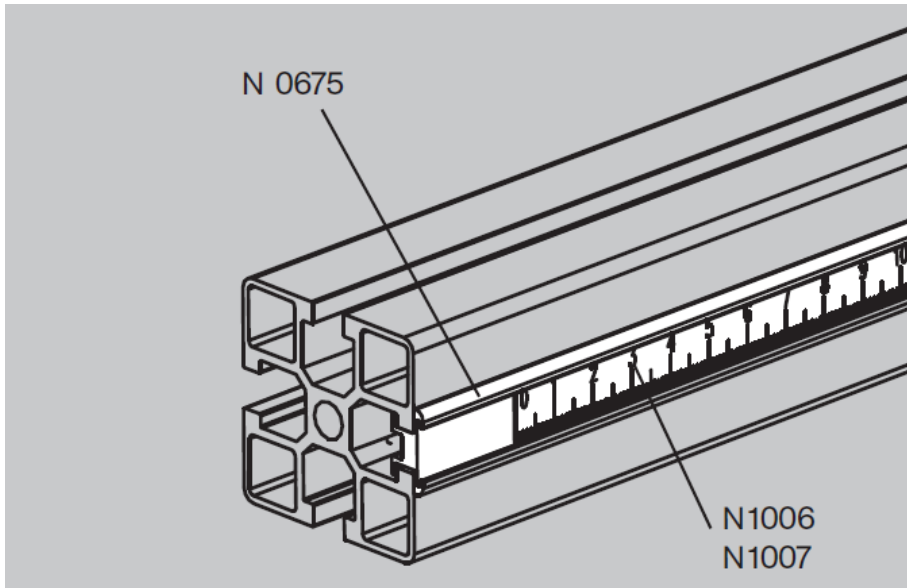
Joonis 13. Trapetslati asukoht kahe pukklaagri vahel

Trapetslati valikul on lähtunud joonisel 13 olevast graafikust. Keermelatt on paigaldatud kahe pukklaagri vahele. Mõlemas otsas on üks laager. Laagrite sisemiseks vahekauguseks on 345 mm ehk 0,345 m. Nende vahel liigub sisemise kiigutamistelje võll, mida läbib trapetslatti ning selle paksus on 28 mm (L6). Seega maksimaalne toestamata trapetslati pikkus on 0,331 m. Vaadeldes joonis 14, on sobivaks keermeks alates TR14x3. Kuna see on ainult teljesuunaline liikumine, valime suurema keermes, sest kiigutades tekib ka painet. Kasutades keermelatti katsekeha liigutamiseks, on suurem keermesamm ka mugavam. Väikseimad pukklaagrid, mis on leitud kohalikult tarnijalt antud lati fikseerimiseks, on võllile läbimõõduga 12 mm ning see peab läbima kiigutamisevõlli, kus sees on trapetskeere, seetõttu valime keermes TR18x4.



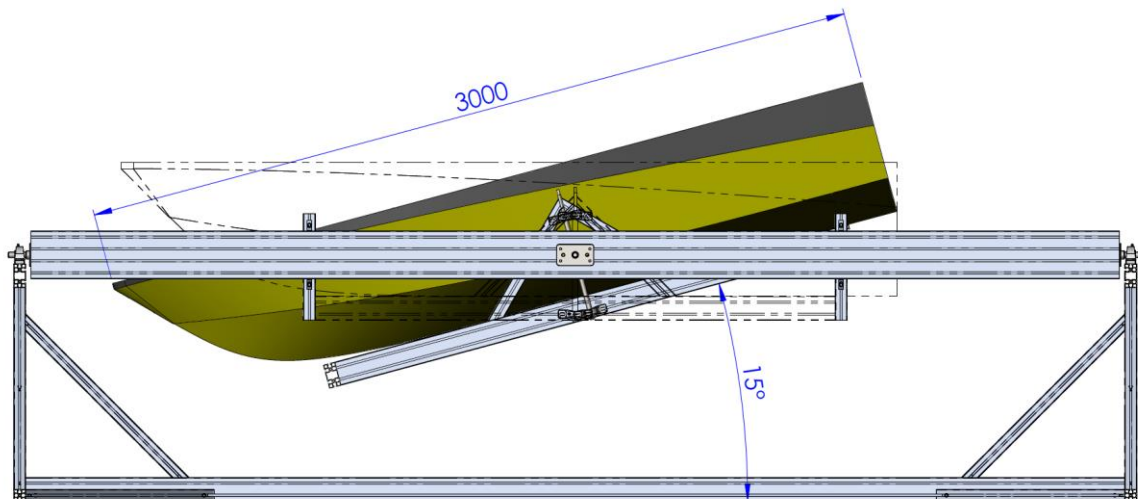
Joonis 14. Trapetskeermes valiku graafik [5]

Lisaks läheb kiikraami külge soone sisse mõõdulint koos oma profiiliga (joonis 15). See annab hea võimaluse kontrollida katsekeha asendis kiikraamis, et ei oleks kuidagi nurga all kiigutamistelje suhtes. Mõõdulint tuleb panna välimise raami külgedele ning sisemise raami külgedele ning otste profiilide sisse.

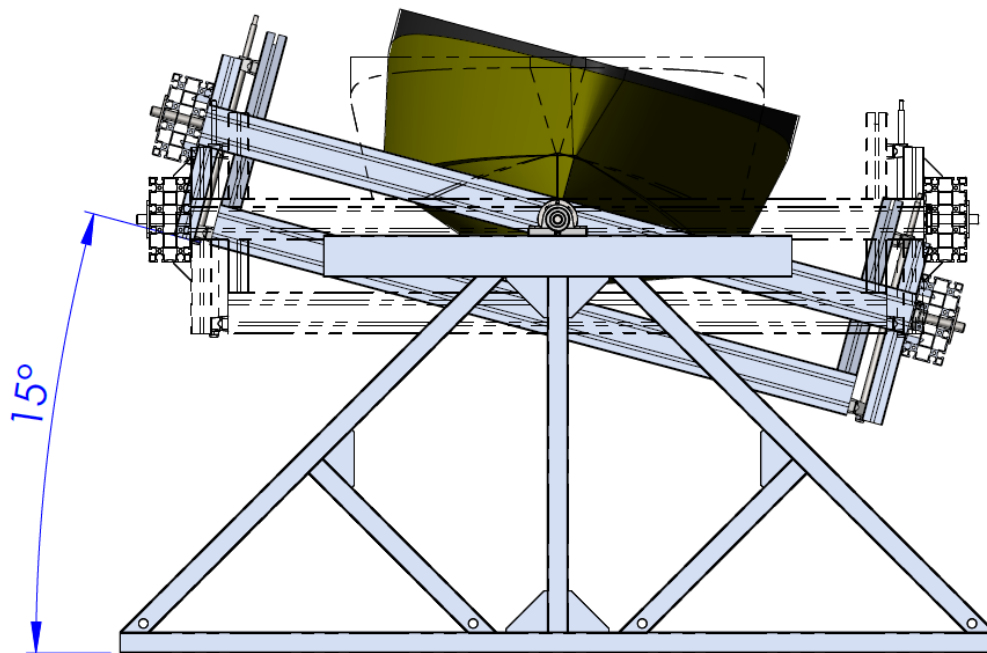


Joonis 15. Mõõdulint profiili sees [4: 24]

Katsekeha kiigutatakse enamasti 10-15 kraadi vahemikus. Joonisel 16 on näha kolme meetrist tavalise laevakere mudelit pikiõõtsumise piirasendis ning joonisel nr 17 kõlgõõtsumise asendis. Mõlemal puhul on varu ruumi, mida tulevikus võib vaja minna, sest kere kuju on erinevaid. Lisaruumi vaja laevaninas pulbi kuju pärast ja ahtris sõukruvide, trimmilabade vms tõttu. Laiusesse vajavad rohkem ruumi katamaraanid.

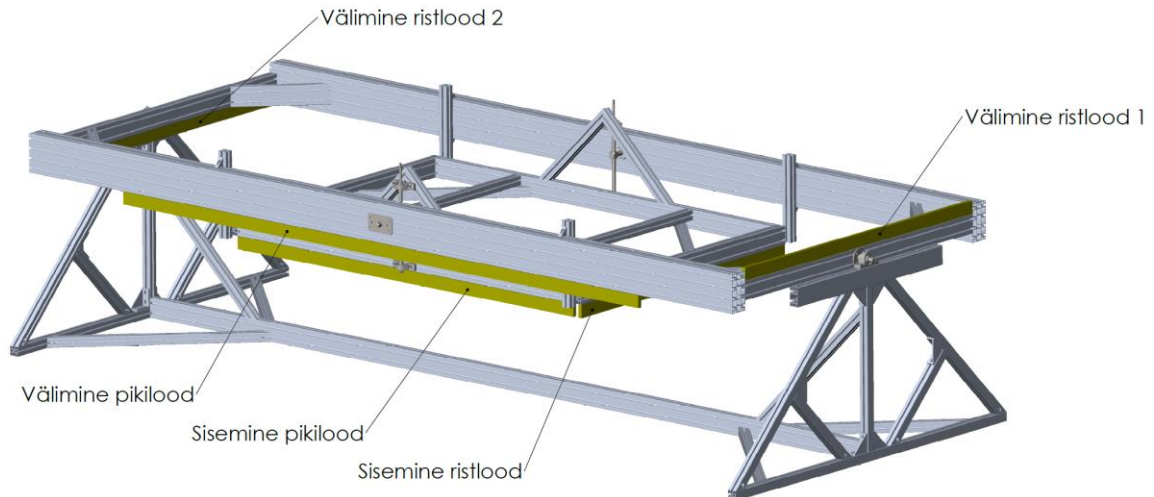


Joonis 16. Pikiõõtsumine



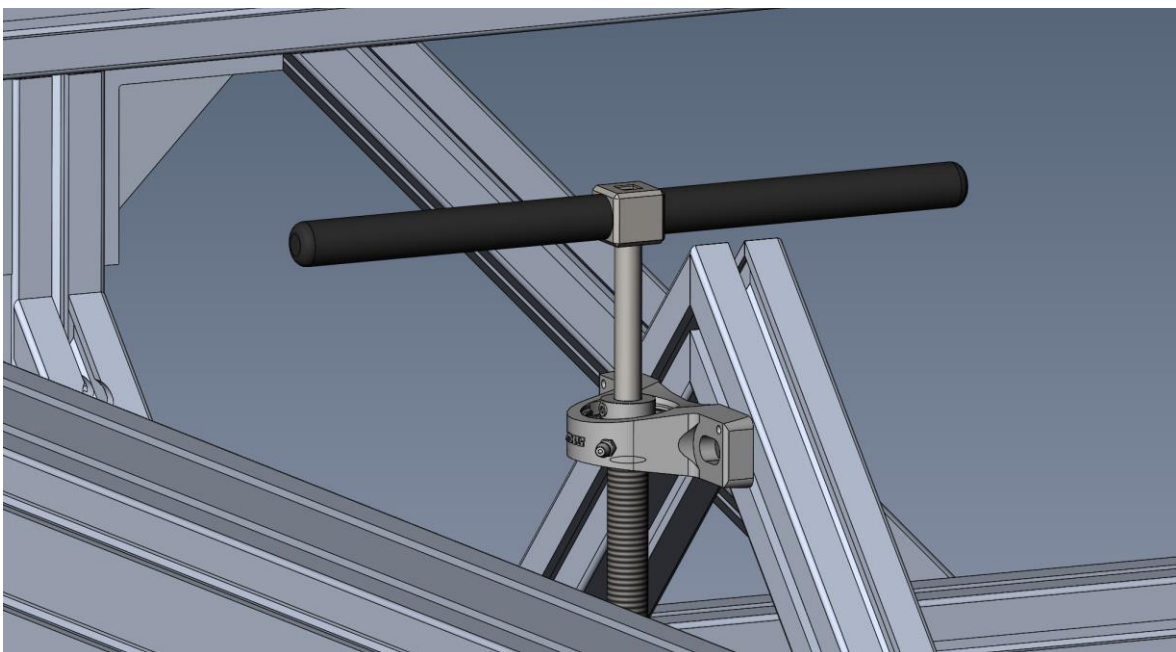
Joonis 17. Külgõõtsumine

Lisaks mõõdulintide olemasolule, on vaja ka määrata horisontaalsed asendid. Siia maani on kasutusel tavalised loodilatid, mida saab eemaldada kiigutamise ajaks. Kuna raam on mitmete telgedega, siis on vaja mitut loodi. Eraldi on vaja kontrollida välimise ja sisemise raami asetust. Joonisel 18 on näidatud minimaalne soovituslik loodide paigutus. Välimisel raamil on üks piki raami lood ja mõlemas otsas ristilood. Kuna välimine raam kiigub küljelt-küljele, on vaja kontrollida otstes horisontaalsust, et raam ei oleks viltu ega kuskilt ära vajunud. Sisemise raami küljes on kaks loodi: üks risti ja teine piki raami. Külje peal oleva loodiga saab kontrollida sisemise raami horisontaalsust kiigutamistelje suhtes ning ristiloodiga saab kontrollida, et sisemine raam on trapetslattidega külgedelt võrdsetel kõrgustel.



Joonis 18. Kiikraami külge paigaldatavate loodide asukohad

Väikelaevamudeli asetust on hea kontrollida laserloodiga. See on juba kasutuses kohapeal olemas ning seda saab tõsta raami otste ja külgede peale. Nii on võimalik vaadata, kuidas mudel istub raamis võrreldes mudelile eelnevalt joonistatud veeliinide järgi. Kiigutamise ajaks tuleb laserlood ära võtta, et ei nihutaks juba teada olevat raskuskeskme asukohta.



Joonis 19. Näidis trapetslati käepidemest

Trapetslati keeratakse käsitsi. Joonisel 19 on näidiseks toodud käepide, mis on eemaldatav. Selliseid on vaja kaks tükki, et saaks üheaegselt mõlemalt poolt raami

keerata. Trapetslati ots on nelikant, seega käepide istub peale ülevalt ning ei ole vaja eraldi fikseerida. Pärast katsemudeli õigele kõrgusele saamist, saab koheselt eemaldada, et ei jääks segama kiigutamist. Sirge käepidemega on lihtsam ka jälgida pöörete arvu või osapöörde suurust, kui vaja võrdselt kiikraami kahte poolt reguleerida.

4.3. Uue kiikraami tugevusanalüüsid

Kõik simulatsioonid on tehtud SolidWorks tarkvaras, ning kiikraami põhiosad on analüüsitud eraldi. Simulatsioonides on katsekeha ehk laevamudeli maksimaalseks kaaluks arvestatud 150 kg pluss veel 15% antud kaalust varuteguriks. Norcan profiilide materjaliks on EN AW 6060 (Al Mg Si 0,5) ning materjali omadused on kirjeldatud Norcan profiilide spetsifikatsiooni lehel (joonis 20).

Technical specifications of NORCAN profiles

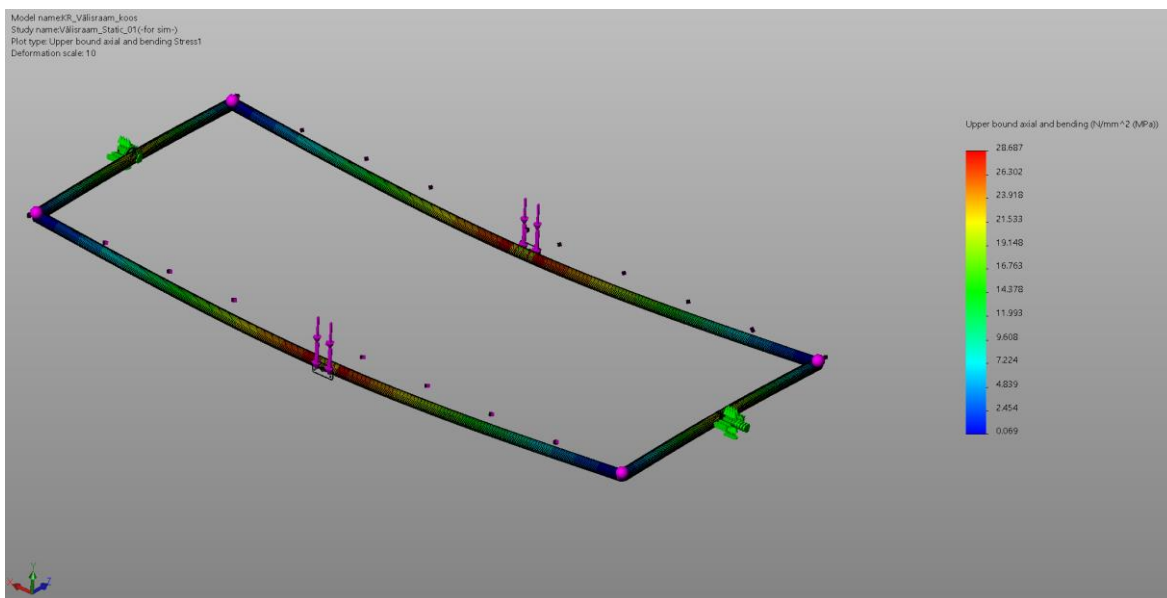
Material	EN AW – 6060 (Al Mg Si 0,5)
Finish	anodised E 6 10 μm - other finishes on request
Elastic limit	$R_p 0,2 = 195 \dots 210 \text{ Nmm}^{-2}$ (N 0267 $\geq 165 \text{ Nmm}^{-2}$)
Shear stress	$R_m = 240 \dots 260 \text{ Nmm}^{-2}$ (N 0267 $\geq 220 \text{ Nmm}^{-2}$)
Resistance to fatigue (polished sample, alternate bending)	$R_f \approx 70 \text{ Nmm}^{-2}$
Modulus of elasticity	$E = 7 \cdot 10^4 \text{ Nmm}^{-2}$; $G = 2,7 \cdot 10^4 \text{ Nmm}^{-2}$
Thermal expansion factor	$24 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$
Standard length	6 m

Joonis 20. Norcan profiilide spetsifikatsioon [6: 12]

4.3.1. Välimise raami tugevusanalüüs

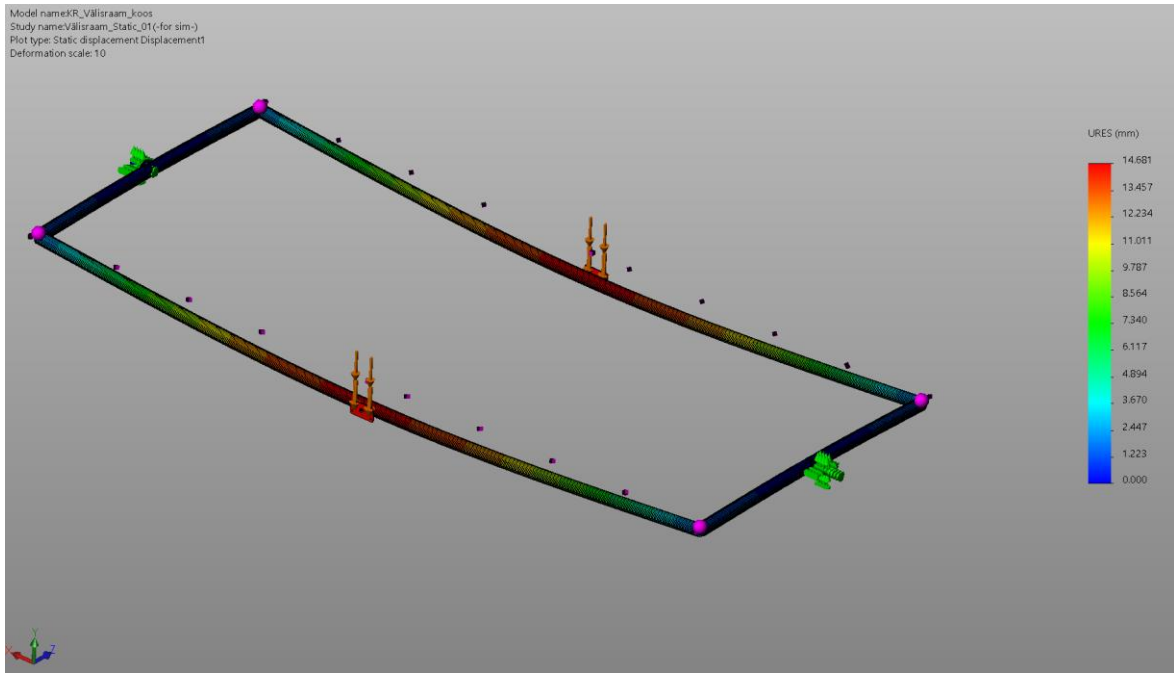
Kõigepealt on simulatsioon välimise kiikraami kohta. Prototüübil oli see kõige suurema läbipaindega. Solidworks teeb weldments moodulis kasutatud tala elemendid automaatselt 1D elementideks ning näitab ära kõik taladevahelised ühendused. Siin on arvestatavaks jõuks 2030N ja gravitatsioonist tulenevalt raami enda kaal. Fikseeritud punktideks on pukklaagrite asukohad ning jõu asukohaks on sisemise raami ja katsekeha raskuskeskme asukoht kiigutamisteljel (joonis 21).

Vastavalt materjali kirjeldusele, ei teki mingit purunemisohtu. Läbipainde puhul on juba märgatav kiikumistelje nihe, mis on umbes 15 mm (joonis 22). Seda saaks paremaks teha vahetades välja külgmised profiilid suuremate vastu või luua suurem diagonaalidega raamkonstruktsioon. Luues külgedele fermilaadne konstruktsioon, väheneb vaba ala mudeli peale tõstmiseks. Ühtlasi suurem konstruktsioon jääb segama katsekeha ülesseadistamist kiikraamis.

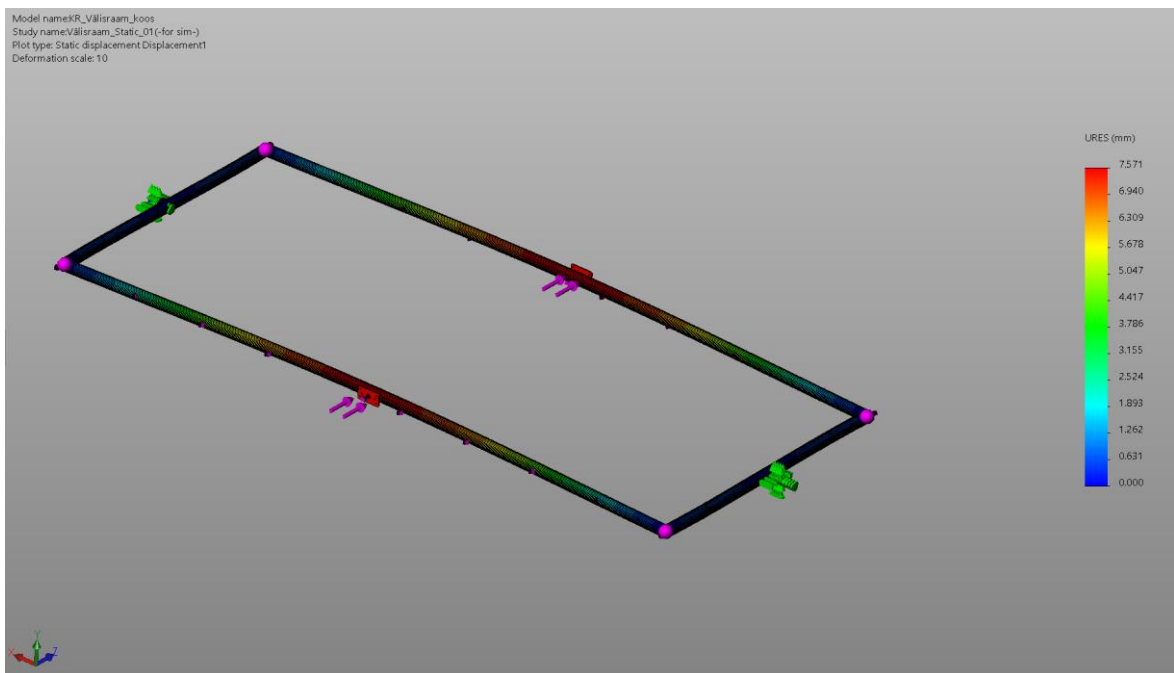


Joonis 21. Välimise raami pinged, 2030N (SolidWorks)

Kuigi kiigutamisnurk on väga väike, sai siiski tehtud välimisele raamile ka sama katse külgsuunas, kui peaks juhtuma, et paati kiigutatakse suurema nurga all ning sinne tulemus on täiesti rahuldav (joonis 23). Läbipaine on kõigest 7,5 mm ning tegelikult lisab selles suunas jäikust ka sisemine kiikuv raam.

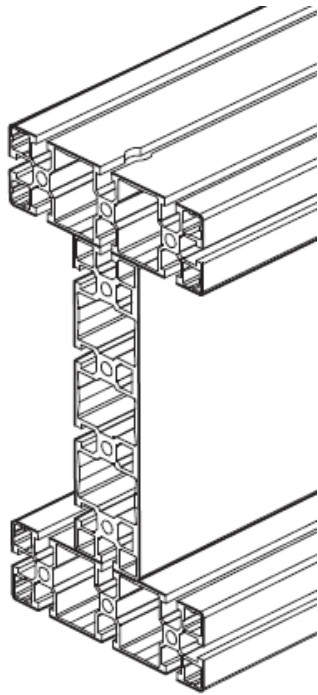


Joonis 22. Välimise raami läbipaine, 2030N (SolidWorks)

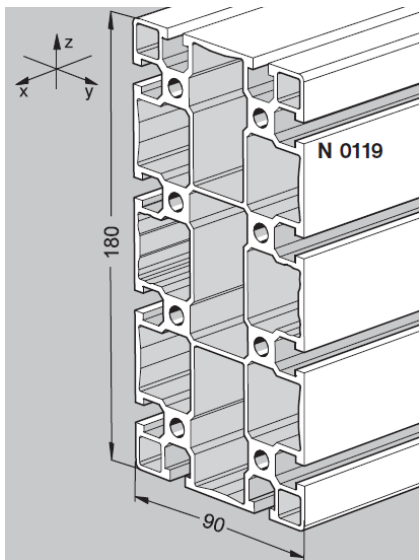


Joonis 23. Välimise raami läbipaine külgsuunas, 2030N (SolidWorks)

Norcan profiilide kataloogis on näha võimalust, kuidas koostada jäigem ja raskem tala standardprofiilidest (joonis 24). Kolmest profiilist I- tala koostamine oleks keerulisem ja tulemus on raskem. Kolmest joonisel näidatud profiilist tuleks meetri kaaluks 13,9 kg. Kataloogist leidis töö autor teise lahenduse milleks on suurem 180x90 mm toruprofiil (joonis 25).



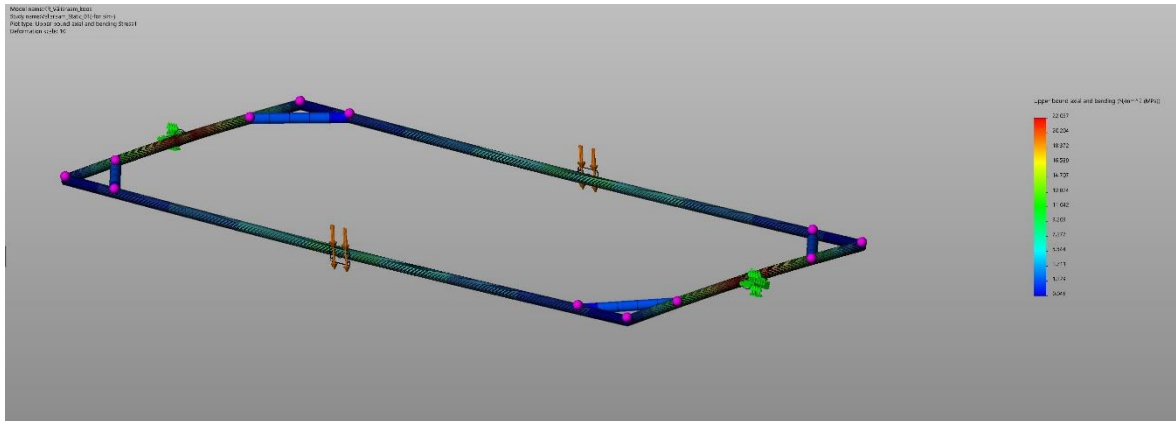
Joonis 24. Norcan profiilidest koostatud I-tala [6:16]



Joonis 25. Norcan profiilitoru 180x90 mm [6: 16]

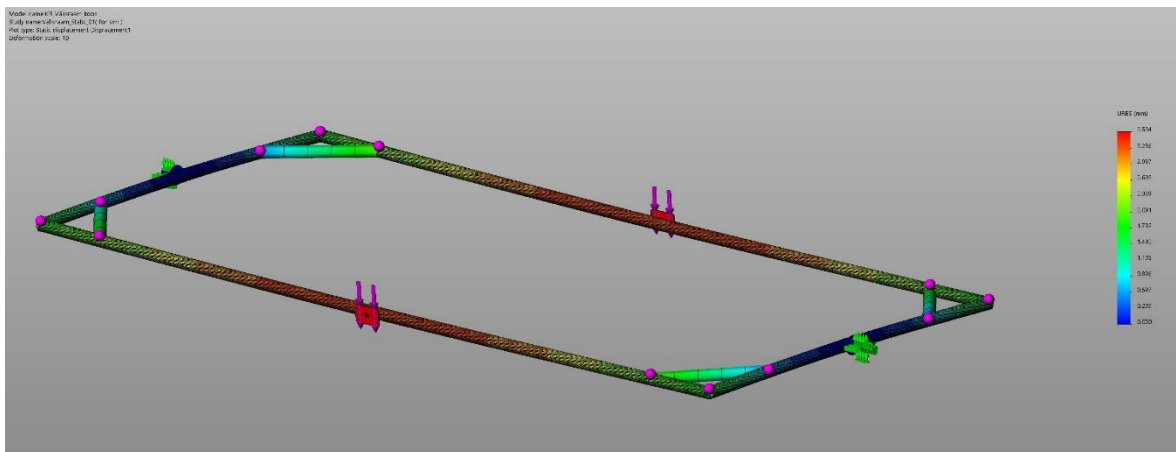
Lisaks et siduda ära välamise raami otsad suurte külgmiste taladega. On lisatud juurde diagonaalid nurkadesse. Diagonaalid fikseerivad paremini ära küljed, et need ei väänduks kuidagi ning samas ei tohi diagonaalid ulatuda liialt katsekeha alasse. Talade väljavahetamisega tuli raamile lisakaalu juurde 50kg, mida on arvestatud alusraami

simulatsioonides. Külgedel olevate suuremate profiilidega on maksimaalne pinge 22 MPa (joonis 26).

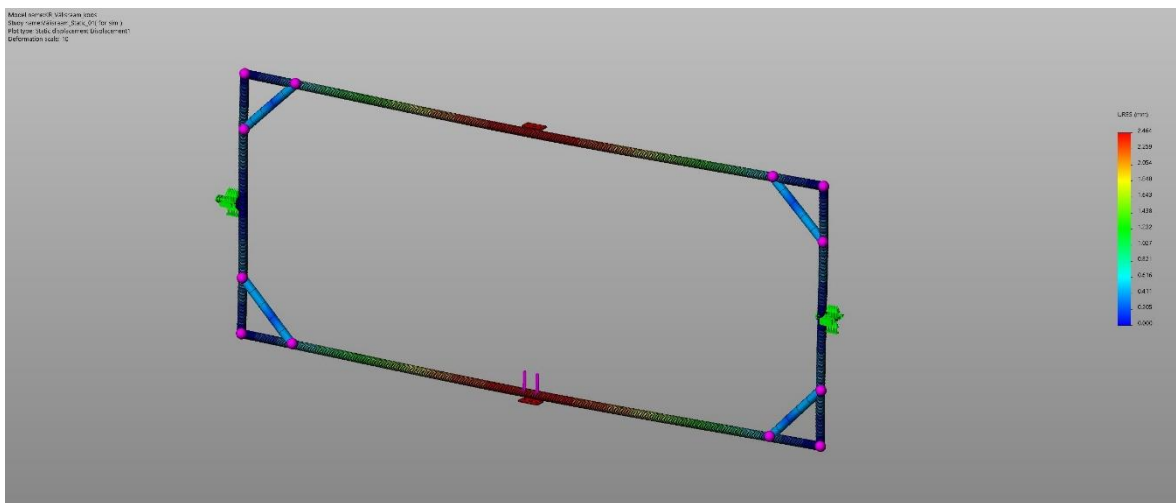


Joonis 26. Välimise raami pinge profiiliga 180x90 mm (SolidWorks)

Tänu suurtematele profiilidele on nüüd läbipaine maksimaalse massi juures 3,53 mm (joonis 27). See tulemus sobib tingimustega. Igaks juhuks on raamile tehtud ka külgsuunaline analüüs, kus on tulemuseks 2,5 mm läbipaine (joonis 28).



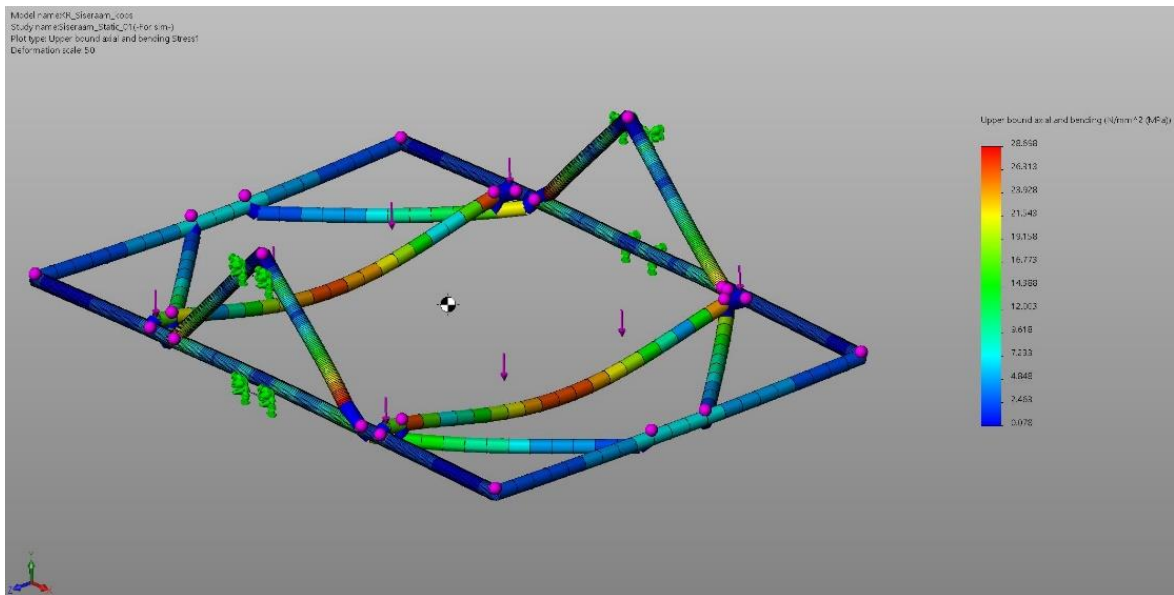
Joonis 27. Välimise raami läbipaine profiiliga 180x90 mm (SolidWorks)



Joonis 28. Välimise raami külgsuunaline läbipaine profiiliga 180x90 mm (SolidWorks)

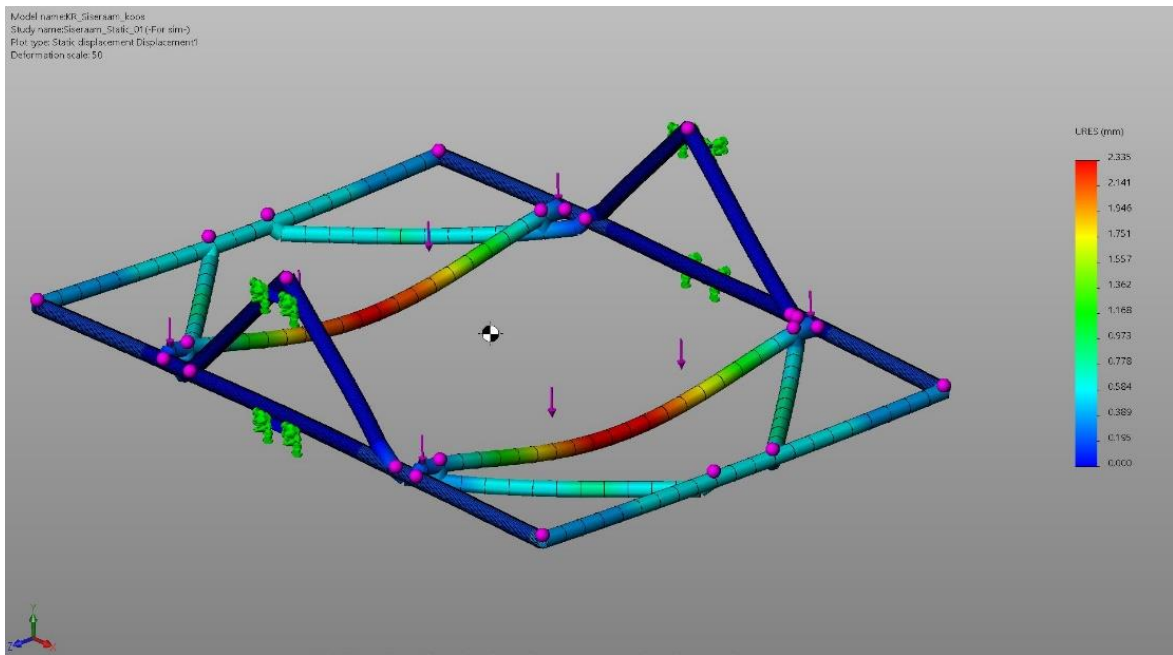
4.3.2. Sisemise raami tugevusanalüüs

Sisemise raami puhul on jõu asukohaks kaks risti olevat profiili, mille peale hakkab katsekeha toetuma. Kuna paadi mudeli hakkab asuma kergest vahust valmistatud laevakere põhja kuju järgi tehtud plokkidel, siis toetatav pind on praktiliselt terves ulatuses antud taladel. Fikseeritud on punktid kus asuvad laagrid, mis toetavad trapetslatti (joonis 29). Maksimaalne pinge asub laevamudelit toetavates talades ning samas kohas on ka maksimaalne läbipaine (joonis 30).



Joonis 29. Sisemise raami pinged, 1700N (SolidWorks)

Kuna laevakere ei ole lihtsa põhjakujuga siis need kandvad talad on liigutatavad piki sisemist raami ning sisemisel raamil on lisaks terviklik ümbrisraam. Sellega on võimalik saavutada vabadus eemaldada üldse kandvad torud või asetada sinna, kus need ette ei jääks, näiteks sõukruvile või kiilule.

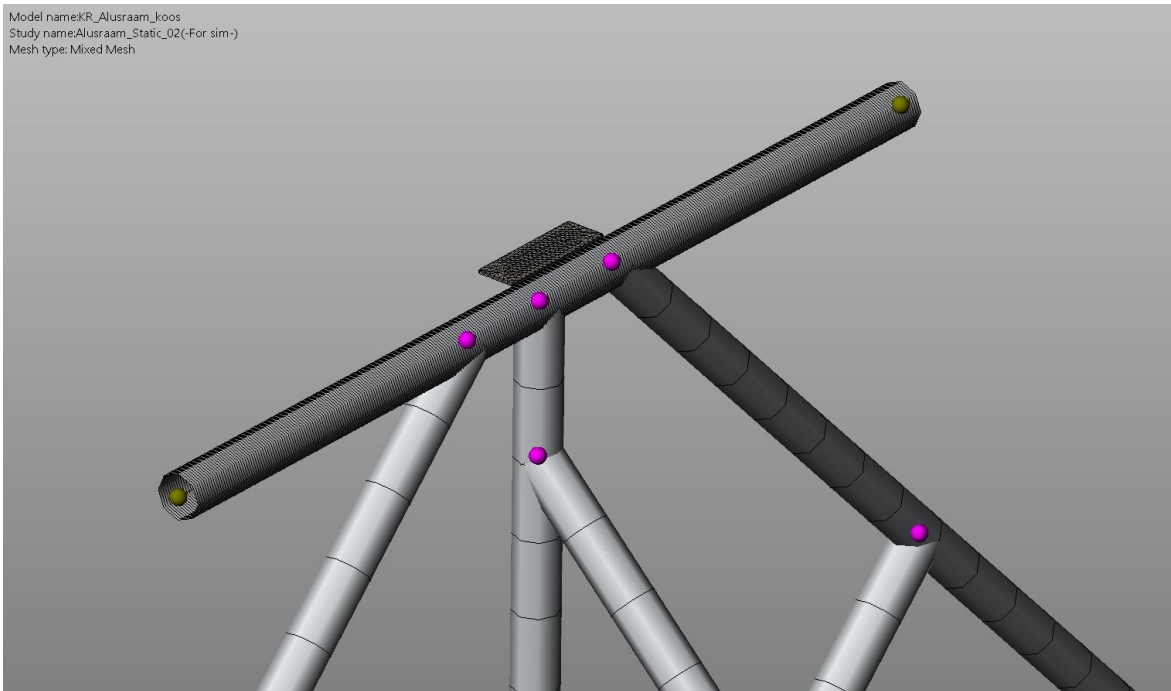


Joonis 30. Sisemise raami läbipaine, 1700N (SolidWorks)

Lisaks on võimalik väga raske katsekeha puhul jaotada massi nelja risttala peale pannes toetatavad vahuplokid ka otsmiste profiilide peale. Suurema toetuspinna toetatud mudel on ka stabiilsem ning ei liigu kiigutamishetkel.

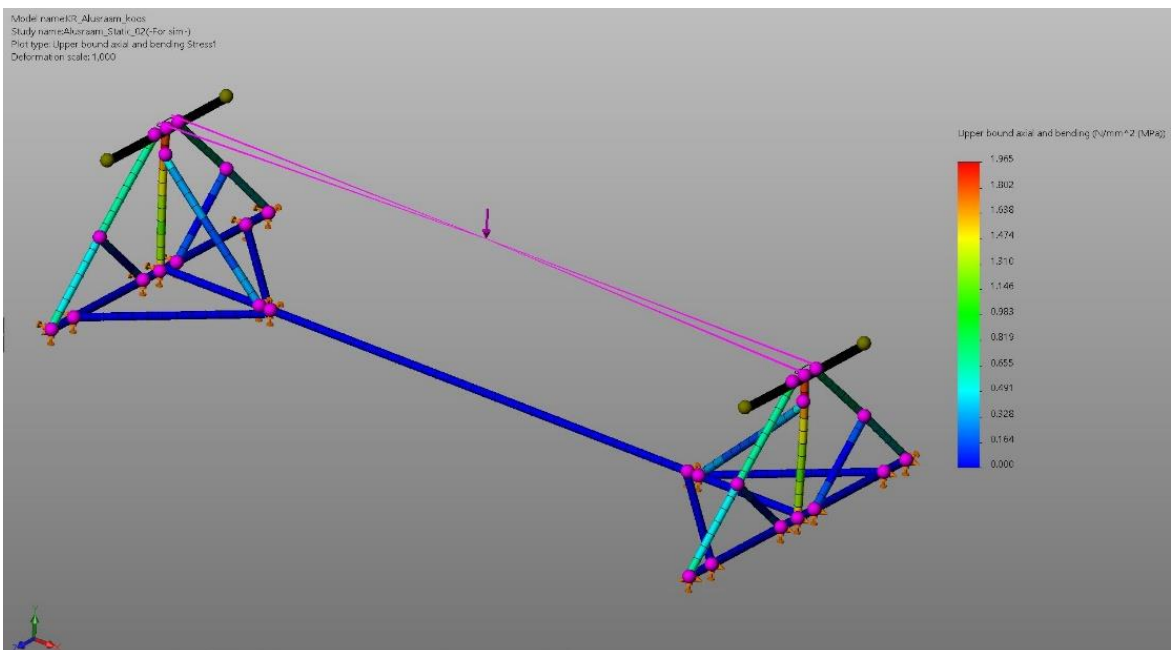
4.3.3. Alusraami tugevusanalüüs

Alusraami simulatsioonis on arvesse võetud lisaks katsekehale ka kiikuvate raamide kaal ning jõud on ümardatud ülespoole. Kõik ühenduspunktid on jäigalt omavahel ühendatud ning raami vastu maad toetuvad punktides on kõik vabadusastmed kinni pandud. Jõu asukohaks on kiikuva raamide ja katsekeha ehk antud hetkel laevamudeli raskuskeskme asukoht (joonis 32). Jõu suurus on 2600 N. Plaadi suurus võrreldes talade elementide suurusega on liiga väike, siis esimese tala, kus peal plaat on, elemendid on tehtud väiksemad (joonis 31), et tulemus oleks täpsem.

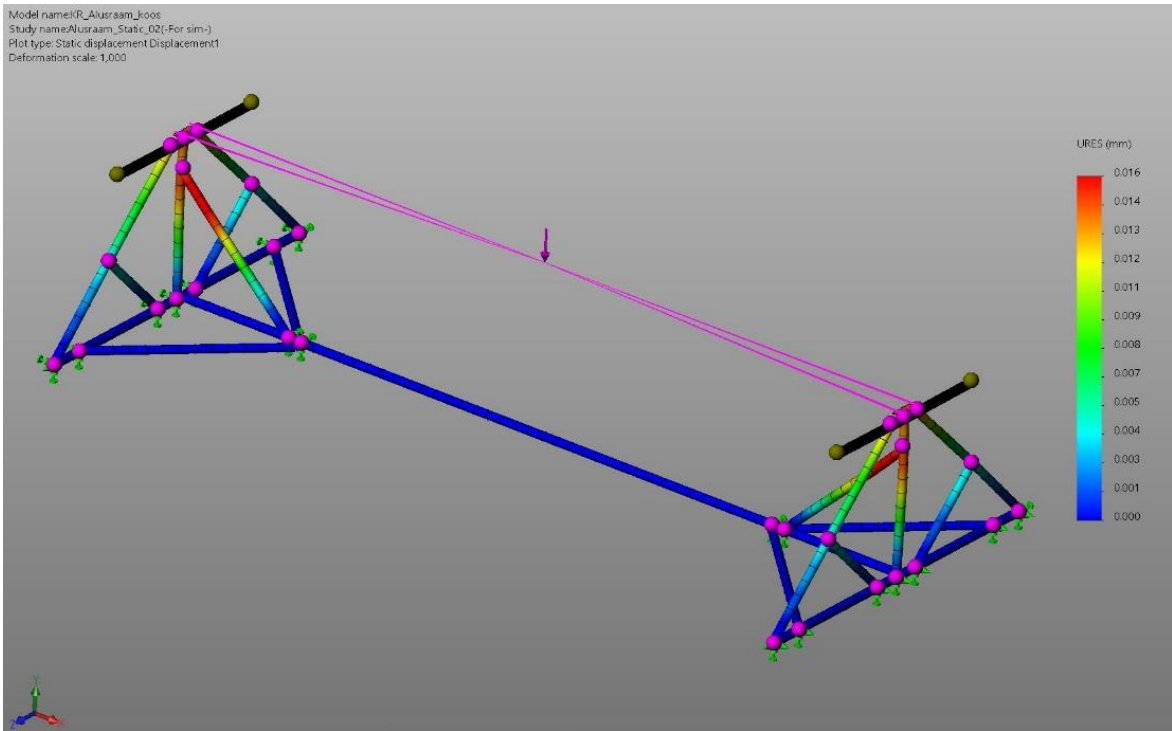


Joonis 31. Elementide võrk (SolidWorks)

Alusraami diagonaalid on väga hea toetusega ning maksimaalsed pinged ulatuvad kahe MPa-ni. Alusraami puhul veel ei ole kõige olulisem läbipaine nagu on kiikuvatel osadel, aga siiski sai ka siin seda ning tulemuseks on peaaegu olematu läbipaine (joonis 33). Kõige rohkem teevadki tööd suunaga sissepoole diagonaalid ning vertikaaltorud. Kiigutamise poole pealt vaadates, võiks need diagonaalid ära jätta, aga siis oleks läbipaine suurem ning see hakkaks mõjutama pukklaagrite tööd kuna kiigutamistelg ei oleks enam ühel joonel.

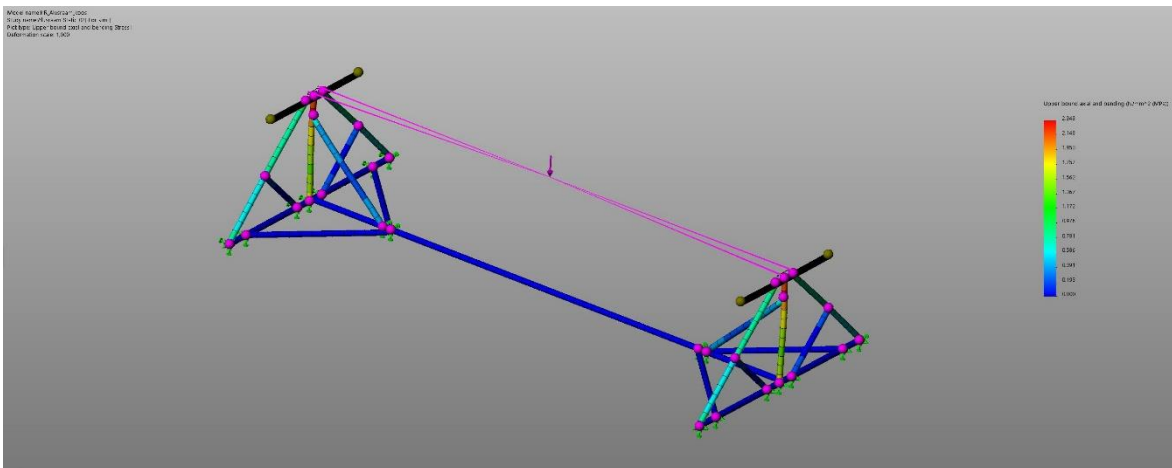


Joonis 32. Alusraami pinged, 2600N (SolidWorks)

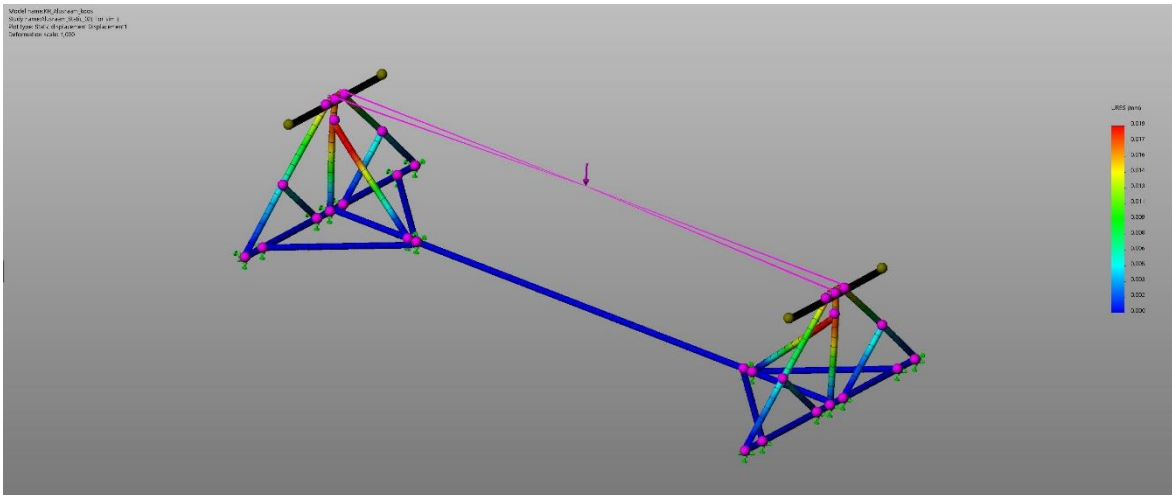


Joonis 33. Läbipained alusraamis, 2600N (SolidWorks)

Vahetades välamise raami küljed suuremate profiilide vastu, lisandus kaalu umbes 50 kg. Tehes uued simulatsioonid alusraamile, kasvas läbipaine kõigest 0,003 mm (joonis 35). Alusraami diagonaalidest koosnevad otsad töötavad väga hästi.



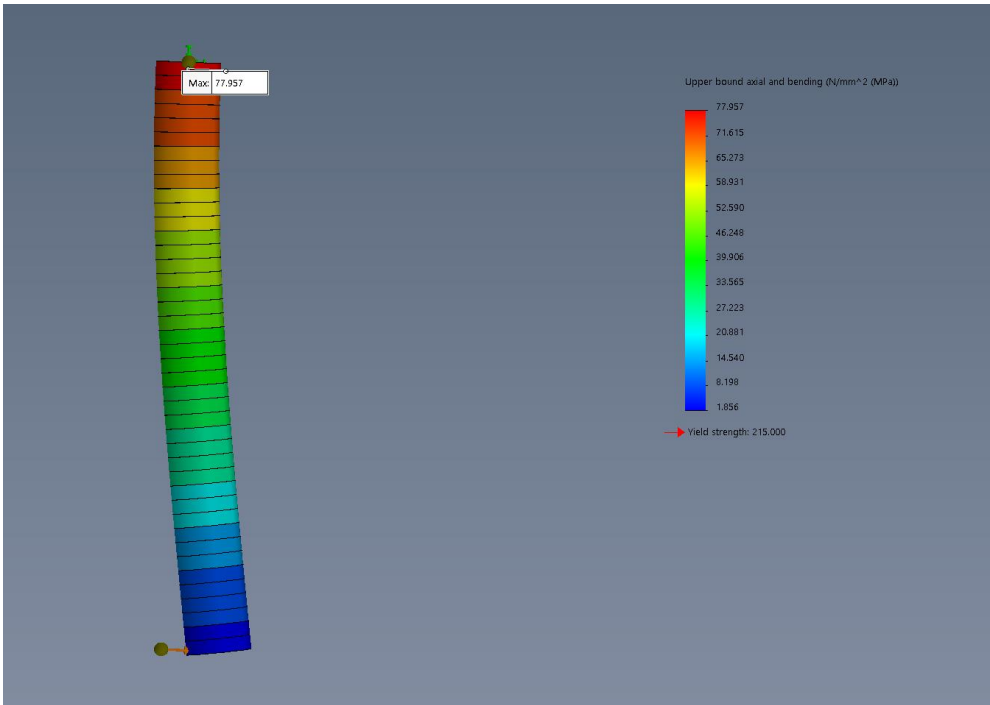
Joonis 34. Pinged suurema koormusega, 3100N (SolidWorks)



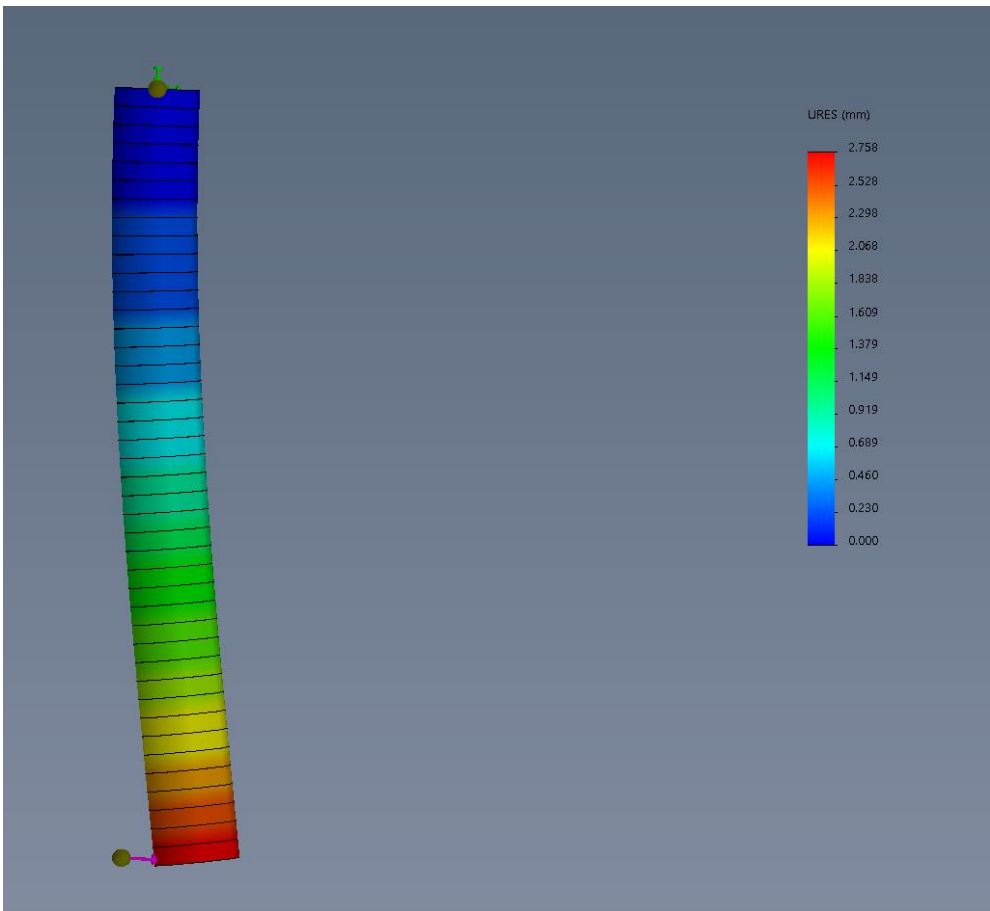
Joonis 35. Läbipaine raskema välisraami profiiliga, 3100N (SolidWorks)

4.3.4. Sisemist raami toetava vertikaaltoru tugevusanalüüs

Analüüsitud on ka Norcan profiili N0165 (L3, detail 6.1), sest külgõõtsumise ajal võtab see vastu sisemise raami ja katsekeha massi. Nii ei mõju kogu jõud trapetslattice peale. Simulatsioonis on hinnatud kõige hullemat juhtumit, kus kasutust rakendatakse terves toru pikkuses. Fikseeritud on ülemine ots välimise raami külge ning alumine ots toetab sisemist raami kiigutamishetkel. Kuna mõlemal pool raami on torusid kaks tükki, siis jõud on jagatud pooleks. Tekkivad pinged ulatuvad 78 MPa-ni, mis jäävad allapoole lubatud piirist: 240 Mpa (joonis 36). Läbipaine antud profiilis on maksimaalselt 2,8 mm (joonis 37).



Joonis 36. Pinged vertikaaltorus, 1015N (SolidWorks)



Joonis 37. Vertikaaltoru läbipaine, 1015N (SolidWorks)

5. KIIKRAAMI VÕNKEPERIOODI MÕÕTMINE

Käesoleva lõputöö üheks eesmärgiks oli luua täpsem meetod laevamudeli võnkeperioodi mõõtmiseks. Selleks otsustati disainida elektrooniline süsteem, mis asendaks kiikraami varasema mudeli juures kasutatud käsitsi mõõtmist.

5.1. Enkoodri valik

Enkoodri valikul võrreldi turul saadaolevaid lahendusi. Enkoodrite kaks põhilist kategooriat on analoog ning digitaalenkoodrid. Analooogenkoodrite puhul on telje asend määratav mingi analoogsuuruse (nt. potentsiomeetri pinge) muutumisega. Digitaalenkoodrid väljastavad telje asendi ja kiiruse impulsside sagedusena. Kuna digitaalenkoodrid pakuvad üldjuhul paremat täpsust ja töökindlust vaadeldi käesolevas töös lähemalt ainult neid.



Joonis 38. CALT GHH20 elektrooniline kooder [7]

Esimesena on vaadeldud firma CALT õõnesvõlliga enkoodrit GHH80 (L1). Selle eeliseks on enkoodri sisseehitatud õõnesvõlliga otse teljele kinnitamise võimalus, mis muudab paigalduse väga lihtsaks. Puuduseks on kallim hind võrreldes teiste enkoodritega. Enkooder on elektriliselt ühendatav D-sub 14 tüüpi pesaga ning selle signaalid on tootja poolt kaasa tuleval pistikul tähistatud värvikoodiga (tabel 3).

Tabel 3. Enkoodri pistiku värvikoodid [7]

Signaal	A	B	Z	A-	B-	Z-	Vcc	GND
Juhme värv	Roheline	Valge	Kollane	Pruun	Hall	Oranž	Punane	Must

Teine vaadeldud enkooder oli firmalt Hengstler. See on tööpõhimõttelt sarnane eelmisena vaadeldud enkoodrile, aga vajab teljega ühendamiseks vahepealset mehaanikat – nt. rihmülekanne või sidur. See teeb enkoodri kinnitamise keerulisemaks võrreldes õõnesvõllil põhineva lahendusega.



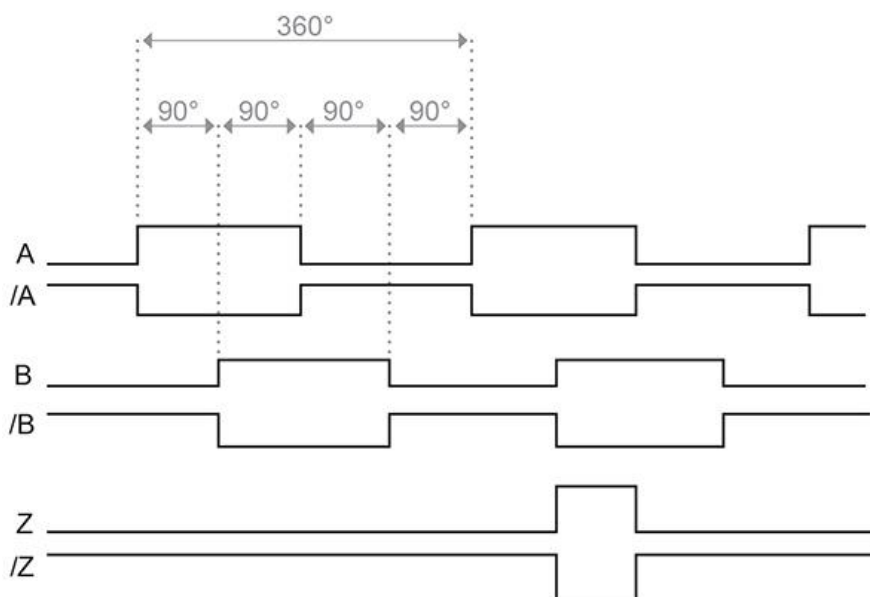
Joonis 39. Hengstler kooder RI32-O/360ER.11KB [7]

Kuna vaadeldud enkoodrid olid oma täpsuselt jm. tööparameetritelt käesoleva töö rakenduse nõuete jaoks samaväärsed, oli valiku tegemisel põhiliseks kriteeriumiks nende mehaanilise paigalduse lihtsus. Seepärast otsustati kiikraami telgede asendi mõõtmiseks kasutada õõnesvõlliga enkoodrit. Lähtudes parimast hinna/täpsuse suhtes valiti enkooder GHH80 konfiguratsioonis 2500 impulssi pöörde kohta. See tähendab, et selle enkoodriga telje asendit on võimalik mõõta täpsusega $360/2500 = \pm 0,14$ kraadi, mis on kiikraami eelmise mudeli kasutamisel saadud kogemuse põhjal täiesti piisav täpsus.

5.2. Enkoodri põhimõtte kirjeldus

Enkooder väljastab sellega ühendatud telje pöörlemisel impulssisignaale. Põhilisi signaale on 3: A ja B, millega määratakse ära pöörlemiskiirus ja suund ning Z, millega on võimalik loendada telje täispöördeid. Lisaks on enkoodril nende kolme signaali

inverteeritud väljundid kasutamiseks RS-422 diferentsiaalsignaali režiimis (suurt töökindlust vajavates rakendustes), mida käesolevas lõputöös ei kasutata. Enkoodri väljundisignaali tähistus ning graafik on toodud allpool:



Joonis 40. Enkoodri väljundisignaali põhimõtte skeem

Enkoodri signaalid toimivad järgmiselt: Signaal A on nelinurksignaali, mille sagedus sõltub enkoodriga ühendatud telje nurkkiirusest. Kuna ainult ühe signaaliga oleks võimalik määrata vaid telje pöörlemiskiirust, aga mitte -suunda, siis on enkoodril teine signaal B, mis toimub sarnaselt signaalile A kuid omab selle suhtes faasinihet. Mõõtes signaali A ja B impulsside saabumist on võimalik eristada tõusvat ning langevat fronti ning seeläbi määrata võlli pöörlemise suund, mis on antud töös kiikraami telje võnkeamplituudi maksimaalse hälbe tuvastamiseks oluline. Signaal Z saadab kõrge signaali, kui enkooder on pööratud kindlasse asendisse ning võimaldab täispöörete lugemist. Kuna käesoleva töö rakenduses seda funktsiooni vaja ei ole, siis ei ole signaal Z kasutusel.

5.3. Kontrolleri valik

Kontrolleri valikul seati järgmised kriteeriumid:

- Kontrollerial peab olema piisavalt sisendeid, et ühendada kaks pöördenkoodrit.
- Controller peab suutma lugeda enkoodri impulsse kiikraami telje maksimaalsel pöörlemiskiirusel ehk teisisõnu olema piisavalt kiire taktsagedusega

- Kontroller peab olema hõlpsalt ühendatav arvutiga, et saada mõõtetulemuste tagasiside

Töös kasutatud kiikraamil on kaks telge, mille külge ühendatud enkoodrite väljundsignaalidest on vaja mõõta liikumissuuna muutumise (võnkeperioodi lõpu) määramiseks vajalikke ehk väljundid A ja B. Kokku kaks enkoodrit, seega kokku 4 signaali.

Varasema kiikraami prototüübi kasutusest on teada, et suurim praktilises kasutuses ilmnev kiirus raami teljel on 20 p/min. Valitud enkooder saadab ühe täispöörde kohta 2500 impulssi. Leiame impulss-signaali sageduse.

(1)

$$n_{telg} = \frac{20 \text{ p}}{\text{min}} = 0,33 \frac{\text{p}}{\text{s}}$$

$$n_{enkooder} = 2500 \text{ imp/p}$$

$$f_{impulss} = n_{telg} * n_{enkooder} = 0,33 * 2500 = \sim 850 \text{ Hz}$$

Eelneva põhjal valiti süsteemi juhtimiseks mikrokontrolleri arendusplaat Arduino Uno (joonis 41). Selle relevantssed parameetrid [9]:

- 14 digitaalsisendit (vaja 4)
- Võimeline saatma arvutisse andmeid USB kaudu kasutades Arduino vabalt saada olevaid tarkvarateeke
- Töötab taktsagedusel 16 MHz – seega ühe enkoodri impulsi töötlemiseks telje maksimumkiirusel on mikrokontrolleril ligikaudu 19 000 töötükliline varu, mis on kogemuse põhjal piisav isegi mitteoptimeeritud programmi korral.



Joonis 41. Mikrokontrolleri arendusplaat Arduino Uno Rev 3

6. KIIKRAAMI DETAILIDE TARNIJAD JA MAKSUMUS

Kiikraami Norcan profiilide ja detailide tarnijaks on Tech Systems OÜ, kust on ka varasemalt tellitud. Hetkel oleva kriisiolukorra tõttu ei ole saanud ühendust nendega, et saada täiskomplektile täpne hinnapakumine. Varasemata tellimuste põhjal on kokku pandud profiilide ja kinnitusnurkade hinnad ning laagrite edasimüüjate koduleheküljelt ka laagrite hinnad (tabel 4). Mõningate detailide kohta veel hinnad puuduvad. Projekti jaoks koostatava umbkaudse materjali maksumuse saab kätte ning koostamine oleks juba kohapeal kasutajate poolt. Koostamiseks on arvestatud kaks päeva ja kahe inimese palgakulu.

Tabel 4 Norcan profiilide ja detailide hinnad (sisaldab käibemaksu). Profiilide meetrite hinnad ligilähedased.

Jrk nr.	Detaili kood	Kogus (tk)	Kogus (m)	Hind	Summa
1	N1109A	4		5.03	20.12
2	N1103	16			0.00
3	N1145	44		4.14	182.16
4	N1108	4			0.00
5	N1109	20		7.56	151.20
6	N1006	2		21.60	43.20
7	N0675	4		7.20	28.80
8	SY 12 TF	2		19.92	39.84
9	FYTJ 20 TF	2		29.04	58.08
10	UCP204	2		18.00	36.00
11	N0285		12	12.00	144.00
12	N0286		2	20.00	40.00
13	N0165		14	20.00	280
14	N0119		8	100.00	800
15	N0166		16.5	23.00	379.5
16	Profiilide lõikus	38		2	76
17	Pakkimine	2		10	20
18	AISI materjal	1		150	150
19	Trapetslatt	2		40	80
	AISI treimine/freesimine	1		1400	1400
	Koostamine	2		150	300
				KOKKU	4228.90

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö raames valmis laevamudelite inertsmomenti määrav kiikraam. Antud kiikraam on edasiarendus prototüübist, mida on vaja Tallinna Tehnikaülikooli Väikelaevaehituse kompetentsikeskuses Kuressaares väikelaevamudelite massiparameetrite seadistamiseks. Uus kiikraam säästab aega katsekehade ettevalmistusel võrreldes seni kasutuses oleva prototüüpraamiga. Konstruktsioon on saavutatud jäigem tänu paremate profiilide valikule ning eemaldatud on etapp, kus pidi kiikraami põhiosasid ümber tõstma, et saavutada teine kiigutamistelg. Mõlemad teljed on nüüd võimalik kasutada katsekeha välja tõstmata ning nii on raam kasutajasõbralikum ning saavutatud on parem täpsus. Kiikraami igale suuremale raamiosale on tehtud tugevusanalüüsid, kus põhiliselt on jälgitud pingeid talades ning konstruktsiooni läbipainet. Lisaks on lõputöös välja toodud lisavalikuna sobilikud koodrid, millega on võimalik saada kätte täpsem võnkeperiood. Magistritöös on esitatud hinnakalkulatsioon kiikraami toruprofiilidele, standarddetailidele ja koostamisele.

SUMMARY

In this master's thesis, a swing frame determining the moment of inertia of ship models was developed. This swing frame is a further development of the prototype in use at the Tallinn University of Technology Small Craft Competence Centre in Kuressaare to set the mass parameters of recreational craft test models. The new swing frame saves time in preparing test specimens compared to the prototype frame in use so far. The construction has been made more rigid due to the choice of better pipe profiles, and the step, where the main parts of the swing frame had to be moved to reach the second swing axis, has been removed. Both swing axles can now be used without lifting the test piece, making the frame more user-friendly and better accuracy is achieved. Strength analyses have been performed on each larger frame part of the swing frame, where the stresses in the beams and the deflection of the structure have mainly been monitored. In addition, suitable encoders are presented as an additional option to obtain a more accurate oscillation period. At the end, a price calculation is prepared for the swing frame profiles, standard parts and assembly.

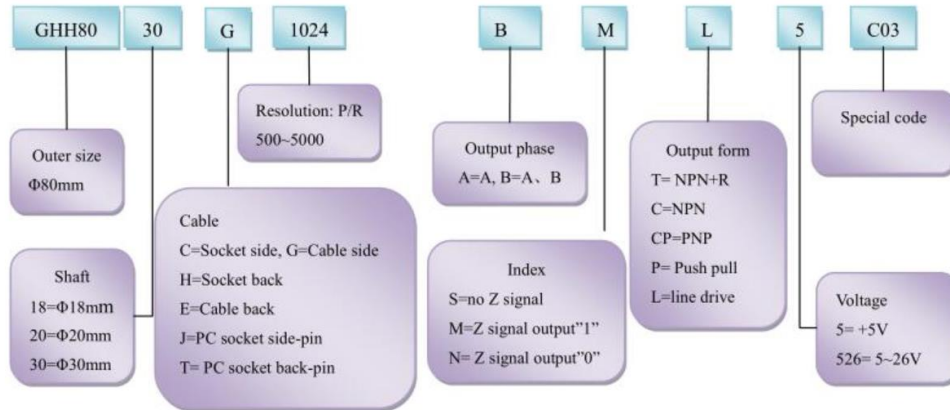
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. **Lewis, Edward V.** Principles of Naval Architecture. 2. The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 601 Pavonia Avenue, Jersey City, USA, 1989, 423
2. **Adams Lab.**
http://adamslab.co.uk/index.php?route=product/product&product_id=4508, 12.03.2020
3. **Saar, Kalju.** Väikelaeva mudeli massijaotuse parameetrite määramine kiikraami kasutades, Kuressaare 2016
4. **SKF.** <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/insert-bearings/productid-YAR%20204-2F>, 12.04.2020
5. **Automotion Components.**
<https://www.automotioncomponents.co.uk/en/pageid/automotion-lead-screws-technical-page>, 12.04.2020
6. **Profican OY.**
https://profican.fi/mediapankki/tiedostot/norcan_doctec_aluminium-profiles_gb.pdf, 02.04.2020
7. **CALTSensor Store.** <https://www.aliexpress.com/item/32799380105.html>, 03.04.2020
8. **Elfa Distrelec.** <https://www.elfadistrelec.ee/et/rotary-encoder-10-30v-6000rpm-hengstler-ri32-360er-11kb/p/13759660>, 18.04.2020
9. **Arduino.**
<https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/serial/>, 15.05.2020

LISAD

Lisa 1 CALT GHH20 anduri spetsifikatsioon

Model



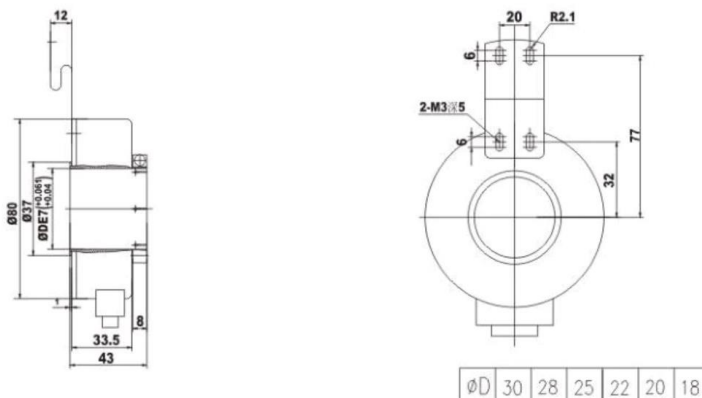
Electrical spec:

Output circuit	Open-collector output	Voltage output	Push-pull complementary outputs	driver
Supply voltage	5~30V	5~30V	5±0.25 5~30V	5±0.25 5~30V
Current consumption	≤80mA	≤80mA	≤80mA	≤150mA
Load current	40mA	40mA	40mA	60mA
Output high	Min Vcc*70%	Min Vcc-2.5V	Min Vcc-1.5V	Min 3.4V
Output low	MAX 0.4V	MAX 0.4V	MAX 0.8V	MAX 0.4V
Rise time Tr	MAX 1us	MAX 1us	MAX 1us	MAX 200ns
Fall time Tf	MAX 1us	MAX 1us	MAX 1us	MAX 200ns
Highest frequency response	300kHz	300kHz	300kHz	300kHz

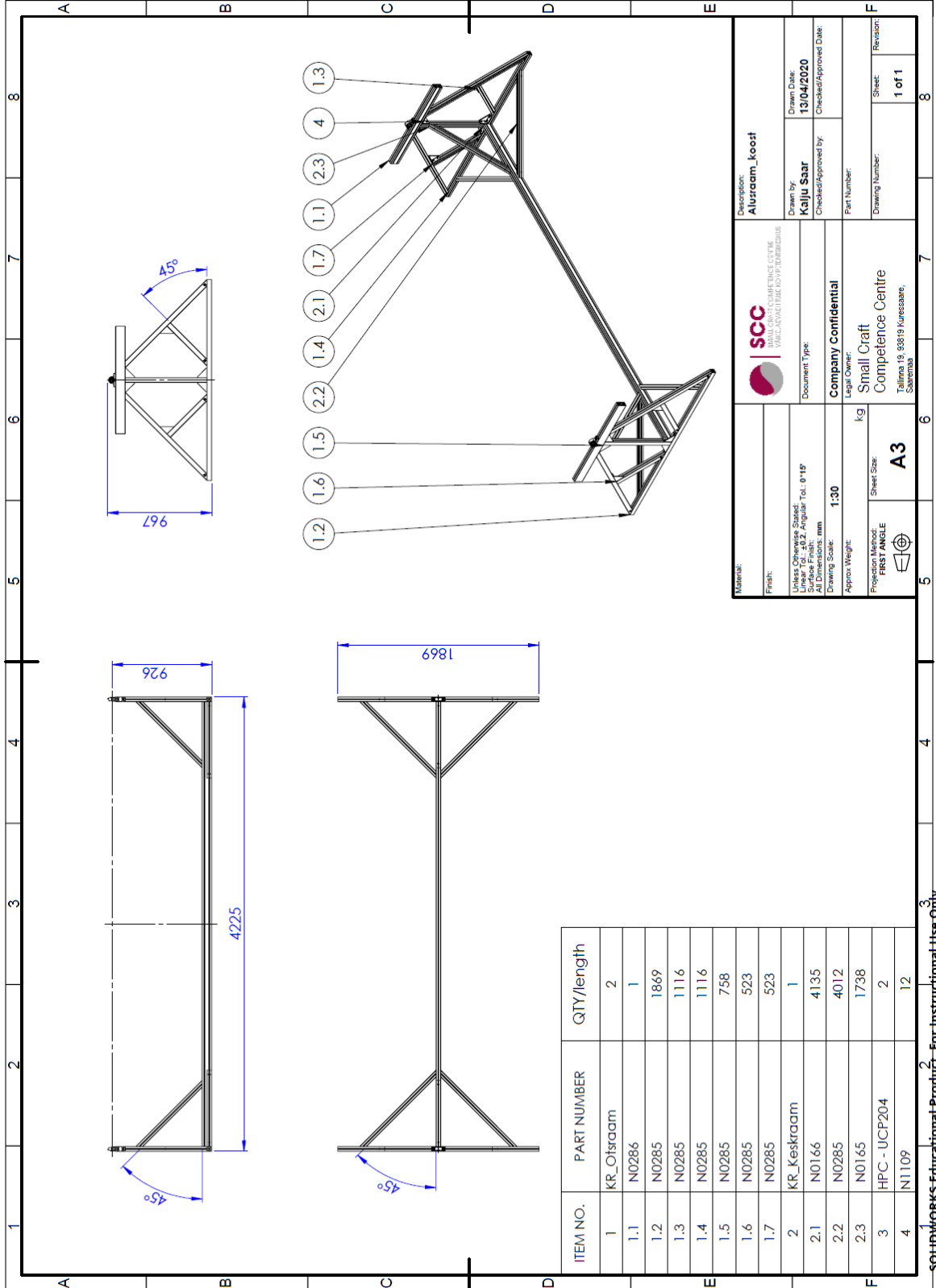
Mechanical spec:

Max speed r/min	Starting torque	Axis maximum load	Impact	Anti-vibration
6000	<0.05Nm	Radial 25 N Axial 15N	50G/11ms	10G 10-2000Hz
Moment inertia	Work Temperature	Storage Temperature	Protection Degree	Weight
4 x 10 ⁻⁸ kgm ²	-40~85°C	-40~85°C	IP50	400g

Dimensions :



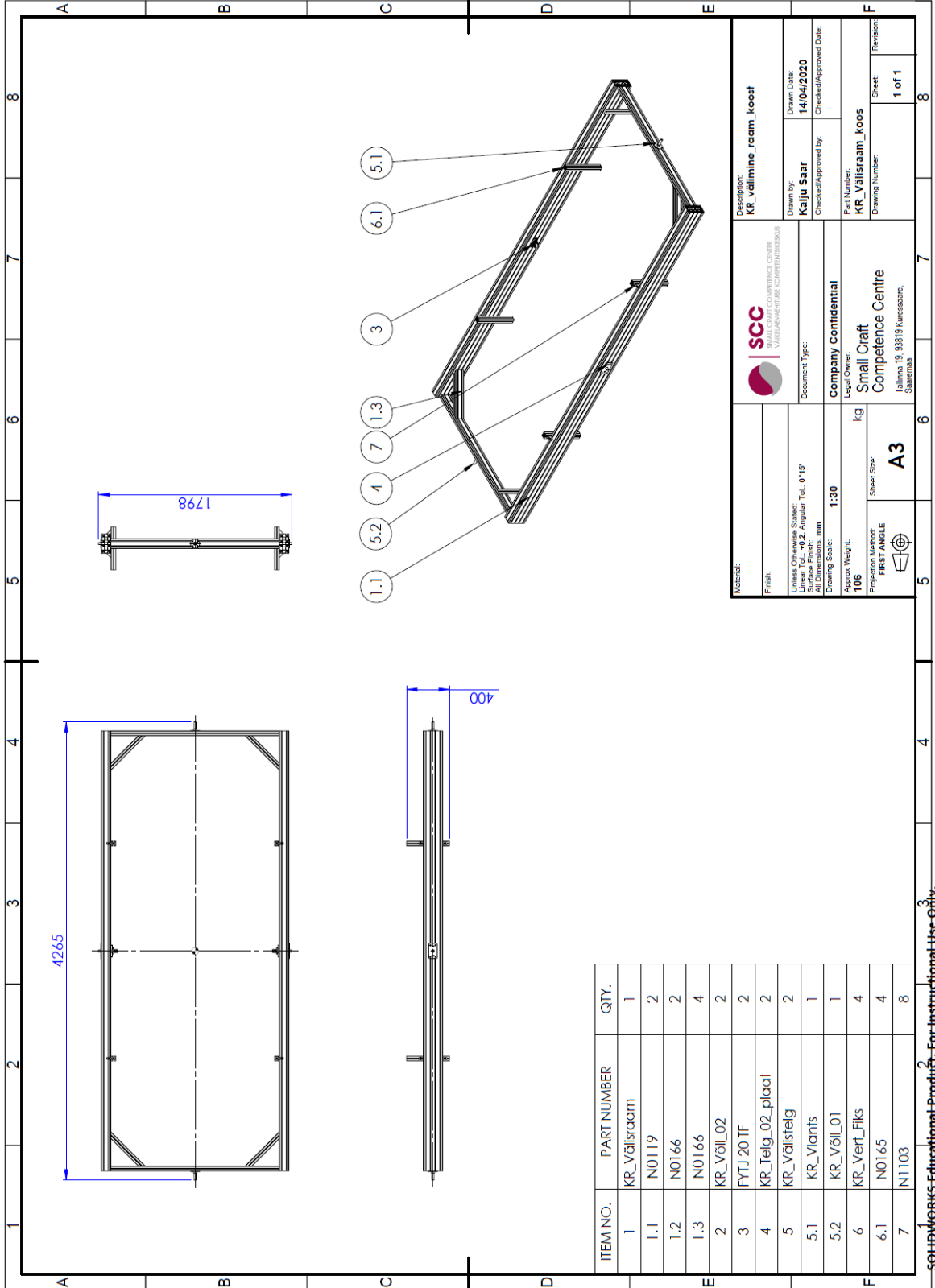
Lisa 2 Alusraami koostejoonis



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

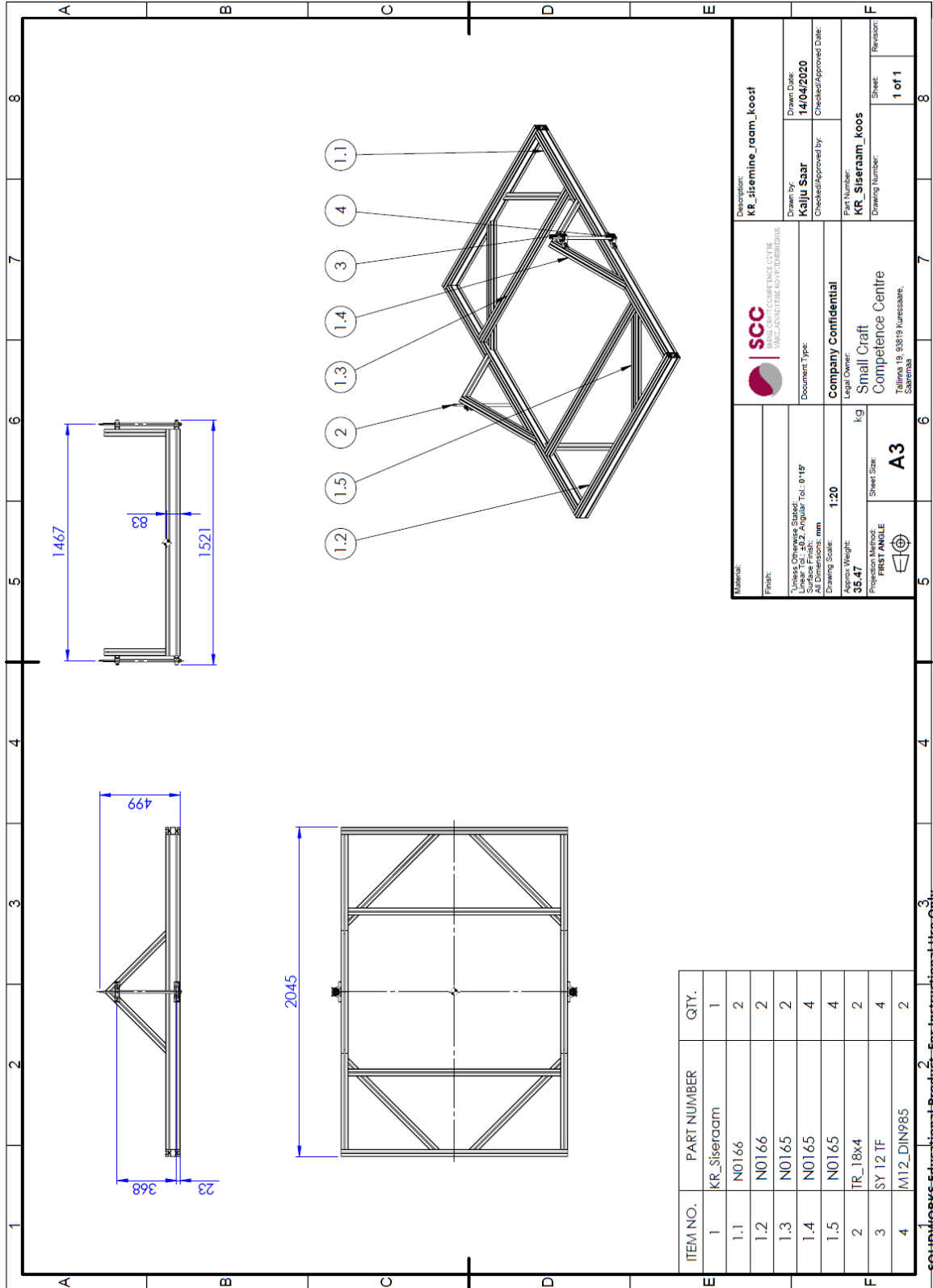
LISAD

Lisa 3 Välimise raami koostejoonis



LISAD

Lisa 4 Siseraami koostejoonis

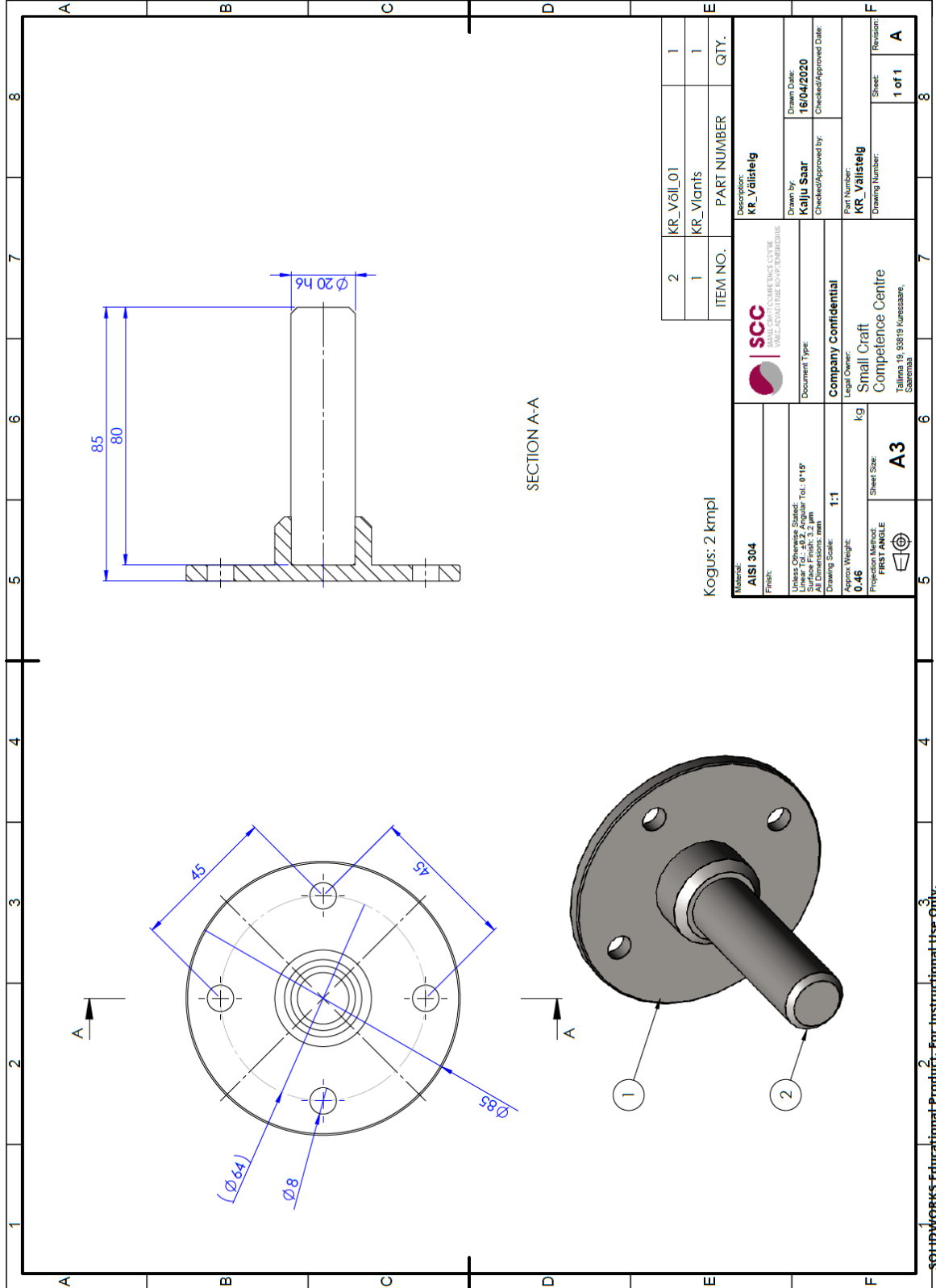


ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	KR_Siseraam	1
1.1	N0166	2
1.2	N0166	2
1.3	N0165	2
1.4	N0165	4
1.5	N0165	4
2	TR_18x4	2
3	SY 12 TF	4
4	M12_DIN985	2

 SCC <small>SMALL CRAFT COMPETENCE CENTRE VEEHILASITIE 10, 00100 HELSINKI</small>		Description: KR_sisemine_ream_koost	
Material: Finish: Linear Dimensional Tolerance: Surface Finish: Drawing Scale:		Drawn by: Kajju Saar Checked/Approved by: Drawn Date: 14/04/2020 Checked/Approved Date:	
Company Confidential Legal Owner: Small Craft Competence Centre Tallinna 19, 99819 Kuresaare, Saaremaa		Part Number: KR_Siseraam_koos Drawing Number: Sheet: 1 of 1 Revision:	
Approx. Weight: 35.47 kg Projection Method: FIRST ANGLE Sheet Size: A3			

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

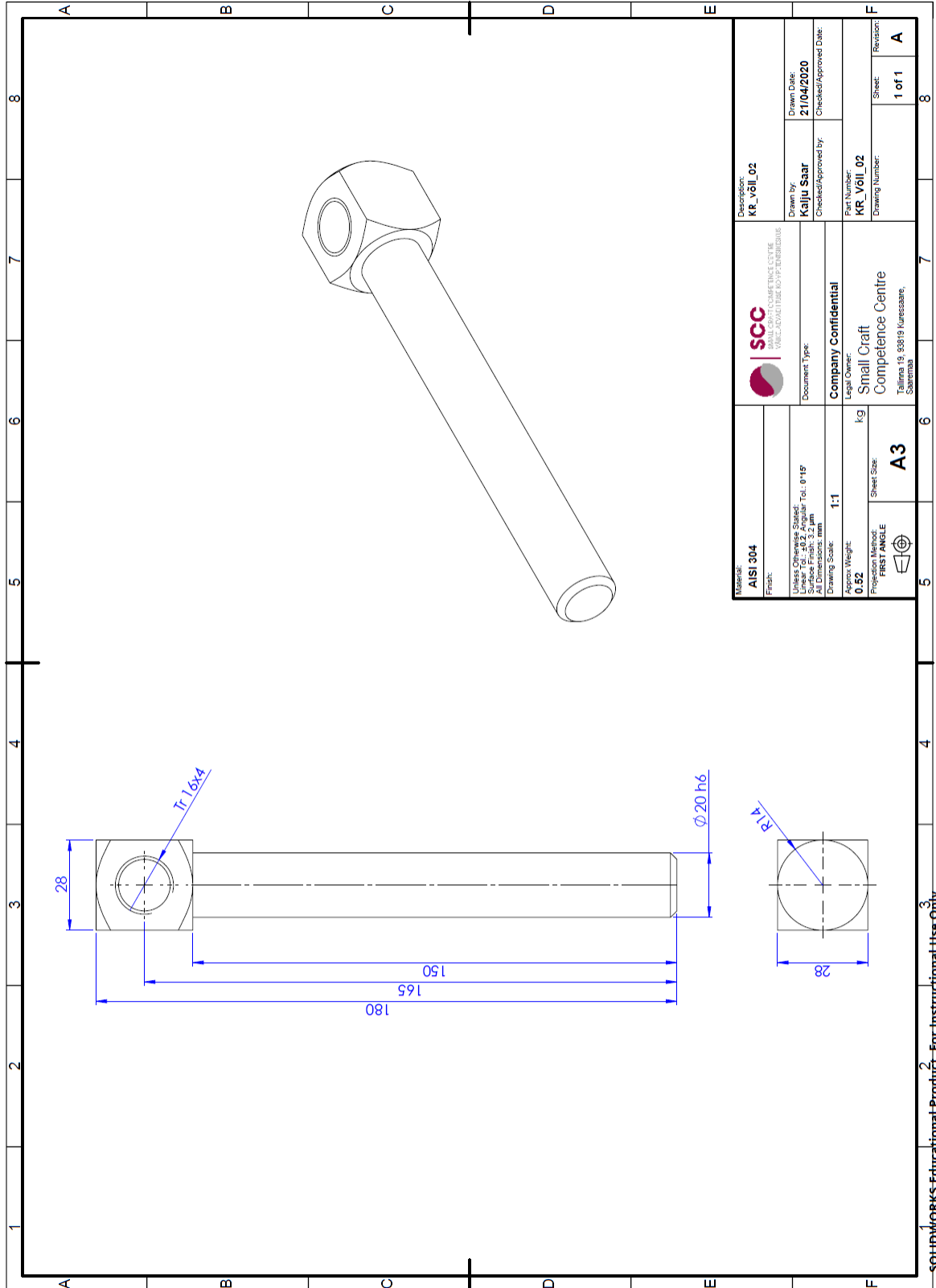
Lisa 5 Välimise võlli koostejoonis



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

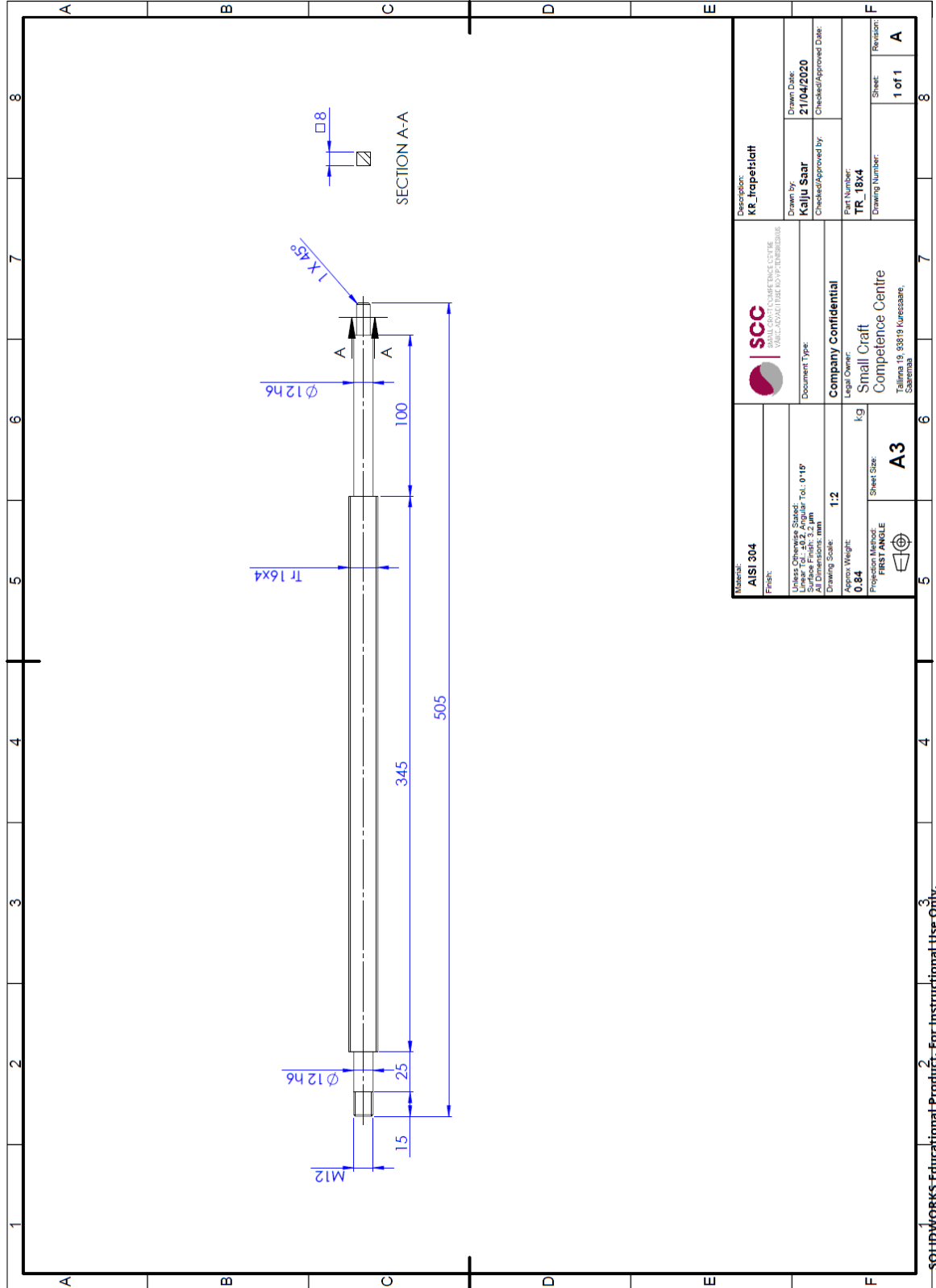
LISAD

Lisa 6 Sisemise võlli joonis



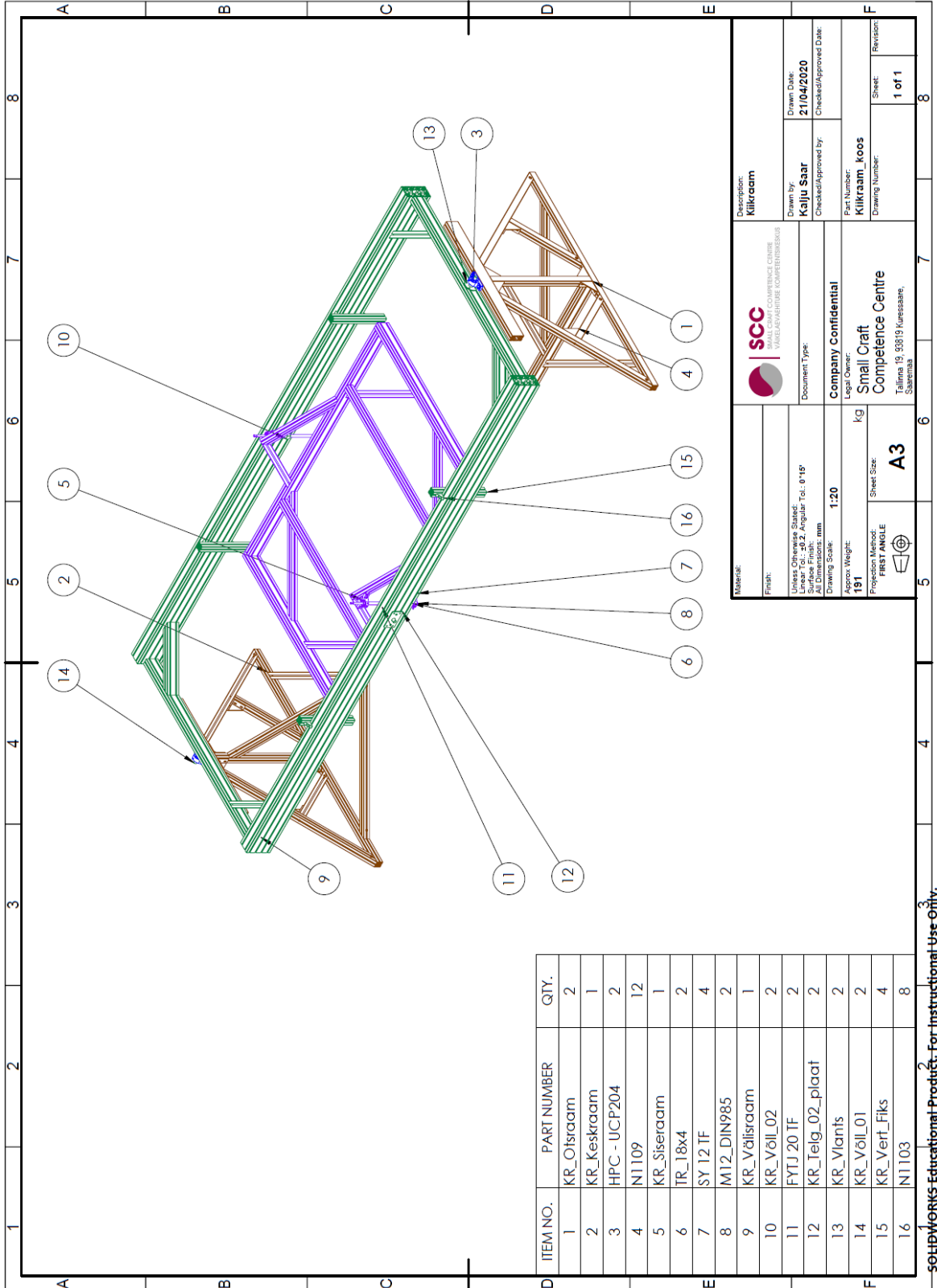
LISAD

Lisa 7 Trapetslati joonis



LISAD

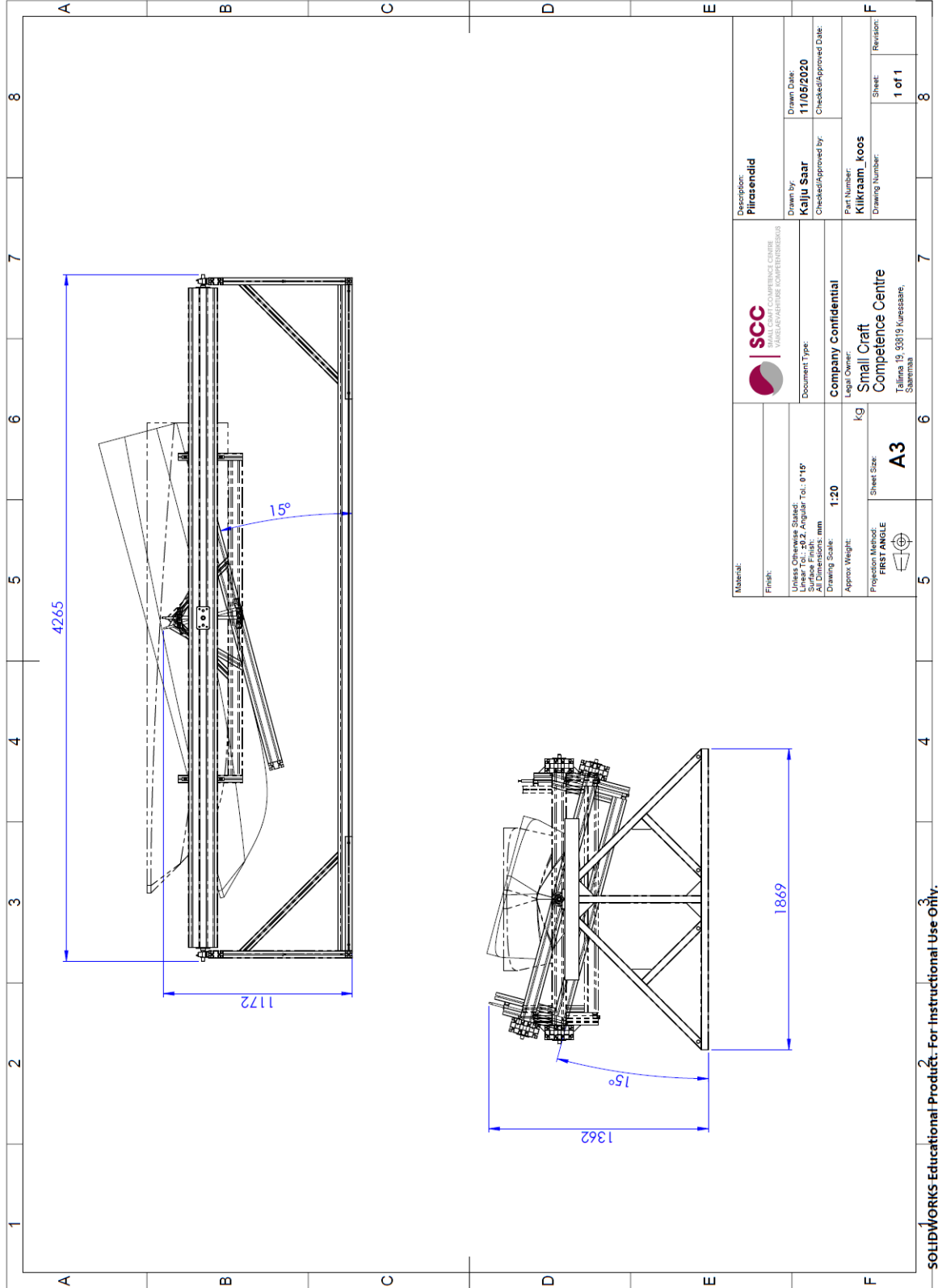
Lisa 8 Kiikraami koostejoonis



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

LISAD

Lisa 9 Kiikraami piirasendid



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.