



Armis Laanemäe

**MODULAARSE HOOLDUSPLATVORMI
VÄLJATÖÖTAMINE AUTOMAATIKASEADMETELE
ETTEVÕTTES WINDAK OÜ**

**DEVELOPMENT OF A MODULAR MAINTENANCE
PLATFORM FOR AUTOMATION EQUIPMENT AT
WINDAK OÜ**

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Masinaehituse õppekava

Juhendajad: Mart Tiidemann, Tõnis Tüürpuu

Tallinn 2023

Autori deklaratsioon ja lihtlitsents

Mina,

Armis Laanemäe

....., tõendan,
et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teoste on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autori/te/le ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja (nimi) ... ~~Mart Tiidemann~~

Lihlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, .. Armis Laanemäe
(*autori nimi*)

sünnikuupäev: 08.04.1999

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

..... Modulaarse hooldusplatvormi väljatöötamine automaatikaseadmetele ettevõttes Windak OÜ

(*lõputöö pealkiri*)

1. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
2. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Tallinnas, kuupäev digiallkirjas.

SISUKORD

1. SISSEJUHATUS.....	5
1.1 Ettevõtte kirjeldus.....	5
1.1.2 Ettevõtte struktuur.....	5
1.1 Ametikoha kirjeldus	5
2. PROBLEEMI PÜSTITUS.....	6
2.1 Probleem.....	6
2.2 Lahendus.....	6
2.2.1 Modulaarseks tegemine.....	6
2.2.2 Optimeerimine.....	6
3. TÖÖ KÄIK.....	7
3.1 Olemasoleva lahenduse analüüs	7
3.2 Olemasoleva lahenduse tugevusanalüüs.....	7
3.3 Analüüside kokkuvõte	11
3.4 Optimeeritud lahenduse tugevusanalüüs	12
3.5 Trepil külje tala tugevusanalüüs	15
3.6 Optimeeritud trepil küljetala tugevusanalüüs	17
3.7 Tugevusanalüüside kokkuvõte	19
3.8 Uue modulaarse lahenduse projekteerimine.....	20
3.8.1 Platvormi põhiraam	20
3.8.2 Platvormi käsipuud.....	21
3.8.3 Platvormi jalad	22
3.8.4 Trepil külje raamid	23
3.8.5 Trepil käsipuud.....	24
3.8.6 Projekteerimisel ilmnunud probleemid	25
3.8.7 Joonised ning dokumentatsioon	26
3.9 Poltliidete tugevusanalüüs	28
3.9.1 Raami käsipuu poltliide.....	28
3.9.2 Trepil käsipuu poltliide	30
3.9.3 Trepil kinnituse poltliide	32
3.9.4 Analüüside kokkuvõte.....	34
3.10 Majandusarvutused	35
3.10.1 Materjalide võrdlused enne ja peale optimeerimist.....	35
3.10.2 Majandusarvutuste kokkuvõte.....	37

4. KOKKUVÕTE	38
4.2 Summary.....	39
5. LISAD	40
5.1 Eskiisid	40
Lisa 1: Platvormi algne eskiis	40
5.2 Joonised	41
5.2.1 Tööjoonised	41
5.2.2 Keevitusjoonised	46
5.2.3 Koostamise dokumentatsioon	50
5.2.4 Projekteeritud detailide loetelu	52
6. VIIDATUD ALLIKAD.....	53

1. SISSEJUHATUS

1.1 Ettevõtte kirjeldus

Lõputöös valitud ettevõtteks osutus Windak OÜ. Windak OÜ toodab ja müüb kaablitööstustele automatiseeritud pakendus masinaid. Kaablikerimis masinaid ja kaubaalustajaid. Kaubaalustajad on seadmed, mis automaatselt paigutavad valmis keritud poolid alustele. Samuti on kliendil võimalus osta alustajad, mis on võimelised ka alust kiletama. Windak alustas aastal 1994 Rootsis ja on järk-järgult kasvanud rahvusvaheliseks ettevõtteks. Hetkel on nad USA üks suurimad automaatsete pakendusmasinate pakkujaid. 2004 asutati peamine tootmishoone Eestisse ja 2022 laiendati tootmishoonet.

1.1.2 Ettevõtte struktuur

Lühidalt ettevõtte struktuuri kokku võtta, siis on mitu erinevat osakonda. Tootmine, Disaini meeskond, müügi ja ostu osakond ning ladu. Samuti on olemas ka klienditugi. Kõik osakonnad teevad tihedalt koostööd, et kõik toimiks nii nagu peab. Osakondade vahelist tööd juhib siis tehasejuht. Tootmist juhib tootmisjuht, kuid osaliselt annab ka ülesandeid laole. Müügi ja ostu osakond puutub kõige rohkem kokku disaini meeskonnaga ja laoga. Disaini meeskond suures osas töötab teistest eraldi, kuid tuleb ette juhuseid, kus on vaja tootmisele ja lao personalile juhiseid anda.

1.1 Ametikoha kirjeldus

Ametikohaks antud ettevõttes on Mehaanikainsener. Töö ülesanneteks on: automaatikaseadmete konstrueerimine ja modelleerimine, tükitabelite ja detailijooniste koostamine, tehnilised konsultatsioonid müügiesakonnale ja klientidele, seadmete spetsifikatsioonide vormistamine, tootmisosakonnale juhiste andmine.

2. PROBLEEMI PÜSTITUS

2.1 Probleem

Lõputöös lahendatavaks probleemiks on automaatika masinatele projekteeritud hooldusplatvormide modulaarseks tegemine ja optimeerimine. Probleem tuleneb klientide vajadusest. Kuna iga klient tahab saada platvormi erinevalt, näiteks tootmises ei ole ruumi platvormi paigutada nii nagu standardlahenduses projekteeritud. Siis tekib vajadus toota erilahendus. Modulaarseks muutes, saab insener panna erinevatest moodulitest kokku sobiliku lahenduse. Kuna pakutavate lahenduste hulgas on ka kahes erinevas suunas töötavad liinid, siis on vaja platvormid projekteerida nii, et neid saab kasutada kahel pool liini. Treppe peab olema võimalik asetada erinevatesse kohtadesse ja suundadesse. Pakutavaid masinaid on ka eri suurustes, seega on vajalik ka teha platvormid erinevate kõrguste jaoks.

2.2 Lahendus

2.2.1 Modulaarseks tegemine

Modulaarseks tehes saab muuta platvormi paigutust masina suhtes, samuti saab platvormi konstrueerida selliselt, et trepi kinnitamine oleks võimalik mõlemal pool platvormi, neljas erinevas suunas. Esialgne plaan oli süsteemi väljatöötamine, et saaks paigaldada treppi kuude erinevasse kohta ja igas paigutuses kolme eri suunda. Samuti tehakse erinevate kõrgustega jalad, erinevate masinate jaoks. (Lisa 1 – Platvormi esialgne eskiis)

2.2.2 Optimeerimine

Lisaks modulaarsele lahendusele, tuleb optimeerida olemasolevat konstruktsiooni, et vähendada platvormi massi. Mis omakorda tooks materjali kulusid alla. Optimeerimise puhul tuli majandusarvutuste põhjal teha otsus, kas materjali kulu kokkuvõttes on väärt keerulisema lahenduse kasutamiseks.

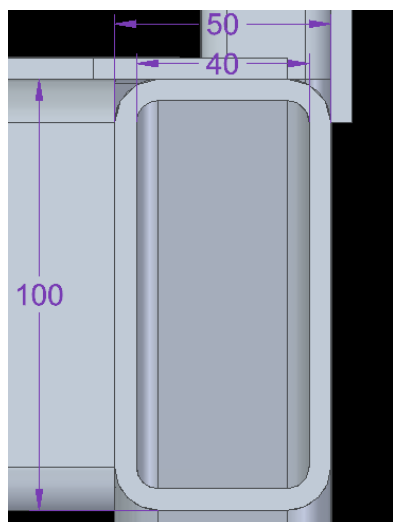
3. TÖÖ KÄIK

3.1 Olemasoleva lahenduse analüüs

Töö esimese etapina tuli analüüsida olemasolevaid platvorme ja nende tootmist. Selle puhul märgati esimesi kohti, kus piirati platvormide kasutamist ühele konkreetsele masinale. See tähendas, et platvorme ei saanud, ilma väga suurte modifikatsioonideta, kasutada muude masinate peal. Omakorda tekitas see laoseisus detaile juurde. Mida vähem detaile ja mida modulaarsem on lahendus, seda lihtsam on masina koostamine, ladustamine ja ka ostmine. Detaile saab tellida suuremates kogustes, mis tähendab väiksemat hinda detaili kohta. Laos suurendab selline lahendus ka efektiivsust ja vähendab segadust, sest erinevaid detaile on vähem. Mingil määral oli olemasolev lahendus ka modulaarne, kuid seda ainult ühe koostu raames. Suurim probleem, mis häireid tekitas, oli see, et käsipuud olid keevitatud raami külge. Esimese asjana taheti muuta see poltliidete peale ümber. Sellest tulenevalt saaks kasutada ühte moodulit rohkem, kui ühe masina puhul. Sama kehtis ka käsipuude puhul. Kuna keeviskonstruktsioon piiras trepi asetuse ühte kindlasse kohta, siis poltliidetega saab seda projekteerimis faasis hõlpsamalt muuta. Mõne masina puhul oli kasutatud erineva laiusega platvorme. Luues platvormidele standardtoodete kataloog, saab samu detaile kasutada erinevate masinate puhul.. Visuaalsel kontrollil tekitati ka huvi selle vastu, et kas konstruktsioonis oli reaalselt vajalik selline materjali kogus. Platvormid tundusid päris suurte varudega tehtud, kuid võidi selles eksida.

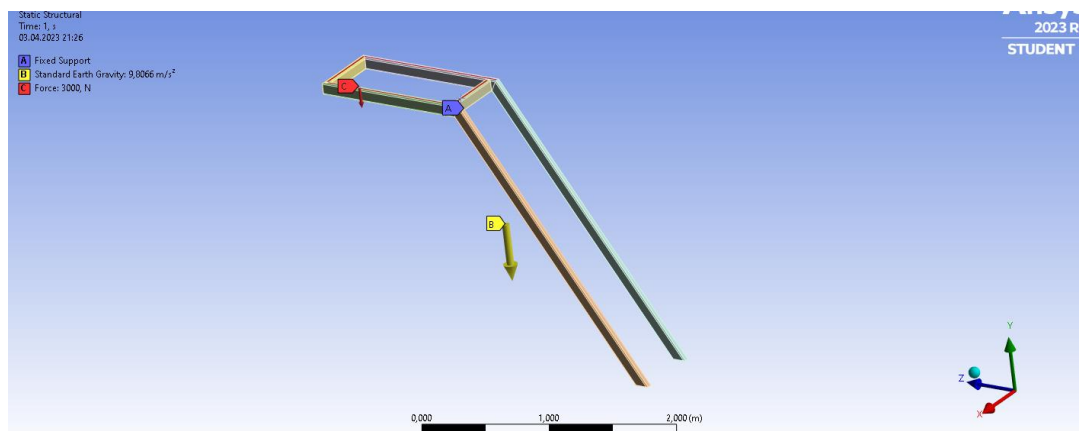
3.2 Olemasoleva lahenduse tugevusanalüüs

Olemasoleva lahenduse FEM analüüsi alusel, saadi enne projekteerimise algust kindlaks teha, mis materjali valida. Platvormi projekteerimisel lähtuti inimese keskmisest kaalust, mis jääb umbes 100 kilogrammi piiresse. Kuid arvestati lisaks juurde lisa kaal, kuni 200 kilogrammi. Üldiseks raskuseks mida platvorm taluma peab, valiti 150 kilogrammi. Lisades sinna varuteguri 2, saadi lõpliku vajalik kaal, mis oli 300 kilogrammi. Kuna 1 kilogramm on võrdne 9,8 njuutoniga, siis ümardati lõpptulemus, saadi raskusjõuks 3000 njuutonit. Tehti ka kindlaks mis materjal oli parasjagu kasutuses. Luues ristlõike põhi raamist, saadi aimu, mis materjali tüüp oli kasutusel.



Kuvatõmmis 1: Kasutusel oleva materjali profiil

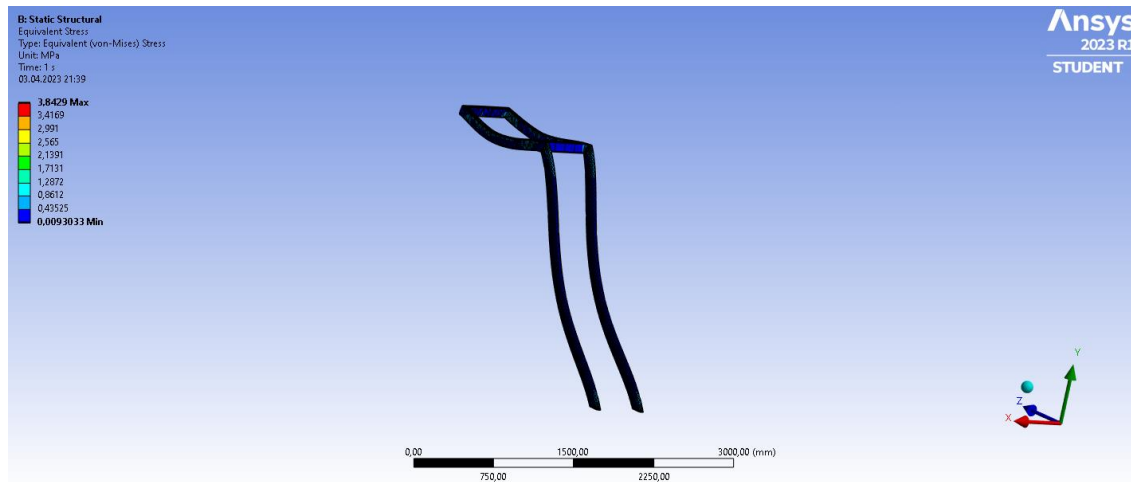
Ristlõikest saadi teada, et kasutusel oli nelikanttoru, 100x50x5 mm. Teati ka seda, et ettevõtte kasutab konstruktsioonide puhul materjali S355. Analüüsis valiti uurimisobjektideks ainult põhiraam, jäeti välja käsipuud ja astmed.



Kuvatõmmis 2: Analüüs 1, seadistus

Loodi analüüs, saadud tulemustest järeldati, et ühtlaselt jagatud jõu puhul oli konstruktsioon tunduvalt tugevam, kui vaja. Mis tähendas, et ebavajaliku materjali oli omajagu.

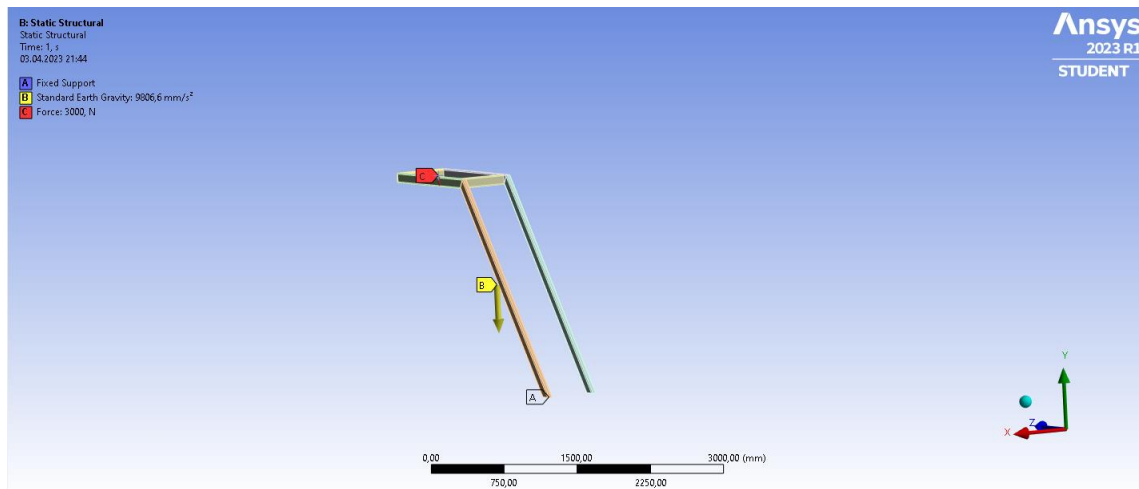
- Jõu suund: Ülevalt alla, platvormi pealmise pinnaga risti
- Jõud: 3000 N
- Mõjutatav piirkond: Platvormi pealmiste talade kõik neli pinda
- Analüüsi tüüp: läbipaine



Kuvatõmmis 3: Analüüs 1, pinge analüüs, läbipaine ühtlaselt jaotatud jõu puhul

Kuna tulemus oli oodatust parem, siis otsustati analüüsid teha ekstreemsemates olukordades. Muutes analüüsi püstitust selliselt, et suunates jõud ühele talale, saadi teada, mis juhtub juhul, kui inimene peaks suunama kogu oma keharaskuse ühele talale.

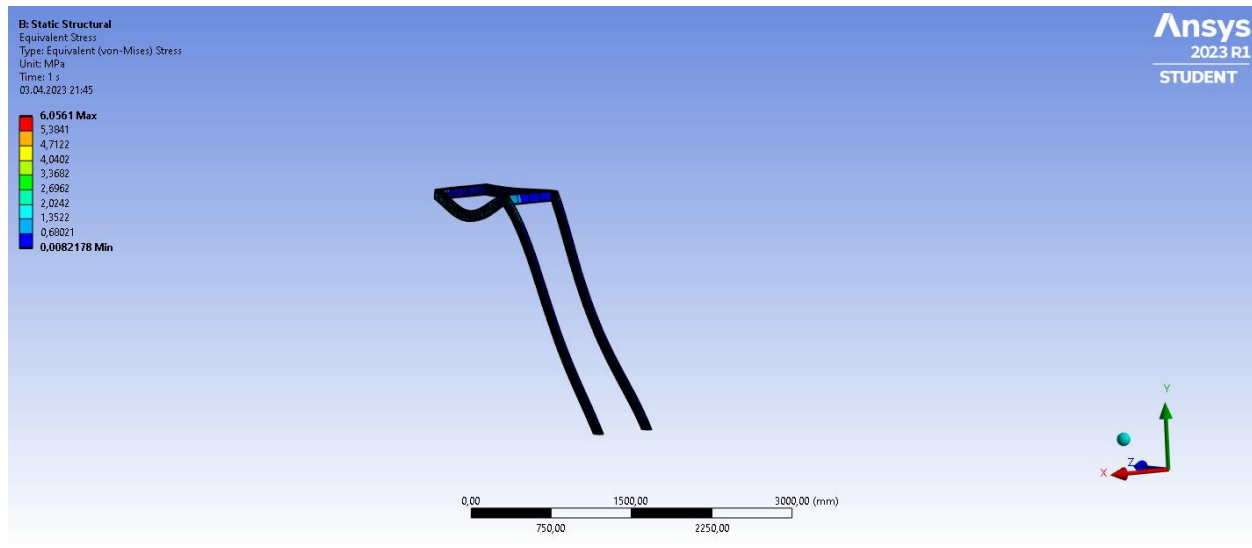
- Tegelik pinge: 3.84 Mpa
- Ohtlik piirpinge: 355 Mpa
- Lubatud ohutustegur: 2
- Tegelik ohutustegur: 92.5



Kuvatõmmis 4: Analüüs 2, seadistus

Analüüs seadistati üles selliselt, et jõud mõjuks ühele talale neljast. Valiti kõige pikem tala, kuna antud konstruktsioonis oli see nõrgim lüli. Ei arvestatud trepi küljeraamidega, ning neile ei määratud ühtegi analüüsi uurimis tingimust.

- Jõu suund: Ülevaalt alla, platvormi pealmise pinnaga risti
- Jõud: 3000 N
- Mõjutatav piirkond: Platvormi pealmiste pindade pikima tala pind
- Analüüsi tüüp: läbipaine



Kuvatõmmis 5: Analüüs 2, ping analüüs, läbipaine platvormi talas kontsentreeritud jõu puhul

Analüüsist oli selgelt näha, et hetkel kasutatava lahenduse puhul, on konstruktsioon tugevam, kui vajalik. Staatilise jõu mõjumisel, suuruses 3000 N, ei ületata materjali voolavuspiiri ligilähedaltki. See sobis optimeerimiseks vajalikele kriteeriumitele.

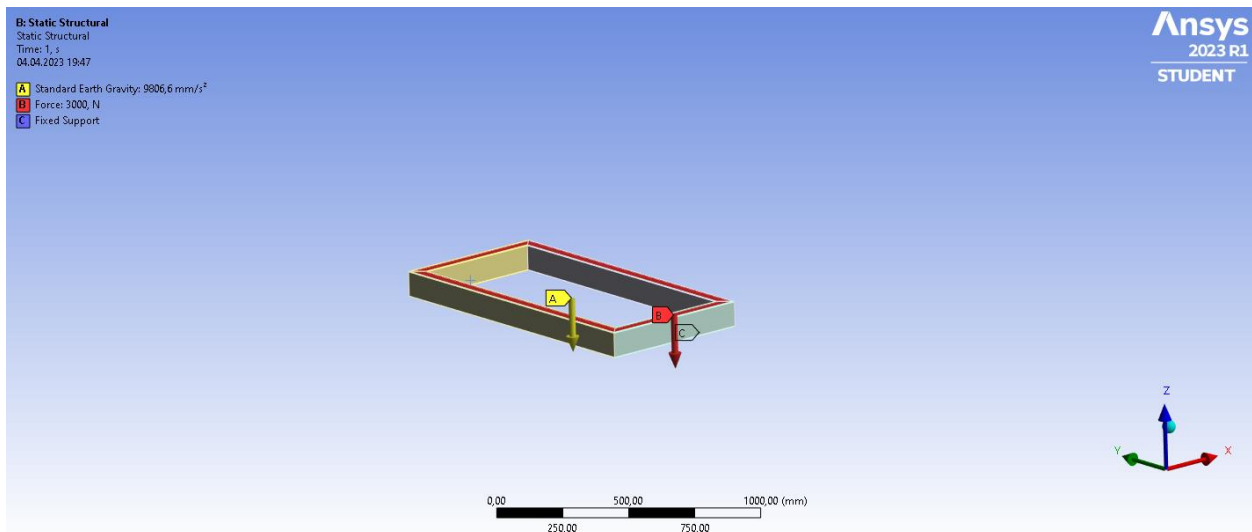
- Tegelik ping: 6.06 Mpa
- Ohtlik piirpinge: 355 Mpa
- Lubatud ohutustegur: 2
- Tegelik ohutustegur: 58.6

3.3 Analüüside kokkuvõte

Analüüsi kokku võttes saadi julgelt väita, et antud olukorras oli konstruktsioon tehtud vajalikust palju tugevamaks. Seega saadi jätkata analüüsides, et selgitada välja vajaliku suurusega profiil. Mis hoiaks kokku kulusid materjali osas, samas jäädes piisavalt tugevaks, et konstruktsioon oleks ohutu. Arvestati ka psühholoogilisi tegureid, et platvormi kasutav isik usaldaks seda ja suudaks selle peal häireteta tööd teha. Analüüsides ohutustegurid valiti tabelist, mis annab üldised ohutustegurid vastavalt konstruktsiooni keskkonnale. [6]

3.4 Optimeeritud lahenduse tugevusanalüüsid

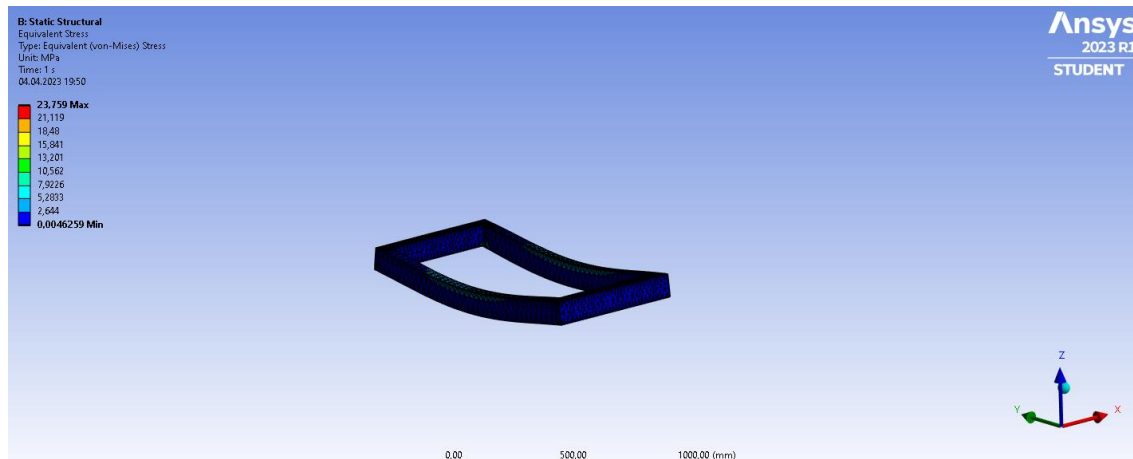
Matejaliks optimeeritud lahenduse puhul valiti nelikanttoru, mõõtudega 100x50x4 mm. Antud materjal oli kaalult 41% kergem, kui siiani kasutatud 100x100x5 mm profiil. Arvestades materjali kulu ühe konstruktsiooni puhul, siis kasu tundub märkamatu, kuid pikas perspektiivis säästab see meeletult. Kuna trepi astmed olid ostutooted, siis ei saadud valida väiksemate mõõtudega profiili. See tähendas, et raami ei saadud teha liiga väikeseks, kuna siis oleks muutnud astmete kinnitamine praktiliselt võimatuks. Trepri koostamiseks, uuriti erinevaid materjali tüüpe, kuid otsustati mugavuse ja töötlemise lihtsuse tõttu U-profiili kasuks. U-profiili laiuseks valiti 50 mm. See jättis piisavalt ruumi, et otstes projekteerida plaadid, mille kaudu trepp ja platvorm omavahel ühendada.



Kuvatõmmis 6: Analüüs 3, optimeeritud analüüsi seadistus

Seadistus oli suures osas sama, mis esimestes analüüsides, erinevus väljendus ainult valitud profiili mõõtmetes. Uuriti profiili läbipainet, et olla kindel platvormi tugevuses.

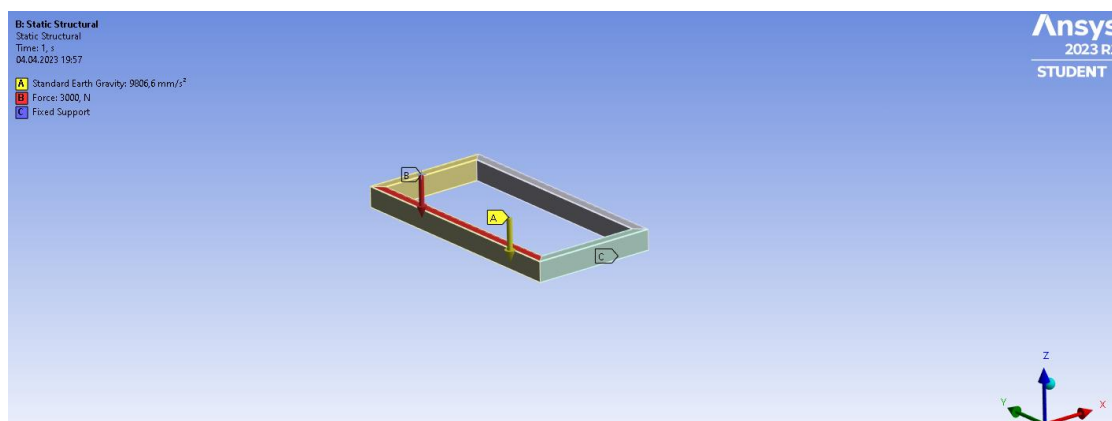
- Jõu suund: Ülevalt alla, platvormi pealmise pinnaga risti
- Jõud: 3000 N
- Mõjutatav piirkond: Platvormi pealmiste talade kõik neli pinda
- Analüüsi tüüp: Läbipaine



Kuvatõmmis 7: Analüüs 3, pinge analüüs, läbipaine optimeeritud platvormis

Analüüsi tulemustes nähti, et tulemus on rahuldav, kuna kaugeltki ei ületatud materjali voolavuspiiri. Kuigi pinge konstruktsioonis oli tunduvalt suurem, kui olemasoleva lahenduse puhul. Antud konstruktsiooni saaks veel rohkemgi optimeerida, kuid seekord seda ei tehtud, kuna see oleks muutnud konstruktsiooni liiga kitsaks. Liiga kitsate raamide puhul, oleks osutunud kinnituskohdade projekteerimine keeruliseks. Arvestati ka sellega, et platvormi kasutavad inimesed julgeksid seda kasutada. Liiga väikest raami ei pruugi töölised usaldada.

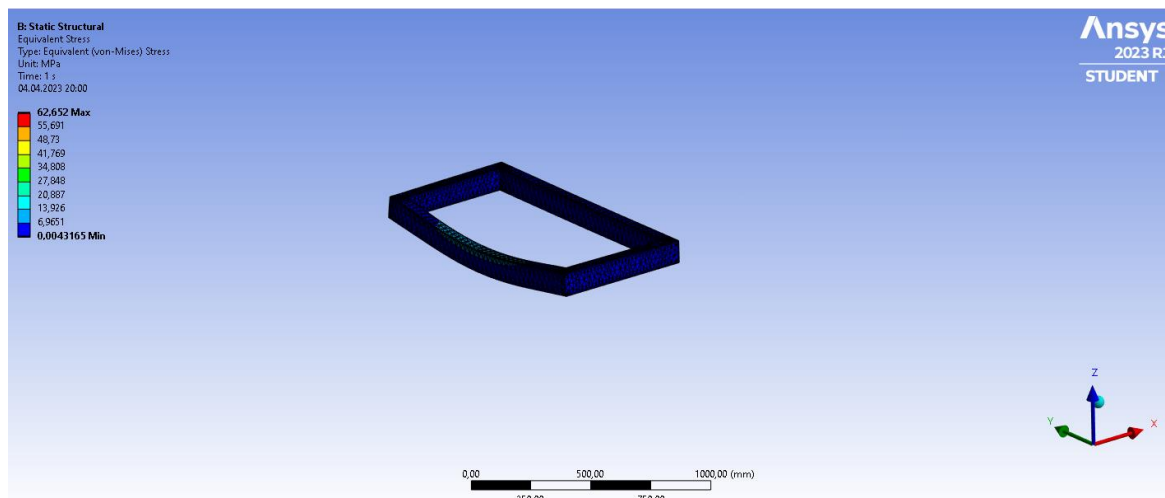
- Tegelik pinge: 23.76 Mpa
- Ohtlik piirpinge: 355 Mpa
- Lubatud ohutustegur: 2
- Tegelik ohutustegur: 14.94
- Ohutusteguri vähenemine optimeerimise tulemusel: 77.56 / 84%



Kuvatõmmis 8: Analüüs 4, seadistus

Neljanda analüüsi puhul uuriti optimeeritud tala läbipainet. Konsentreeriti jõud ühele osale talast. Seda tehti, et veenduda, kas raskuse suunamisel ühte kohta, suudaks tala vastu pidada ka peale optimeerimist.

- Jõu suund: Ülevalt alla, platvormi pealmise pinnaga risti
- Jõud: 3000 N
- Mõjutatav piirkond: Optimeeritud platvormi pikima tala pealmine pind
- Analüüsi tüüp: läbipaine



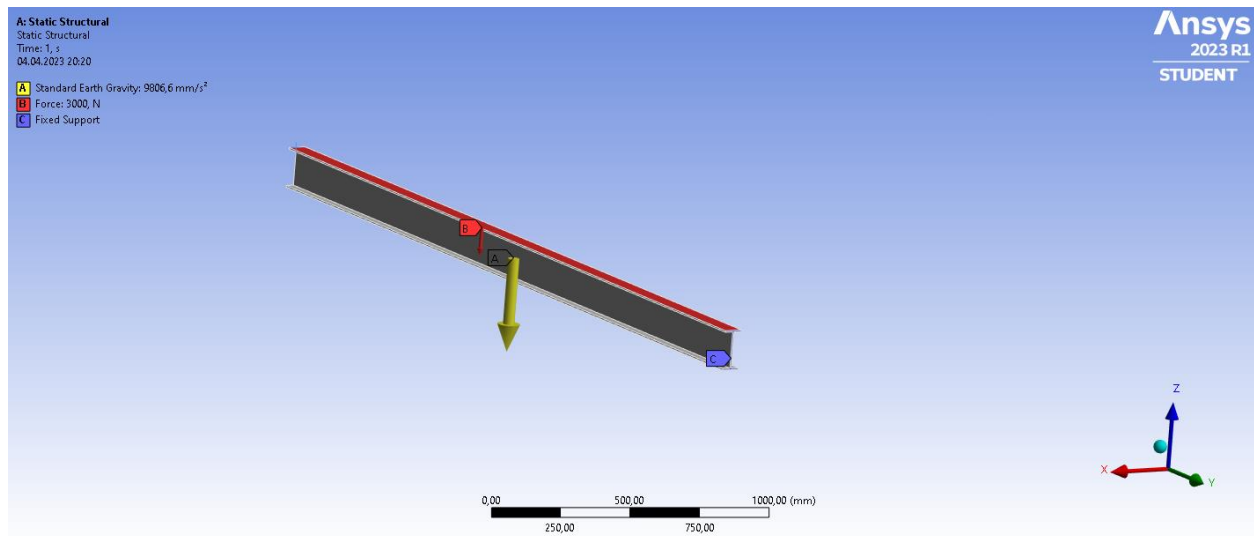
Kuvatõmmis 9: Analüüs 4, ping analüüs, läbipaine optimeeritud platvormis konsentreeritud jõu puhul

Konsentreeritud jõu analüüsi puhul saadi jällegi rahuldav tulemus. Pinge suurenes jällegi tunduvalt võrreldes algsega. See ei tekitanud muret, kuna materjali voolavuspiiri ületamiseni oli veel suur varu.

- Tegelik pinge: 62.65 Mpa
- Ohtlik piirpinge: 355 Mpa
- Lubatud ohutustegur: 2
- Tegelik ohutustegur: 5.67
- Ohutusteguri vähenemine optimeerimise tulemusel: 52.93 / 90%

3.5 Trepi külje tala tugevusanalüüs

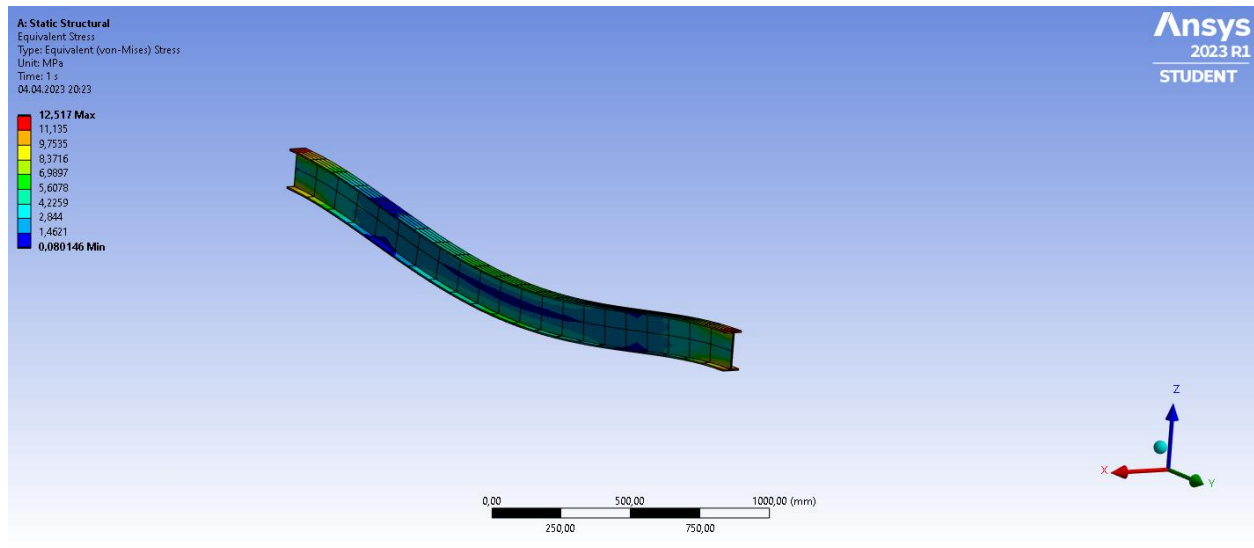
Samuti tehti analüüsid ka trepi raamile. Kuna otsustati kergema ja väiksema materjali kasuks, siis tuli kindel olla, et see ka vastu peaks. I-tala eelnevad mõõdud olid 140x66x5,7 mm. Tulemuste põhjal saadi otsustada, kui palju väiksem materjal valida. Samas pidi meeles pidama ka koostamist, et I-tala ei läheks liiga kitsaks. Samuti tuli jälgida seda, et trepi astmed oleksid olnud ohutu suurusega. Arvestati ka astmete kinnitamist, et valitud profiili tõttu valitud poldid ei oleks tulnud liiga pikad. Kuna I-tala oli oma hinnalt kallim, kui teised profiilid, siis kaaluti ka võimalus kasutada mõnda muud profiili.



Kuvatõmmis 10: Analüüs 5, seadistus

Analüüsi seati natuke ekstreemsemates olukordades, kui päriselt konstruktsioon kohtab. Otsad fikseeriti ja jõud suunati tala keskpunkti. Reaalses olukorras mõjub jõud kerge nurga all, ning kaks tala teevad omavahel koostööd.

- Jõu suund: Ülevalt alla, talaga risti
- Jõud: 3000 N
- Mõjutatav piirkond: tala pealmine pind
- Analüüsi tüüp: läbipaine



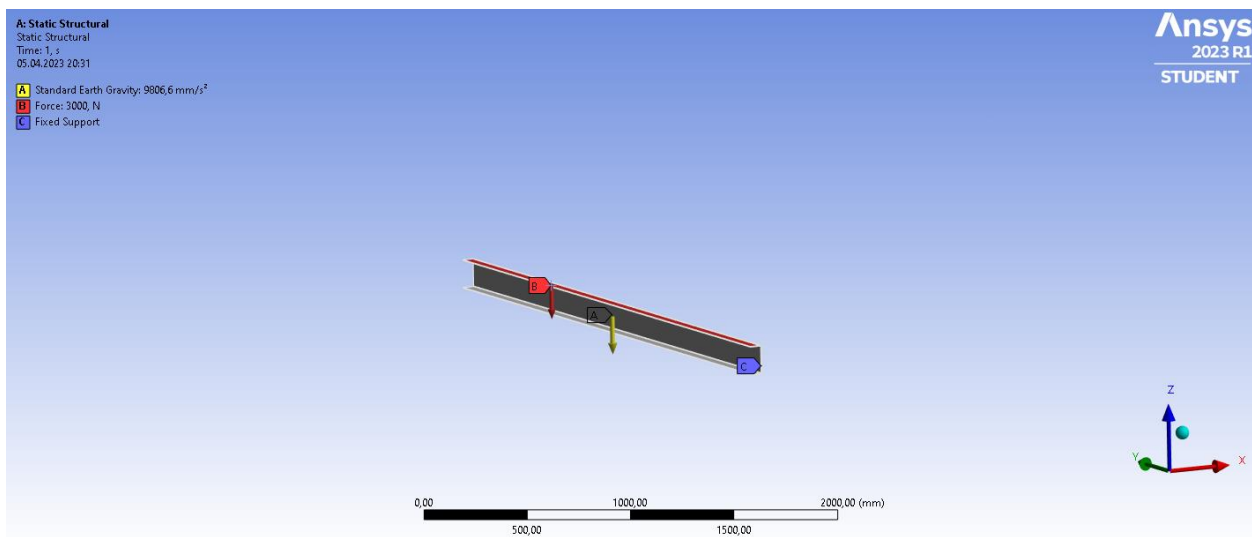
Kuvatõmmis 11: Analüüs 4, pinge analüüs, I-tala läbipaine

Analüüsi tulemuseks saadi, et talale mõjuv jõud ei ole piisav, et selle tõttu ületataks materjali voolavuspiir. Seda oli ka oodata, kuna tala oli olemuselt antud jõu suunas kõige tugevam. I-tala oli ka konstruktsiooni puhul kõige kallim profiil. Arvestades materjali kogust, mis I-talas leidub, hakati kaaluma võimalust kasutada hoopis U-profiili.

- Tegelik pinge: 12.51 Mpa
- Ohtlik piirpinge: 355 Mpa
- Lubatud ohutustegur: 2
- Tegelik ohutustegur: 28.38

3.6 Optimeeritud trepi küljetala tugevusanalüüs

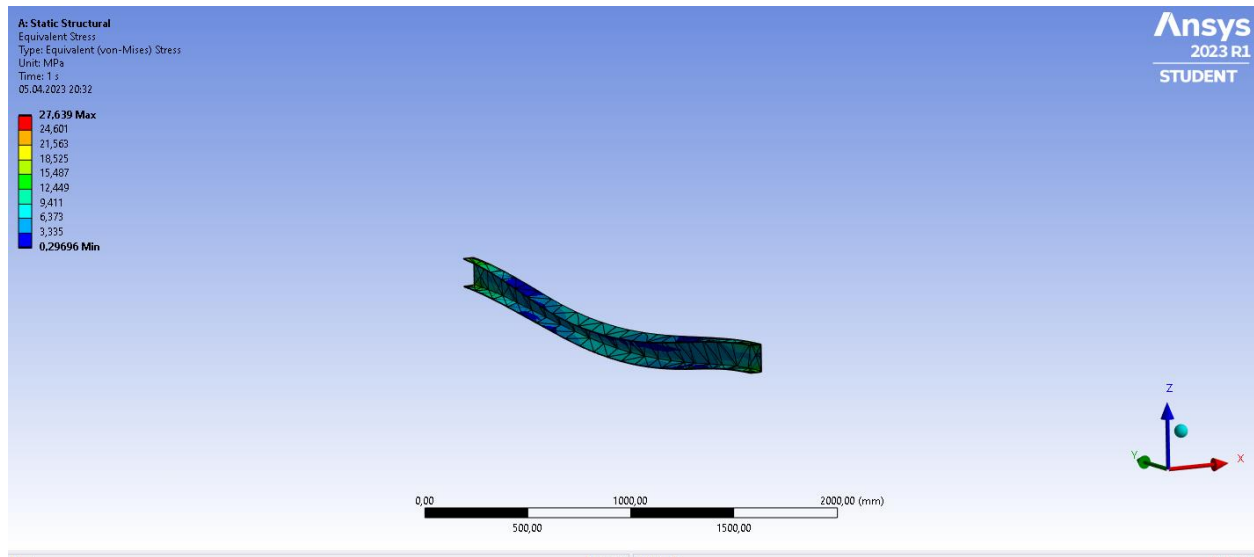
Trepi küljetala materjaliks valiti U-tala profiili mõõtudega 140x60x4 mm. Küljetala puhul ei olnud võimalik väga väikseks minna, kuna sel juhul oleks otstesse kinnitusplaatide projekteerimine keeruline. Samuti oleksid keevisõmblused tulnud väiksemad, mis tähendaks kokkuvõttes nõrgemat ühendust. Sellest suurem probleem, oleks olnud trepi astmete kinnitamine. Tala külgmisse pinda poleks jäänud piisavalt ruumi, et mahutada mõistliku suurusega astmeid. Liiga väikse astme peal oleks töölisel rohkem eksimisvõimalust, mis tooks kaasa ebavajalikke probleeme nii töölisele, kui ka masina projekteerinud insenerile.



Kuvatõmmis 12: Analüüs 5, optimeeritud tala seadistus

Analüüsi püstitus oli peaaegu identne neljandale analüüsile. Analüüsi teostati samuti natuke ekstreemsemates tingimustes, kui tala realselt kohtab. Kui tala peab vastu antud püstituses, siis teeb ta seda ka realses olukorras.

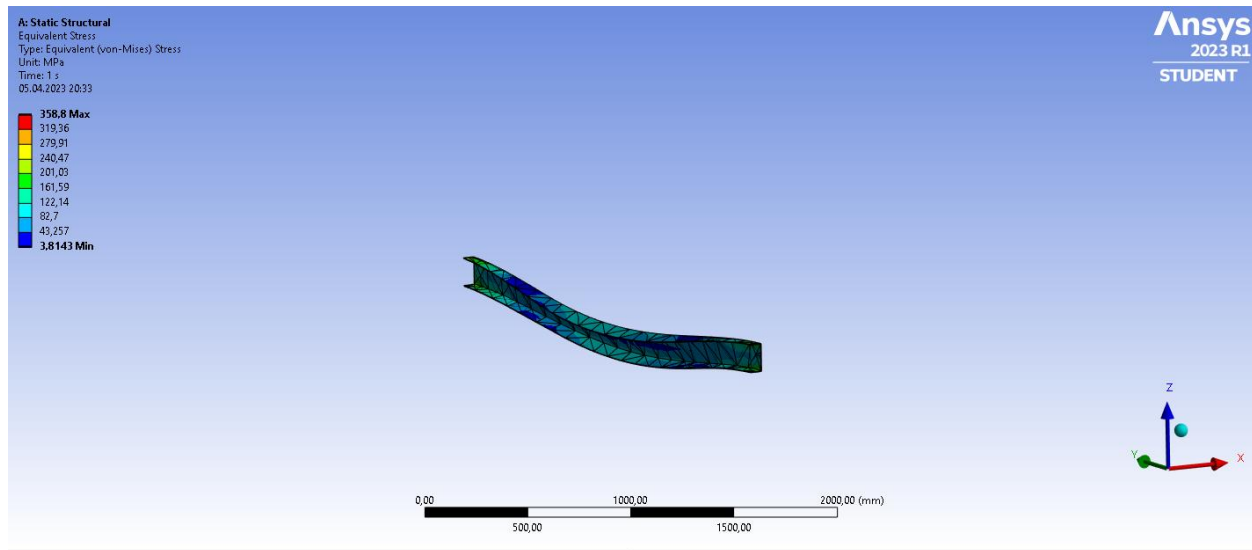
- Jõu suund: Ülevalt alla, talaga risti
- Jõud: 3000 N
- Mõjutatav piirkond: tala pealmine pind
- Analüüsi tüüp: läbipaine



Kuvatõmmis 13: Analüüs 5, ping analüüs, läbipaine optimeeritud U tala keskpunktis

Analüüsi tulemusena saadi teada, et optimeeritud talale mõjuv pinge oli pea poole suurem, kui algsele talale. Kuid see ei ole veel piisav, et materjali voolavuspiiri ületada. Seetõttu oli analüüsi tulemus ka rahuldav. Huvipärast suurendati talale mõjuva jõu suurust, et teha kindlaks punkt, kus talal tekib püsiv deformatsioon.

- Tegelik pinge: 27.64 Mpa
- Ohtlik piirpinge: 355 Mpa
- Lubatud ohutustegur: 2
- Tegelik ohutustegur: 12.84
- Ohutusteguri vähenemine optimeerimise tulemusel: 15.54 / 54.76%



Kuvatõmmis 14: Analüüs 5, ping analüüs, läbipaine optimeeritud U tala keskpunktis, püsiva deformatsiooni tekkimiseni

- Tegelik ping: 358.8 Mpa
- Jõud: 41500 N

Et talal tekiks antud tingimustes püsiv deformatsioon, peaks mõjuv jõud olema vähemalt 41500 njuutonit. Raskusena teeks see pea 4,2 t raskust. Tala oleks võimeline ülal hoidma vähemalt kaks, kui mitte kolm, sõiduauto. Kuna talasid on kaks, siis on antud talale valitud materjal rohkem, kui piisav, et oma funktsiooni täita.

3.7 Tugevusanalüüside kokkuvõte

Võttes kokku tugevusanalüüsid, siis oleks võimalik veel rohkemgi konstruktsiooni optimeerida, kuid jäädi rahule ka saadud tulemustega. Materjali kulu kokkuhoid jäi prognoosi kohaselt eelnevaga võrreldes 40-50% vahele. Optimeerides konstruktsiooni veelgi, tekib probleeme projekteerimisel. Kuna poltliidete jaoks oli kavas kasutada keevitatud plaate, siis ei jäänud piisavalt suurt pinda, kuhu plaadid keevitada. Nii raami, kui ka trepi puhul. Nagu ka eelnevalt mitmeid kordi mainiti, et astmed peavad jääma ka piisavalt mugava suurusega. Trepi kasutamine pidi olema mugav ja ohutu. Seega ei saadud konstruktsiooni liiga kergeks ja väikeseks teha.

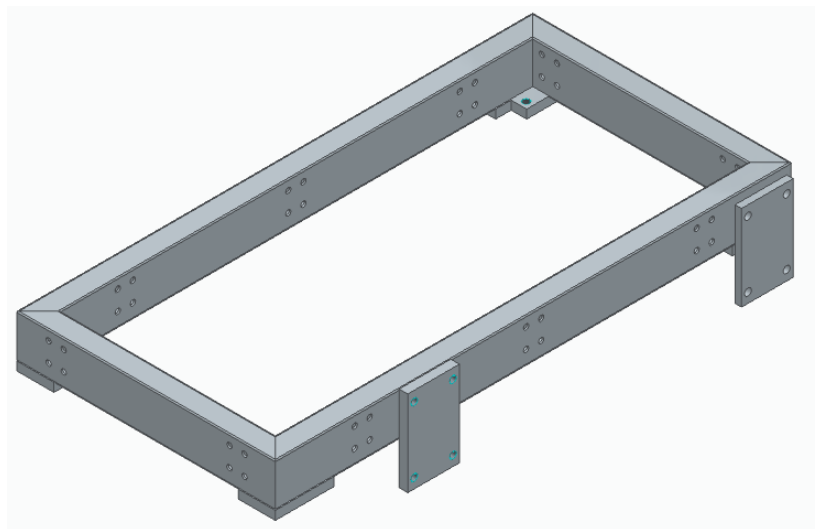
3.8 Uue modulaarse lahenduse projekteerimine

3.8.1 Platvormi põhiraam

Põhiraami projekteerimisel kasutati juba tugevusanalüüsides valitud materjali profiili ning tüüpi. Kohe alguses otsustati paika panna erinevat mõõtu talad, mida kasutada. Lähtuti olemasolevatest lahendustest. Saadi vajalikud mõõdud, raami talade mõõtudeks valiti: 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600 mm. Nendest taladest saab kombineerida erinevate pikkuste ja laiuste jaoks vajaliku raami. Lisaks projekteeriti erinevate laiuste jaoks ristitalad, kuhu saab kinnitada masina akumulaatori puhul kasutatava kapstani. Ning viimasteks projekteeritud detailideks olid kinnitusplaadid, nii trepi, kui ka jalgade kinnitamiseks. Materjaliks otsustati kasutada nelikanttoru mõõtudega 100x50x4 mm. Kasutati S355-te, sest see oli ainus materjal, millest konstruktsioone siiani teht. Materjali valiku puhul lähtuti sellest, mida hetkel ettevõtte sisse ostab ja kasutab. Muude kinnitusplaatide paksuseks määrati: 20, 10 mm. Need olid ka juba varasemalt kasutusel. Keermestatavad plaadid tulid 20 mm, sest poldi kerme kontakt pind võiks olla poldi läbimõõt. Mis tüüpi materjalist seda tehakse, ei olnud tähtis. See ülesanne jäi alltöövõtjale. Suures osas tuli raam keeviskonstruktsioon. Sellele omakorda lisandusid erinevad muud moodulid, peamiselt poltliidete abil. Raamist loodi mõned standardlahendused, kataloogi jaoks. Projekteerimise tulemuseks olid soodsad tingimused, et standardtoodete kataloogi suurendada.

Põhiraami projekteeriti erinevates mõõtudes:

- 400x400 mm
- 600x400 mm
- 600x600 mm
- 800x600 mm
- 800x800 mm
- 1000x800 mm
- 1000x1000 mm
- 1200x1000 mm
- 1200x1200 mm
- 1600x1200 mm
- 1600x1600 mm
- Kinnitusplaadid jalgadele
- Kinnitusplaadid trepile



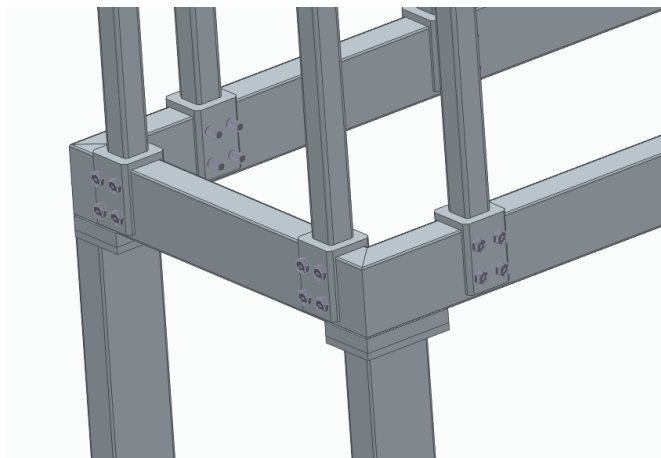
Mudel 1: Platvormi raam

3.8.2 Platvormi käsipuud

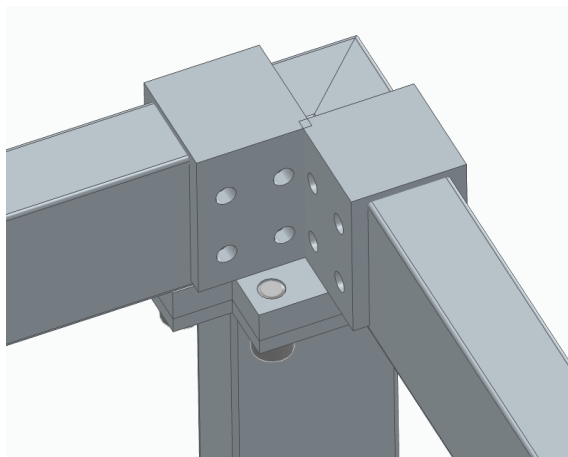
Käsipuude projekteerimisel lähtuti projekteeritud raamidest. Arvestati sellega, et kinnitamine oleks mugav ja lihtne. Modulaarsus oli lahenduse tegemisel esmatähtis. Käsipuu valmistatakse 40x40x3 mm nelikanttorust. Kinnitus keevitatakse toru alla. Plaat paigutatakse peale keevitust platvormi raamile. Kinnitatakse poltliitega raami külgedelt. Sellise lahendusega võimaldatakse detailide ladustamiseks soodsad eeldused. Käsipuude kõrguse valimise puhul lähtuti USA tööministeeriumi standardist OSHA 1910.25. [1]

Valitakse kõrguseks 80cm, mis on standardis määratud normide piires, kuid seda madalamas osas. Valitakse madalamas osas, sest tehes see 10cm kõrgemaks kulub rohkem materjali ja tõuseb konstruktsiooni hind. Lõputöö raames luuakse standardlahendused vastavalt raami pikkustele, kuid luuakse soodsad tingimused standardkomponentide kataloogi suurendamiseks ja tootevaliku laiendamiseks. Erinevate mõõtudega tegemiseks, peab projekteerija muutma ainult kahe detaili pikkust. Projekteerimise käigus avastati käsipuu kinnituste vahel probleem, kus nurkadesse paigutatud kinnitused kattusid. Probleem lahendati kiiresti ära faasi lisamisega. Samuti märgati kohe ka, et polte ei saa seesmises nurgas mõlema kinnituse puhul kasutada. Probleem lahendati sellega, et projekteeriti plaatide kinnituspositsioonid üksteisest eemale. Käsipuude mooduleid tuli erinevates pikkustes, erinevatele raami mõõtudele:

- 180 mm
- 380 mm
- 580 mm
- 780 mm
- 980 mm
- 1180 mm
- 1580 mm
- Kinnitusplaat



Mudel 3: Raami käsipuud ja kinnitused

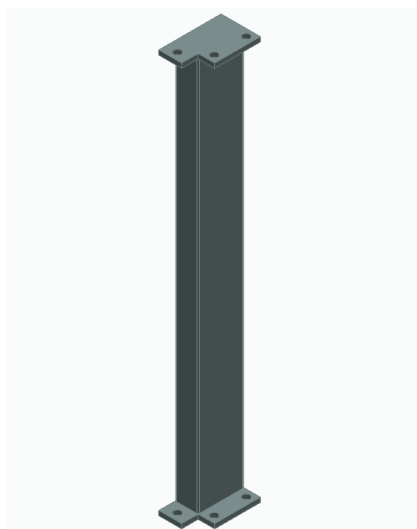


Mudel 2: Kattuvad nurgad käsipuu kinnitusel

3.8.3 Platvormi jalad

Platvormi jalgade tegemisel alustati üleüldisest kontrollist olemasolevatele lahendustele. Platvormide kõrgused ei olnud kivisse raiutud. Kõrgused varieerusid 1000 mm kuni 3000 mm. Platvorme leidis erinevates kõrgustes enamasti 1800 mm ja 2200 mm vahel. Kuid antud platvorme sai standardiseerida vastavalt 1900 mm ja 2200 mm kõrguseks. Jalgade kõrguse määramisel arvestati kinnitusplaatide paksust ja jalgade ankrute paksust. Modulaarse lahenduse puhul võetakse valmis standardtoode ning paigutatakse masina kõrvale, vajalikku kohta. Vajadusel tuleb kinnitamise jaoks projekteerida adapterid, kui platvormi plaanitakse paigutada osaliselt masina peale või külge. Jalgade materjaliks valitakse nelikanttoru 100x50x4 mm. Samuti valitakse S355. Kinnitusplaat keevitatakse jala külge, paksuseks valitakse 10 mm. Raami küljes olev plaat oli identne jala küljes oleva plaadiga. Need kinnitatakse omavahel poltliitega. Kokku projekteeriti jalgu erinevate kõrguste jaoks 6:

- 1000 mm
- 1200 mm
- 1900 mm
- 2200 mm
- 2500 mm
- 3000 mm
- Kinnitusplaat
- Ankur



Mudel 4: Platvormi jala moodul

3.8.4 Trepi külje raamid

Trepi külje raamide projekteerimisel alustati projekteerimist lihtsalt. Esialgu tehti lihtsalt U-profiilist talad, mille otsad olid lõigatud keevituse jaoks, 45 kraadi alla. 45 kraadi alla lõigatud otste puhul tuleb trepi tõusnurgaks 45 kraadi. Varem kasutatavatel treppidel oli see 35 kraadi. Üpris suur muutus, kuid praktiline kokkupuude treppide ja nende tootmisega on näidanud, et 45 kraadine trepi tõusunurk ei ole problemaatiline. Samuti langes see kokku USA standardiga, millest enamasti ka projekteerimisel lähtuti. Täpsemalt USA tööministeeriumi standardist OSHA 1910.25. [1]

Antud nurka kasutatakse ka materjali kulu kokkuhoidmiseks. Talade üldpikkus tuleb väiksem, mis tähendas ka väiksemat kulu. Küljetala materjaliks valiti 140x60x4 mm U-profiil. S355 valiti ka juba varem kasutatud materjali tõttu. Kokku projekteeriti 6 erineva kõrgusega moodulit:

- 1000 mm
- 1200 mm
- 1900 mm
- 2200 mm
- 2500 mm
- 3000 mm
- Ankur
- Kinnitusplaat



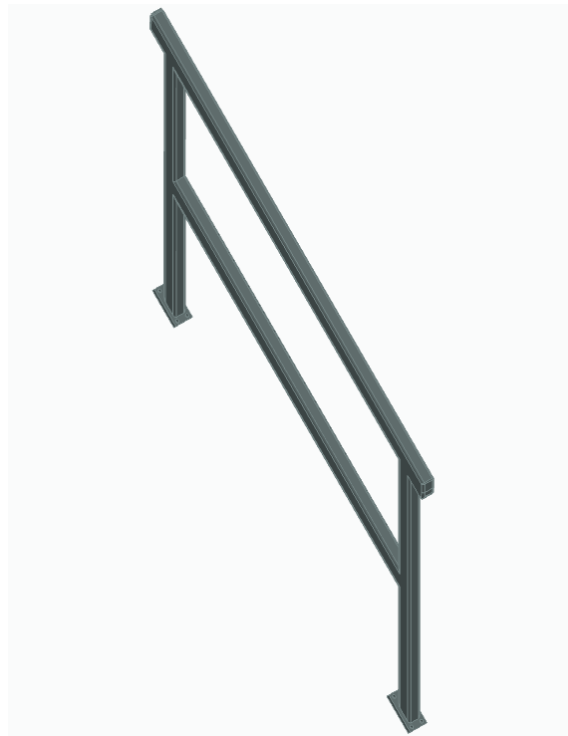
Mudel 5: Trepi küljeraami moodul

3.8.5 Trepi käsipuud

Trepi käsipuude tegemisel lähtuti varem projekteeritud käsipuudest ja trepi külje taladest. Käsipuu kõrgus projekteeriti ühtlaseks raami käsipuudega. Lähtuti samamoodi USA standarditest, mille on ette määranud USA tööministeerium, OSHA 1910.25. [1]

Käsipuu jalgade põhja keevitatavad plaadid projekteeriti 10 mm paksusest lehtmestallist. Käsipuud ise tehti 40x40x3 mm nelikanttorust. Peale käsipuude projekteerimist, tehti trepi külje raamidele, vastavalt käsipuudele muudatusi. Muudatuste käigus tehti kinnituste jaoks avad, et kinnitada käsipuud poltliidete abil. Kinnituse suuruseks valiti M10, kuna kitsa ruumi tõttu ei olnud võimalik suuremaid polte kasutada. Kokku projekteeriti trepi käsipuude jaoks 6 erinevat moodulit, mis koosnesid nurga alla lõigatud torudest. Neid projekteeriti kokku enam kui 15:

- 1000 mm
- 1200 mm
- 1900 mm
- 2200 mm
- 2500 mm
- 3000 mm
- Kinnitusplaat



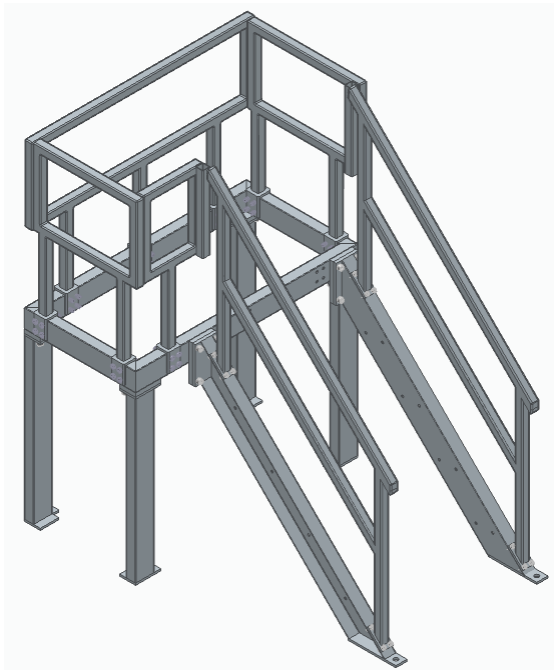
Mudel 6: Trepi käsipuu moodul

3.8.6 Projekteerimisel ilmnunud probleemid

Üks suurimaid probleeme, mis projekteerimisel ilmnas, oli see, et raami modulaarseks tegemine ei olnud 100% võimalik. Loodi küll mitmed standardlahendused, mida saab kasutada. Kuid aeg-ajalt nõuavad kliendid selliseid lahendusi, et loodud platvorme ei saa kasutada. Üks hea näide oleks, see, et masina akumulaatori abistamiseks, müüakse lisa seadmena kapstani. Kuid selle seadme kinnitamine toimub platvormi külge. See nõuab väga täpset platvormi paigutust masina suhtes, mis tähendab, loodud platvormid oleksid eelkõige baasideks, mille peale projekteerija saab üles ehitama hakata vajalikku toodet. Miski pole võimatu, antud platvormi saaks teha 100% modulaarseks, kuid see nõuaks masinate ja platvormide modifitseerimist. See oleks olnud liiga suur töö, et seda ette võtta.

Eelnevalt mainiti, et käsipuu kinnituste vahel tekkisid mõned probleemsed olukorrad. Kuid need said kiiresti lahendatud. Mingil määral oli see projekteerimise lõppfaasis üsna tüütu probleem, kuna ümber tuli projekteerida kõik kinnituskohad, mitmetel erinevatel moodulitel.

Trepi küljeraamide projekteerimisel otsustati üks hetk vahetada I-tala, U-profiili vastu. Seda tehti kuna, projekteerides tekkisid probleemid astmete kinnitamisega. Nähti, et astmete jaoks ei jäänud piisavalt ruumi. Samuti pandi tähele, et käsipuude kinnitamiseks tuli teha üsna keeruline detail. Mindi lihtsamat teed pidi, ning vahetati materjali profiili.



Mudel 7: Projekteeritud moodulite näidis (puuduvad ostutooted)



Mudel 8: Projekteeritud valmis platvorm

3.8.7 Joonised ning dokumentatsioon

Jooniste ja dokumentatsiooni kostamisel lähtuti ettevõttes kasutatavatest vormistus vahenditest. Lisaks detaili joonistele, kaasnevad antud lahenduse puhul keevitus joonised. Samuti tuli teha ettevõtte siseseks kasutuseks koostamis dokument. Koostamis dokumendis on määratud koostamise järjekord vastavalt BOM nimekirjale. Joonis ise ei ole traditsiooniline koostamis joonis, kuna sellist infot ei ole lukkseppadel koostamisel vaja.

Keevitusjooniste koostamisel lähtuti keevitus tehnoloogia alustest. See tähendas, et keevistele valiti maksimaalse suurusega õmblused, vastavalt materjalide paksustele. Enamasti jäi materjali paksus 3 mm kanti, kuid oli ka kokkupuuteid kohtadega, kuhu sai määrata 4 mm suuruse keevisõmbluse. Peamiselt määrati ainult põkk- ja nurkliiteid. Jooniseid koostati ainult ühele konstruktsioonile, mida kasutati lõputöös näidisenäidise lõpptulemusest. Otsustati nii teha, kuna suures osas olid kõik detailid analoogsed. Ei nähtud erilist mõtet luua ühte joonist mitukümmend korda, erinevatele pikkustele. Kokku projekteeriti 77 detaili. Neist joonised koostati 21-le töö joonisele. Koostati ka 9 keevitus joonist ning 1 koostamise dokumentatsioon. Detailidest sai koostada 36 erimõõdus platvormi. 9 erinevat käsipuud raamile. 6 erinevat jalga platvormile. 6 erinevat trepimoodulit, mis koosnesid käsipuudest ja külje raamidest. Projekteeritud detailidest sai luua 216 konfiguratsiooni erinevaid kooste. Paigutades ümber trepi asukoht raamil, lisandus veel 432 konfiguratsiooni. Kokku sai luua 648 erinevat platvormi, erinevate kõrguste ning trepi paigutustega.

Ettevõttes kasutatavad koostejoonised on eelkõige mõeldud lukkseppadel koostamise abivahendiks. Seega otsustati ka platvormi puhul luua koostejoonis. Koostejoonis koosnes koostu isomeetrilisest vaatest, kus oli märgitud detailide asukohad, ning detaili numbrid koos kirjeldustega. Need dokumendid on mõeldud ettevõtte siseseks kasutamiseks, ning ei ole nõutud traditsioonilisi joonestamise nõudeid.

3.8.7.1 Ettevõttes kasutatavad ISO standardid, joonistel ning dokumentatsioonil

Ettevõtte joonistel on määratud neli ISO standardit, märkimata tolerantside tähistamiseks. Standardid on järgmised:

- ISO 9013 – 442

Antud standardi sisu määrab ära laser ja plasmalõikuse kvaliteedi nõuded. Ettevõtte kasutab neid selleks, et iseennast kaitsta, kui joonisel pole märgitud vajalikke nõudeid. [2]

- ISO 2768-mK

Antud standardi sisu määrab ära tolerantsid üldistele mõõtudele ning nurkade märkimise. Ettevõtte kasutab neid selleks, et iseennast kaitsta, kui joonisel pole märgitud vajalikke nõudeid. [3]

- ISO 13920-BF

Antud standardi sisu määrab ära nõuded ja tolerantsid keevitustele. Ettevõtte kasutab neid selleks, et iseennast kaitsta, kui joonisel pole märgitud vajalikke nõudeid. [4]

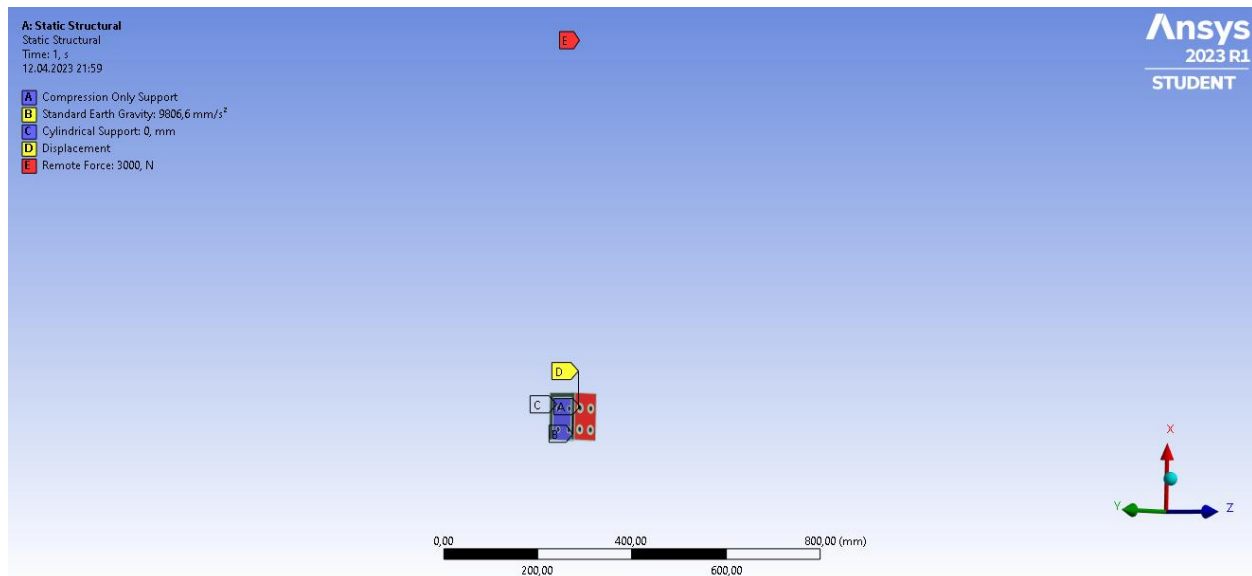
- ISO 5817-C

Antud standardi sisu määrab ära nõuded ning tolerantsid keevisõmbluste kvaliteedile teraskonstruktsioonides. Lisaks hõlmab see ka endast nikli keevitustele, titaaniumi ning selle sulamite keevistele. Ettevõtte kasutab neid selleks, et iseennast kaitsta, kui joonisel pole märgitud vajalikke nõudeid [5]

3.9 Poltliidete tugevusanalüüsid

3.9.1 Raami käsipuu poltliide

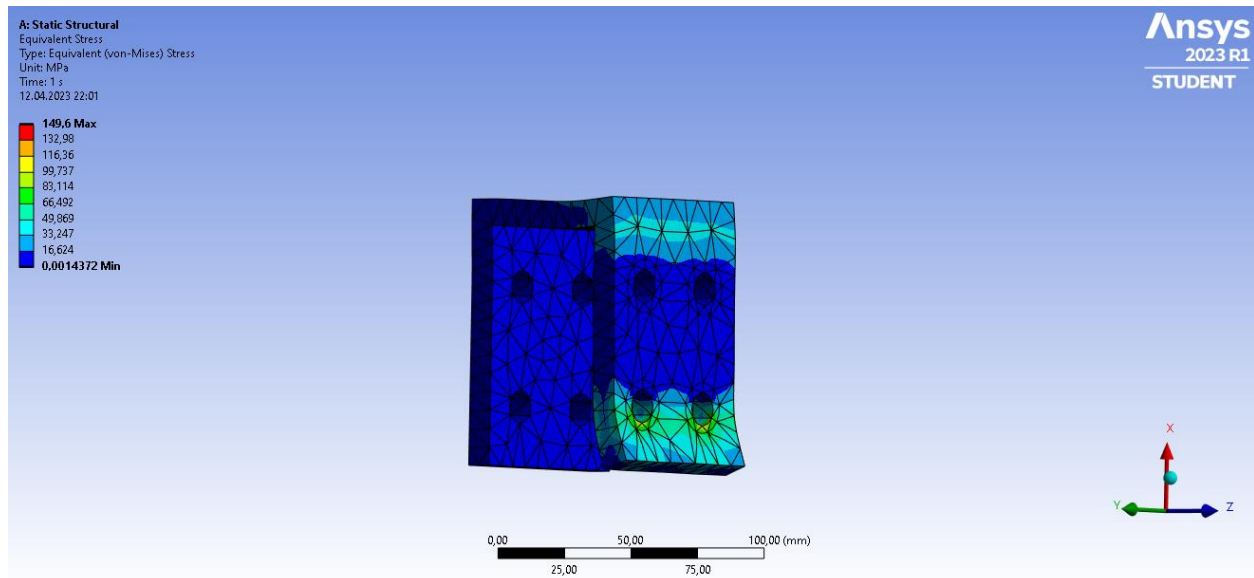
Analüüsi üles seades, kõigepealt tuli mõelda, mis on tähtis. Selles, kas poldid vastu peavad, ei kaheldud. Uuritigi, kas kinnitus tuli piisavalt tugev, et poltliitega kinnitada. Miks seda analüüsi üldse tehti? Eesmärk oli välja selgitada, et inimese kukkumisel vastu käsipuud, kinnitus vastu peaks.



Kuvatõmmis 15: Analüüs 6 püstitus, poltliide raami ja käsipuu vahel

Määratud jõudu määrates, lähtuti varasematest analüüsides Jõud suunati küljelt ja käsipuu kõrguselt, kuna antud olukorras oli see ainus suund, mis tekitab kahtlusi. Avade sisse määrati silindrilised toed, mille rolli täidavad poldid. Kinnituse sisepindadele määrati toed, mis simuleerisid raami olemasolu. Antud analüüs tehti samuti ekstreemsemas olukorras, kui detail päriselt kohtab. Jõud suunati küljele just sellepärast, et välja uurida poltide avade tugevust.

- Jõu suund: Risti kinnituse ja platvormi raami küljega
- Jõud: 3000 N
- Mõjutatav piirkond: Kinnituse külg



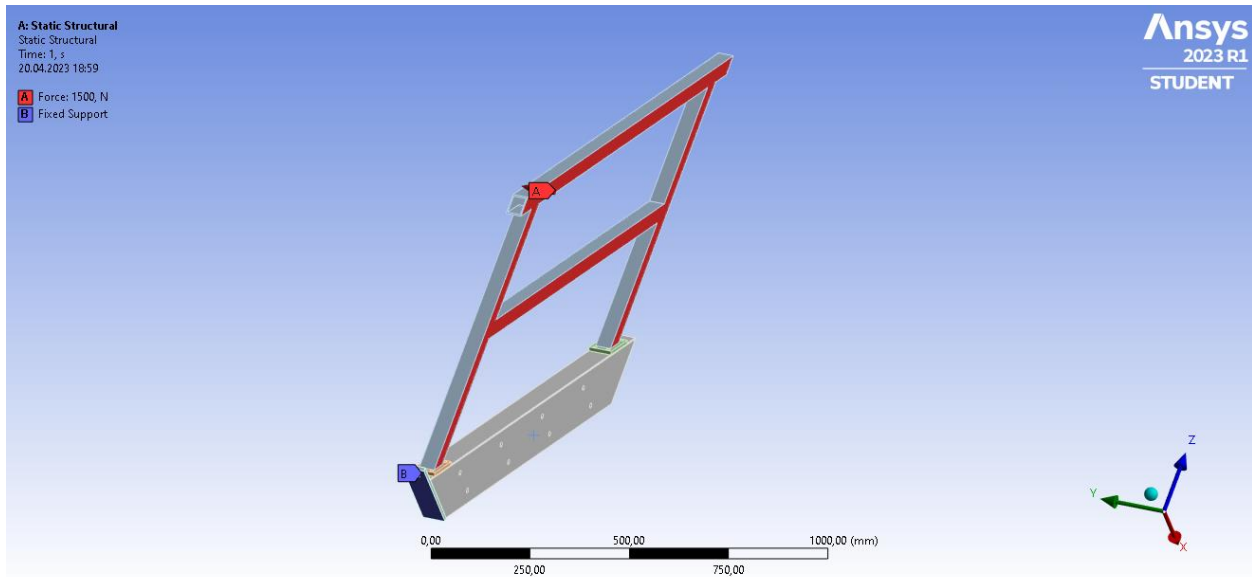
Kuvatõmmis 16: Analüüs 6 tulemus, pinge kinnitusel

Analüüsi tulemus oli rahuldav, kuna materjali voolavuspiiri ei ületatud. Kinnitus oli piisavalt tugev, et küljelt suunatud jõudu taluda. Enne puruneb keevitus või paindub käsipuu. Poltide tugevuses ei kaheldud, sest poldid tehakse kõrge süsiniku sisaldusega terasest, mille voolavuspiir on umbes kolm korda suurem, kui kinnituse materjalil.

- Tegelik pinge: 149.6 Mpa
- Ohtlik piirpinge: 355 Mpa
- Lubatud ohutustegur: 2
- Tegelik ohutustegur: 2.37
- Poltide tugevusklass: 12.9

3.9.2 Trepi käsipuu poltliide

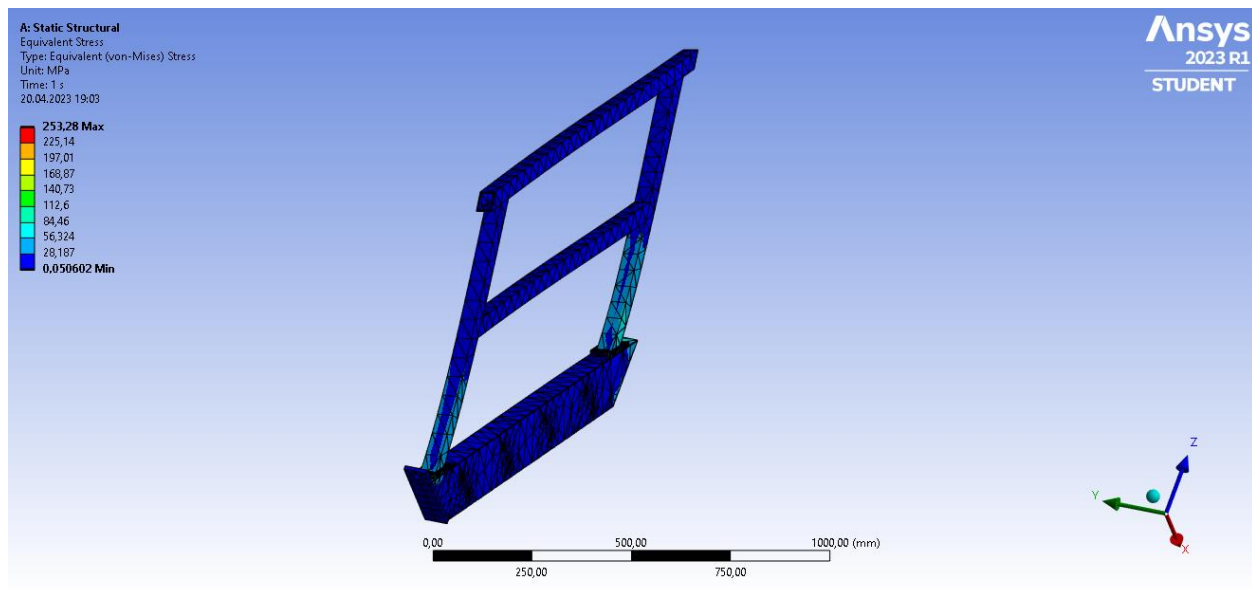
Trepi käsipuule tehtud analüüs oli põhimõtteliselt sama põhjusega, mis raami käsipuu puhul. Eesmärk oli välja selgitada, et kas kinnituse tugevus oleks piisav, et kaitsta inimest, kes vastu käsipuud kukub. Uurimisobjektiks valiti kõige õhema paksusega detail. Selleks oli trepi külje raam. Valiti see, kuna raam oli U-profiil ja käsipuu oli kinnitatud ühele välimistest servadest. Mis oli omakorda kõige nõrgem lüli antud kinnituse puhul.



Kuvatõmmis 17: Analüüs 7 püstitus, trepi küljeraami ja käsipuu vaheline poltliide

Jõu rakendumise punktiks arvestati käsipuu ülemine osa. Jõuks määrati 1500 njuutonit, mis oli võrdväärne 150 kilogrammiga. See oli tugevalt üle keskmise inimese kaalu. Analüüsis ei arvestatud sellega, et raame oli kaks ning need olid omavahel seotud astmetega. See andis antud olukorras aimduse, kui tugevad olid valitud materjalid ning projekteeritud ühendused. Seetõttu ka valitud jõud määrati väiksem, kui teistes analüüsides. Kuna talad olid otstest keevitatud, siis muutis see küljetala profiili tugevamaks, kui ta omaette oleks.

- Jõu suund: Suunatud käsipuu küljele, risti külje talaga
- Jõud: 1500 N
- Mõjutatav piirkond: Käsipuu kül, kogu ulatuses
- Analüüsi tüüp: pingeanalüüs kinnitusele



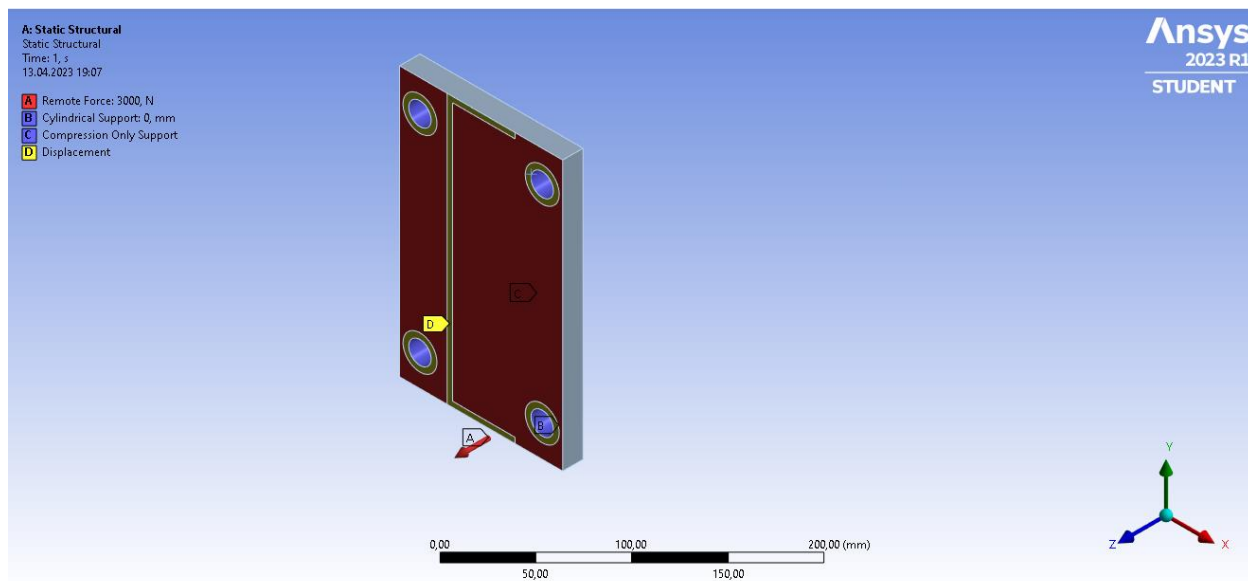
Kuvatõmmis 18: Analüüs 8 tulemus, pinge trepi küljeraamis, ning käsipuus

Antud analüüsi tulemus oli veidi alla materjali voolavuspiiri. See tähendas, et käsipuu oli piisavalt tugev, et inimese kukkumisel, ta suurematest vigastustest kaitsta, sest materjali voolavuspiiri ei ületatud. Kuna antud trepi platvorm oli meeter kõrge, siis see ei kujuta endast eluohtlik olukorda. Kõrgemate treppide puhul lisandub käsipuule veel kolmas kinnitus, mis võtaks osa koormusest endale.

- Tegelik pinge: 253.28 Mpa
- Ohtlik piirpinge: 355 Mpa
- Lubatud ohutustegur: 1.3
- Tegelik ohutustegur: 1.4

3.9.3 Trepi kinnituse poltliide

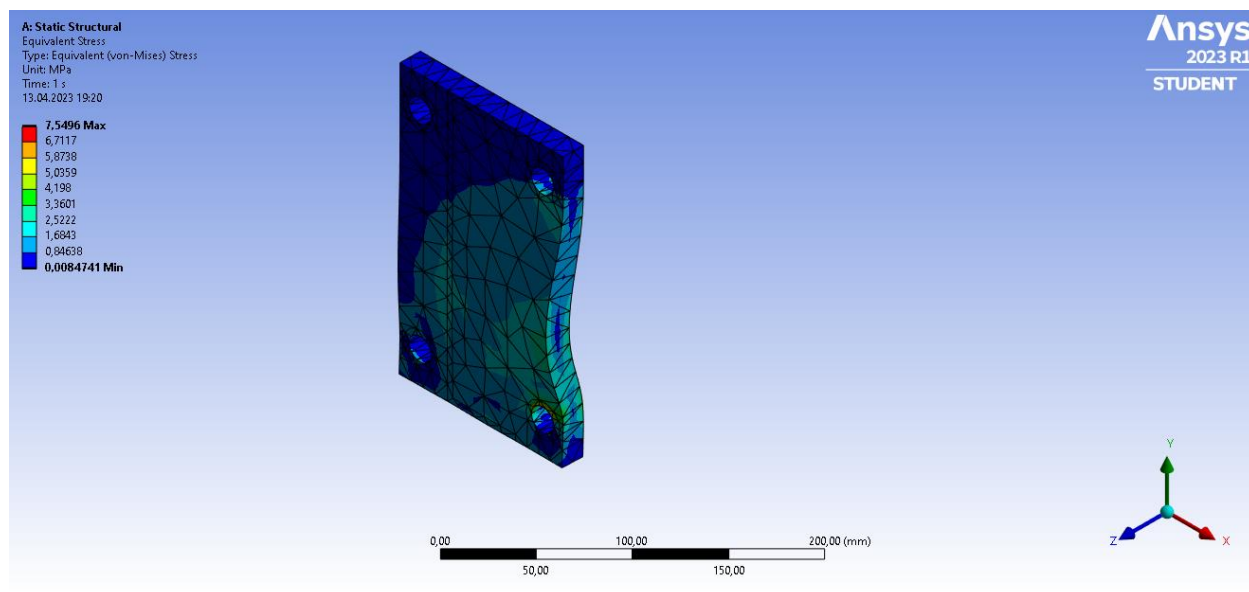
Trepi kinnituste puhul jälgiti kinnitusplaadi tugevust. Jõud määrati selliselt, et see mõjuks poltidest tuleneva pingega vastassuunaliselt. Analüüsi eesmärk tulenes puhtalt huvist, kuidas plaat käitub jõu rakendumisel. See, et plaat ei suutnud jõududele vastu panna, ei olnud muret tekitav.



Kuvatõmmis 19: Analüüs 9 püstitus, kinnitusplaadi poltliide

Jõu rakendus punkt määratakse plaadist 10 mm eemale, tsentrisse. Toed määratakse selliselt, et simuleerida kinnitamist teise plaadi külge poltliidetega. Jõu suurus valiti lähtuvalt eelnevatest analüüsides. Kuna tala oli keevitatud selle plaadi külge, siis antud analüüs on määratletud ekstreemsemalt, kui plaat reaalselt kohtab.

- Jõu suund: Risti plaadi ja poltidega
- Jõud: 3000 N
- Mõjutatav piirkond: Plaadi poldipeade poolne pind
- Analüüsi tüüp: pingeanalüüs



Kuvatõmmis 20: Analüüs 9 tulemus, pinge kinnitusplaadis

Analüüsi tulemusel saadi rahuldav tulemus. Plaadile mõjuvad jõud ei olnud võimelised materjali viima olukorda, kus materjali voolavuspiiri ületataks. Järeldati, et plaat täidab oma ülesannet eesmärgi püraolt. Plaadid tugevuses ei maksnud kahelda.

- Tegelik pinge: 7,55 Mpa
- Ohtlik piirpinge: 355 Mpa
- Lubatud ohutustegur: 2
- Tegelik ohutustegur: 47.02

3.9.4 Analüüside kokkuvõte

Analüüsid võeti kokku positiivsel emotsioonil. Kinnitustele määratud olukorrad tõestasid, et kõik kinnitused olid piisavalt tugevad, et oma ülesandeid täita. Kuid kõik mis särab ei ole kuld. Analüüse luues kerkisid ka mõned probleemid. Kuna kasutatav tarkvara on kättesaadav tasuta, siis väga kompleksseid analüüse ei saanud luua. Tekitati olukordi, mida ei suudetud tasuta tarkvaras lahendada. Seega võeti vastu otsus analüüse lihtsustada, valides uurimisobjektideks üksikute detailide mudelid. Keerukamate koostude analüüse ei suudetud luua. Seetõttu olid analüüsid püstitatud tunduvalt ekstreemsemates oludes, kui vaja. Analüüside tulemusel, saaks optimeerida antud konstruktsiooni veelgi, kuid sel juhul tuleks modulaarset lahendust praktiliselt algusest peale arendama hakata. Analüüside ohutustegurid valiti tabelist, mis annab üldised ohutustegurid vastavalt konstruktsiooni keskkonnale. [6]

3.10 Majandusarvutused

Lisaks tugevusanalüüside järeldustele saab lõpus teha ka majandus arvutusi. Kui palju materjali kulu vähenes ning kui palju see vähendab konstruktsiooni hinda. Kui vähendada keevitamist, siis väheneb hind ka keevitamise operatsiooni puhul, kuid tõuseb masintöötamise hind. Kuna poltliidete jaoks on vaja töödelda detaili rohkem. Samuti lisanduvad lisa kulud paigaldamise ja kinnitusvahendite näol. Majandusarvutuste tegemisel lähtuti ühest näidis konstruktsioonist, millele loodi võrdlemiseks ka täielikult valmis lahendus. Võrreldakse eelkõige materjalide kaaluvõitu ning sellest tulenevat kasu ettevõttele.

3.10.1 Materjalide võrdlused enne ja peale optimeerimist

3.10.1.1 Platvormi raam

Enne optimeerimist kasutati põhiraami tegemisel 100x100x5 mm nelikanttoru, peale optimeerimist võeti kasutusele 100x50x4 mm nelikanttoru. Materjali tüüp oli endiselt S355, kuna selle voolavuspiir oli kõrgem, kui S235 puhul. Põhiraami koostamisel kulus kokku 3600 mm materjali. Hinnad materjalidele saadi ettevõtte materjalide tarnijalt.

100x100x5, 3600 mm – 51.84 kg, 156.31 €

100x50x4, 3600 mm – 30.92 kg, 93.24 €

Põhiraami optimeerimisel alandati materjali kulu 40% võrra, raha summas võideti teise materjali kasutusele võtmisel 63.07 €. Suuremate konstruktsioonide puhul tuleb võit tunduvalt suurem.

3.10.1.2 Platvormi jalad

Enne optimeerimist kasutati jalgade tegemisel samuti 100x100x5 mm nelikanttoru, peale optimeerimist võeti kasutusele samuti 100x50x4 mm nelikanttoru. Materjali tüüp oli endiselt S355. Jalgade loomisel kulus materjali 4000 mm

100x100x5, 4000 mm – 57.6 kg, 173.04 €

100x50x4, 4000 mm – 34.36 kg, 103.22 €

Platvormi jalgade optimeerimisel alandati materjali kulu 40% võrra, raha summas võideti teise materjali kasutusele võtmisel 69.82 €. Kõrgemate platvormide puhul tuleb võit tunduvalt suurem.

3.10.1.3 Trepi külje raamid

Enne optimeerimist kasutati treppide tegemisel U-profiili mõõtudega 140x60x6 mm, trepi külje raame optimeeriti võrdlemisi vähe, võrreldes raamiga. Muudeti ainult profiili seina paksust, kuid see oli juba piisav, et saavutada parem tulemus. Kasutati ka I-tala profiili ning nelikanttoru. Lõputöö tegemisel lähtuti viimasena kasutatud profiilidest. Ühe meetri kõrguse raami loomiseks kulus 2800 mm materjali. Kuna tarnija müüb materjali 3000 mm kaupa, siis sellest ka lähtuti.

140x60x6, 3000 mm – 33.6 kg, 157.69 €

140x60x4, 3000 mm – 23.4 kg, 109.82 €

Trepi külje raamide optimeerimisel säästeti materjali 30% võrra. Rahasummas tegi see 47.87 € võitu.

3.10.1.4 Käsipuud

Käsipuud tehti enne optimeerimist 40x40x4 nelikanttorust. Optimeerimise käigus valiti 40x40x3 nelikanttoru profiil. Peamiselt muudeti ainult seina paksust. Ühe 1200x600 mm platvormi loomiseks kulus 19 560 mm materjali.

40x40x4 19 560 mm – 86.06 kg, 219.08 €

40x40x3 19 560 mm – 68.46 kg, 174.23 €

Käsipuude optimeerimisel säästeti 20% materjali. Raha summas tegi see 44.85 € võitu.

3.10.2 Majandusarvutuste kokkvõte

Majandusarvutustest selgub, et iga detail mis projekteeriti, tehti kaalult kergemaks, säilitades konstruktsiooni tugevus. Arvutustes ei arvestatud lehtmetallist loodud detaile, sest neid toodavad alltöövõtjad. Kuna iga ettevõtte kelle teenuseid Windak kasutab, kasutavad erinevaid tootmis tehnoloogiad, siis on nende detailide hindamine keerulisem. Loodi ka võrdlemiseks kogu konstruktsiooni loomiseks kuluv materjali kogus ning hind.

Enne optimeerimist – 229.1 kg, 706.12 €

Peale optimeerimist – 157.14 kg, 480.51 €

Arvutusi kokkuvõttes selgus, et materjali optimeerimisel vähendati materjali kulu kokku pea 72 kg. Konstruktsioon tuli 31% kergem ning 32% odavam. Raha summas tähendas see, et ühe konstruktsiooni tootmiseks kulub 225.61 € vähem. Saadud tulemusega olid rahul. Antud arvutustest oli väga hästi näha, kui vähe oli vaja konstruktsiooni optimeerida, et tuua toote hinda alla.

4. KOKKUVÕTE

Kokku võttes kogu lahenduskäik, siis püstitatud probleemile ei saadud 100% soovitud tulemust. Jõuti väga lähedale soovitud. Kuna tegemist ei olnud standardtootele lahenduse loomisega, siis tekkisid keerulised probleemid, mille lahendamine ei oleks olnud majandsulikult mõistlik. Kuna kokkupuude toodetega oli üsna vähene, siis ei suudetud piiratud aja sees leida sobivat lahendust, mis autorit oleks rahuldanud. Tehti ära suur töö, mille käigus siiski loodi mingil määral modulaarne lahendus. Oldi rahul just treppidega ning käsipuude kinnitustega. Kui platvormi raame ei suudetud luua täielikult modulaarseteks, siis teised moodulid olid piisavalt modulaarsed, et neid lugeda eesmärgi päraselt lahendatuks. Kui oleks olnud rohkem kogemusi ning teadmisi masinatest, siis oleks ilmselt ka suudetud luua rahuldav lahendus.

Optimeerimise puhul saadi soovitud tulemus. Materjalide valikul saadud kokkuvõtte oli majanduslikult kasulik ning probleemi lahendati mõistlikult. Tugevusanalüüsid aitasid tugevalt kaasa, et luua majanduslikult säästlikum lahendus. Võrdluseks sai tuua, et optimeerides materjalide kasutust, tuli iga kolmas platvorm tasuta, võrreldes varasemate materjalidega.

Projekteerimise käigus omandati palju uusi oskusi, et edaspidi teha paremini. Loomulikult kavatsetakse antud modulaarset lahendust edasi arendada, kuni jõutakse soovitud tulemuseni. Kogemuste ning teadmiste edasisel omandamisel, jõutakse kindlasti õigele teeale ning luuakse lahendus, mida seekord ei õnnestunud täielikult luua. Modulaarset lahendust saab koheselt kasutama hakata selliselt nagu ta on. Töö käigus loodi ka standardtoodete kataloog, mida saab järjest enam suurendada.

Eesmärgi täitmiseks tehti kokku 11 tugevusanalüüsi ning projekteeriti 77 unikaalset detaili.

4.2 Summary

In summary, the entire solution process did not achieve 100% of the desired result for the stated problem. It was close to what was wanted. Since it was not a matter of creating a solution for a standard product, complex problems arose, the solution of which would not have been economically reasonable. Since the contact with the products was rather small, it was not possible to find a suitable solution that would have satisfied the author within the limited time. A lot of work was done, but still a somewhat modular solution was created. Author was satisfied with the stairs and handrail modules. While the platform frames could not be made fully modular, the other modules were modular enough to be considered fit for purpose. If there had been more experience and knowledge of machines, it would probably have been possible to create a satisfactory solution.

In the case of optimization, the desired result was obtained. The savings obtained from the choice of materials were economically beneficial and the problem was solved sensibly. Strength analyzes strongly contributed to create a more economical solution. For comparison, by optimizing the use of materials, every third platform came free, compared to previous materials.

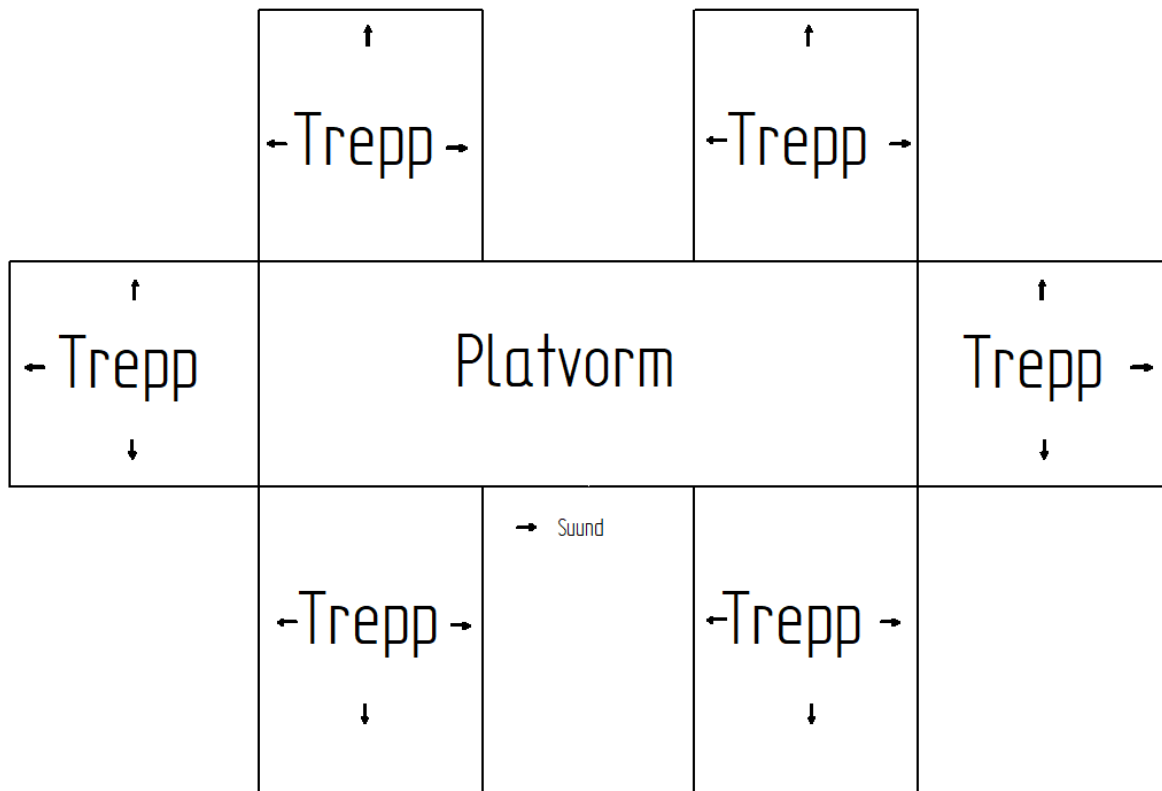
Many new skills were acquired during the design process to do better in the future. Of course, the given modular solution is planned to be further developed until the desired result is reached. With the further acquisition of experience and knowledge, the right path will definitely be reached and a solution will be created, which at this time was not created completely. The modular solution can be used immediately as it is. During the work, a standard product catalog was also created, which can be increased more and more.

To fulfill the goal, a total of 11 strength analyzes were performed and 77 unique details were designed.

5. LISAD

5.1 Eskiisid

Lisa 1: Platvormi algne eskiis



5.2.1 Tööjoonised

Technical drawing of a wind deflector (ALA) showing side and top views with dimensions and a table of specifications.

Side View Dimensions:

- Top width: 12.5 (6.3)
- Height: 100
- Base width: 50
- Base thickness: 4
- Angle: 135° ± 0.5°

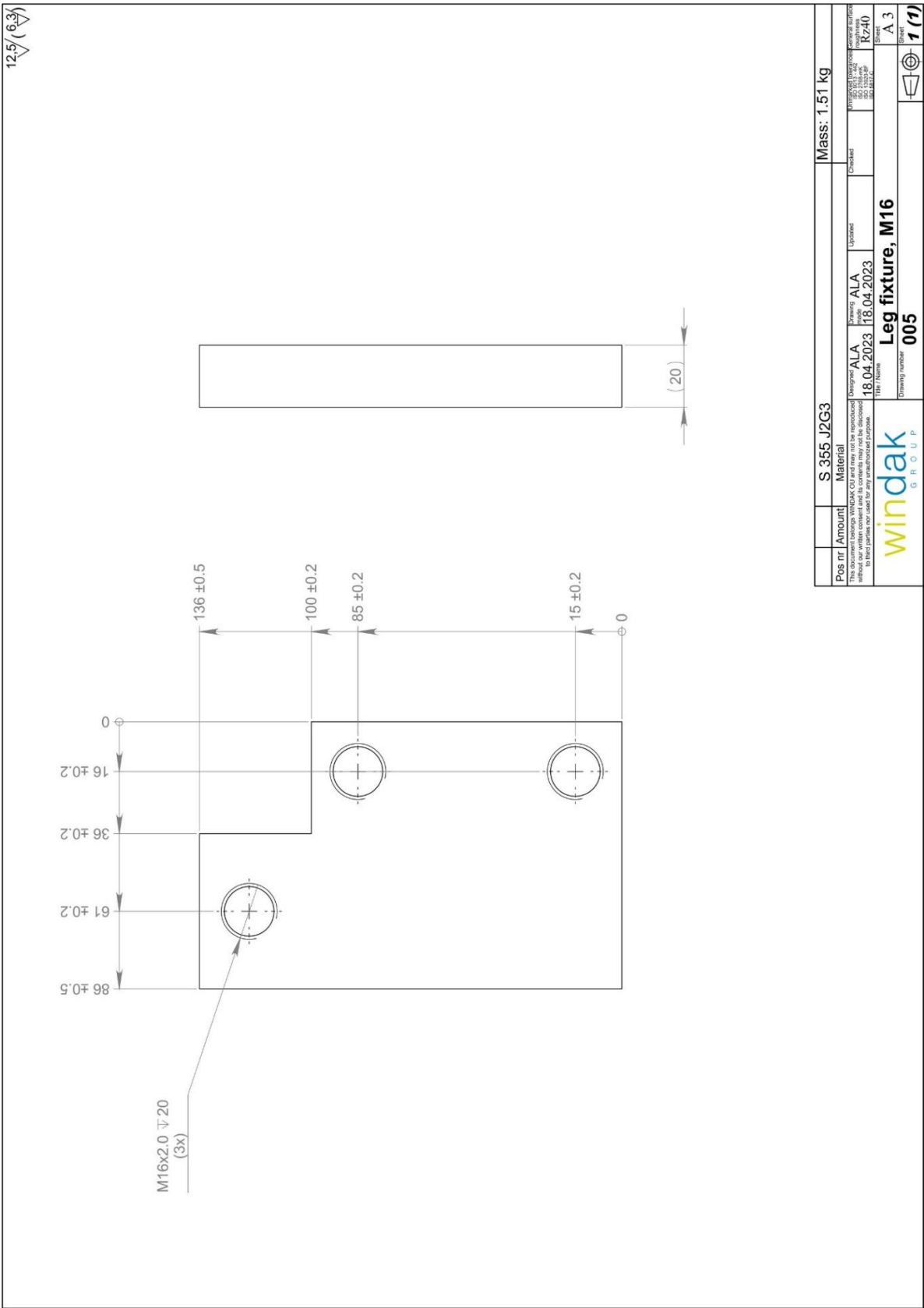
Top View Dimensions:

- Overall length: 600 ± 0.5
- Left mounting holes: 491.45 ± 0.2, 526.45 ± 0.2
- Right mounting holes: 106.45 ± 0.2, 71.45 ± 0.2
- Right side width: 100 ± 0.5, 67.50 ± 0.2, 22.50 ± 0.2
- Right side thickness: 0

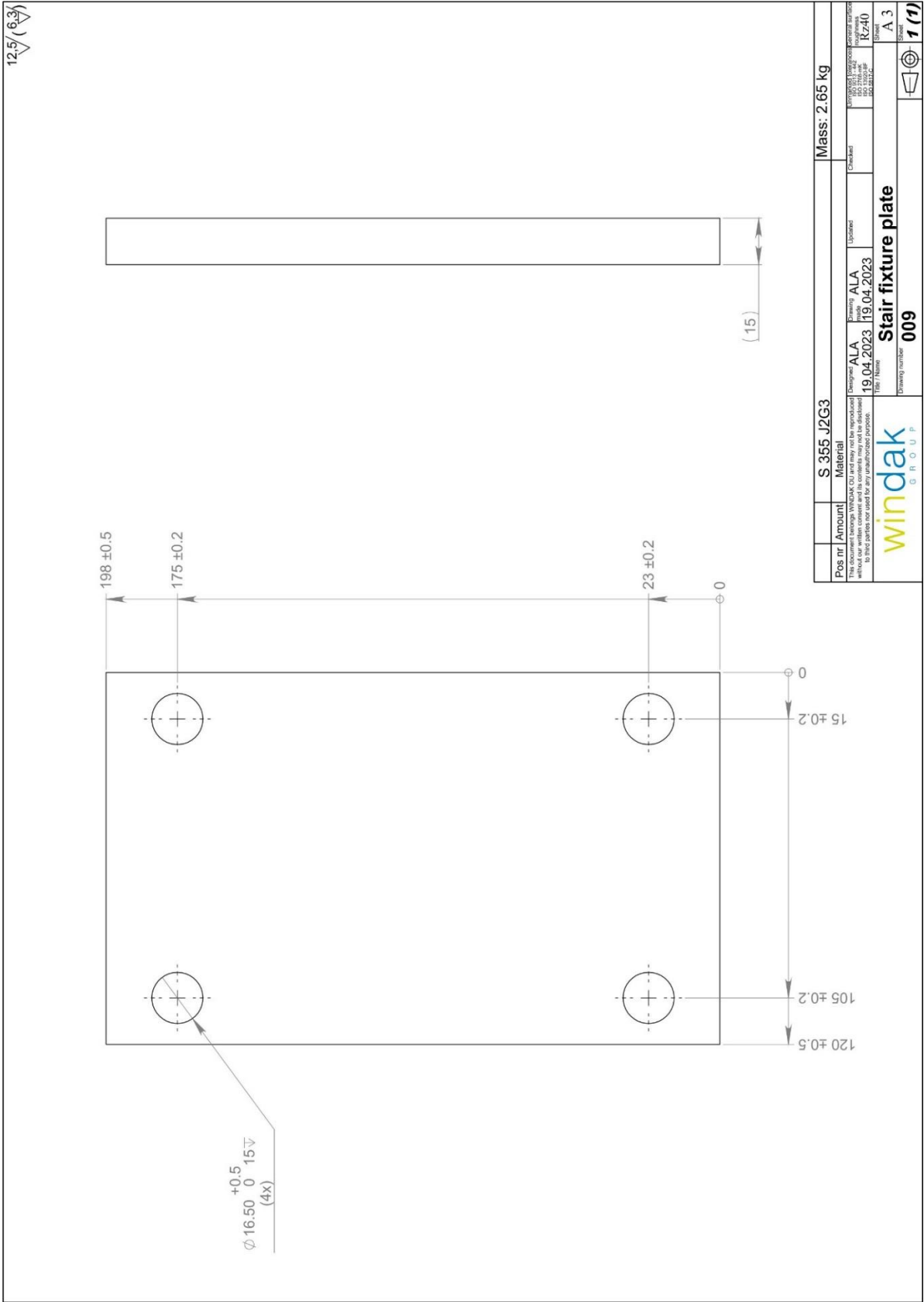
Table of Specifications:

Pos nr / Amount	Material	Designated	Released	Checked	Mass
ALA	ALA	ALA	ALA	ALA	4.75 kg
18.04.2023	18.04.2023	18.04.2023	18.04.2023	18.04.2023	
This document belongs to WINDAK OÜ and may not be reproduced without the written permission of WINDAK OÜ. It is intended for internal use only and is not to be used for any unauthorized purposes.					
Title / Name					
Tube 600					
Drawing number					
001					
A 3					

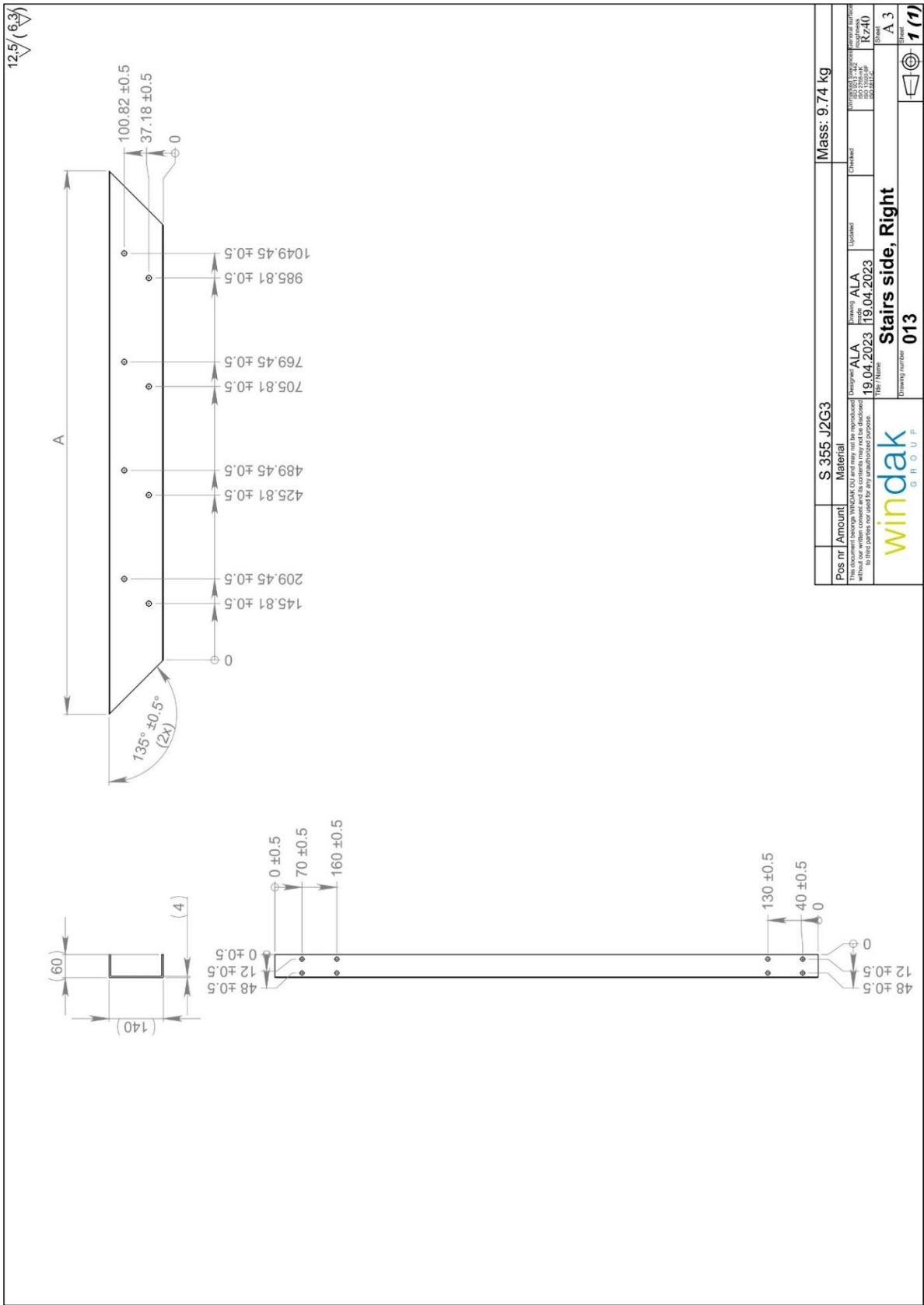
Lisa 3: Platvormi jala kinnituse joonis



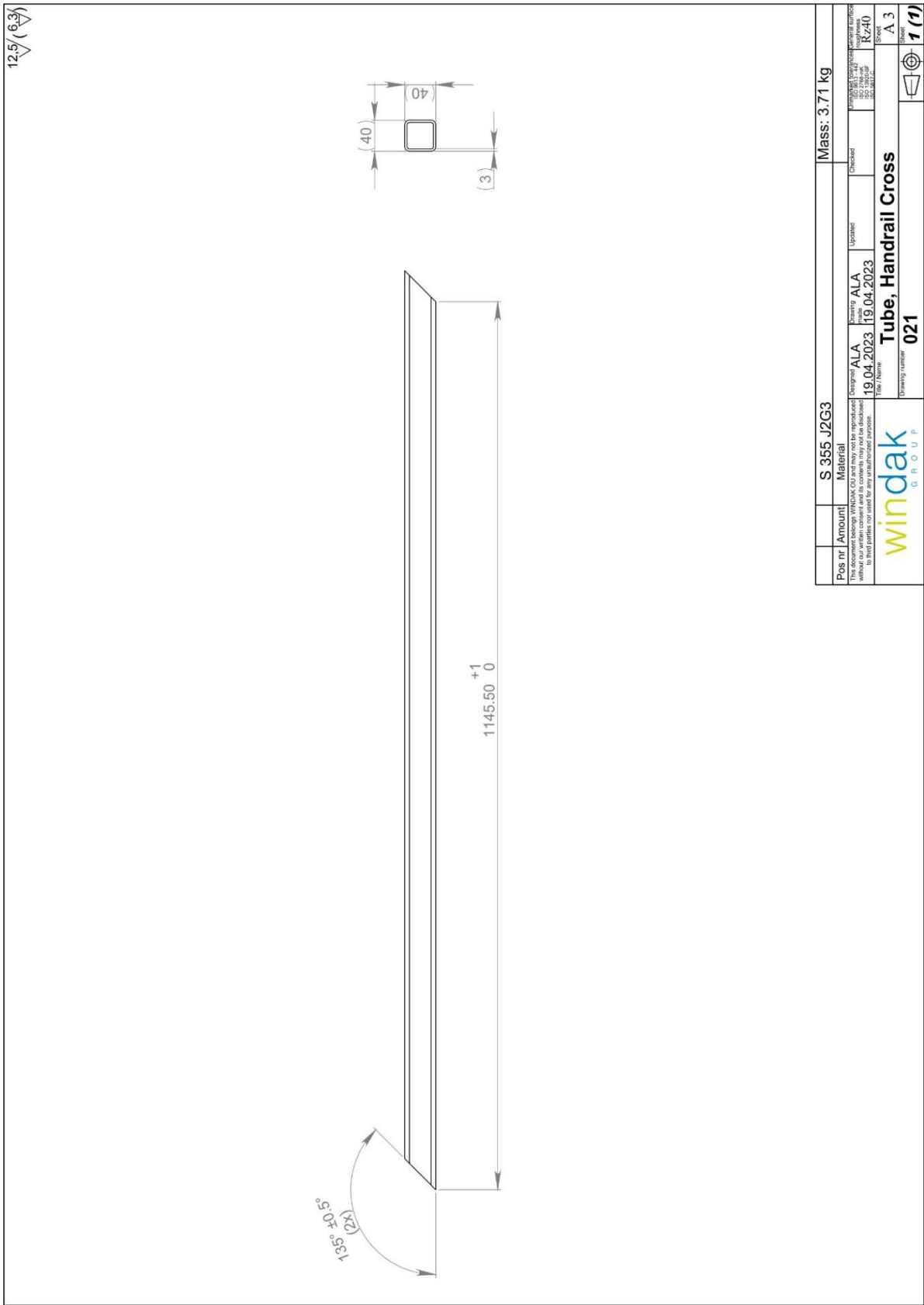
Lisa 4: Trepi külje raami kinnitus plaadi joonis



Lisa 5: Trepī külje raami joonis

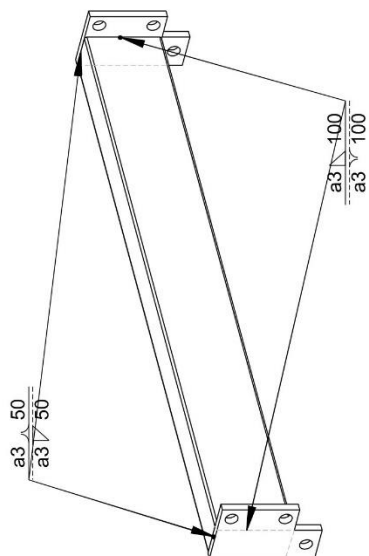
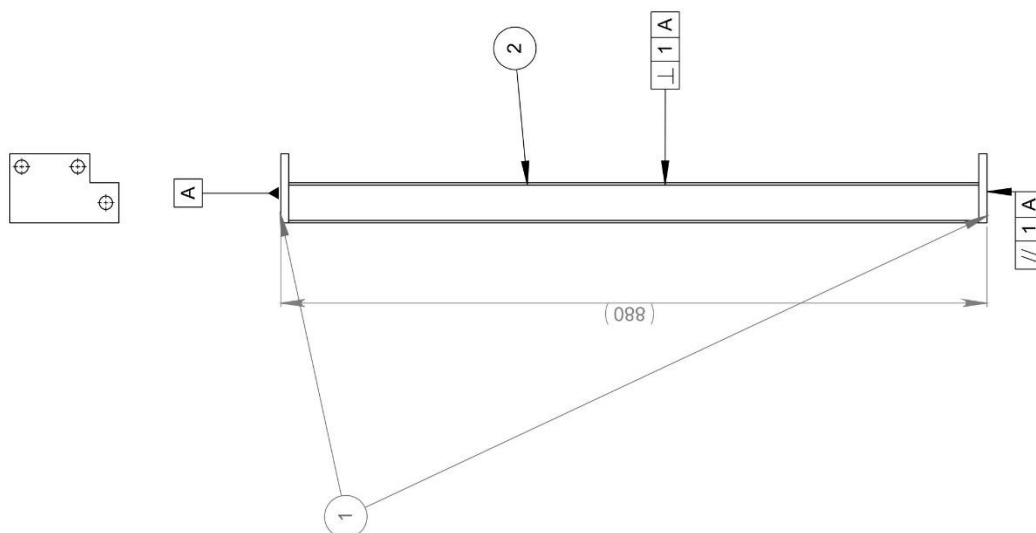


Lisa 6: Trepi käsipuu risti tala joonis



Lisa 7: Raami käsipuu mooduli keevitus joonis, pikkusele 1200 mm

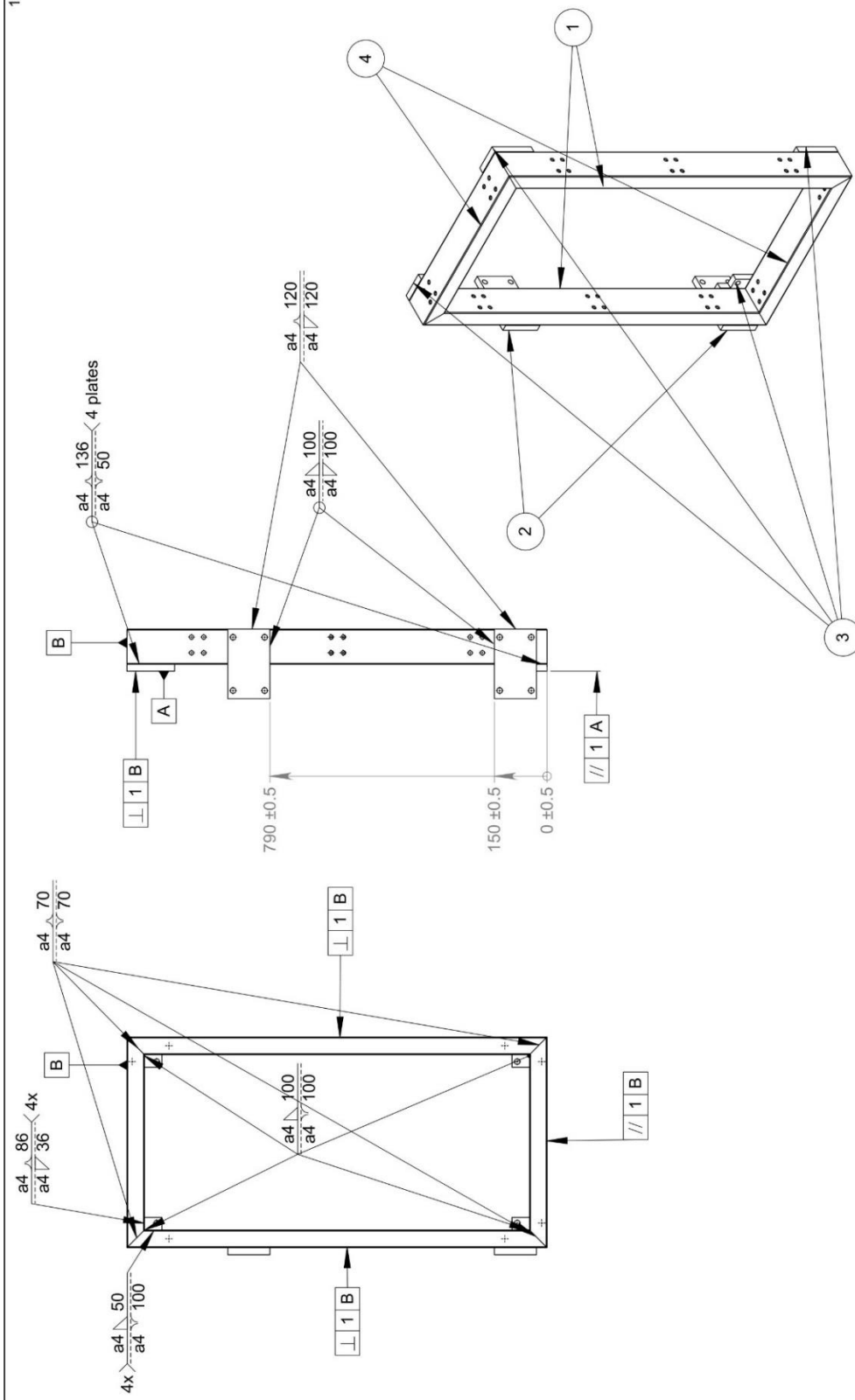


$$\sqrt{12,5/6,3}$$


ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	006	Leg fixture / Anchor	2
2	007	Platform leg Tube	1
		Mass: 9.03 kg	

Pos nr	Amount	Material	Designed ALA	Planning ALA	Updated	Checked	Contractor's signature	Contractor's stamp
This document belongs to WINDAK OÜ and may not be reproduced or disseminated without our written consent and its contents may not be disclosed to third parties nor used for any unauthorized purpose.			26.04.2023	26.04.2023				
			Total Items					
			Drawing number					
			Platform leg					
			02-006					
			A3					
								

$$\sqrt[3]{12,5/6,3}$$

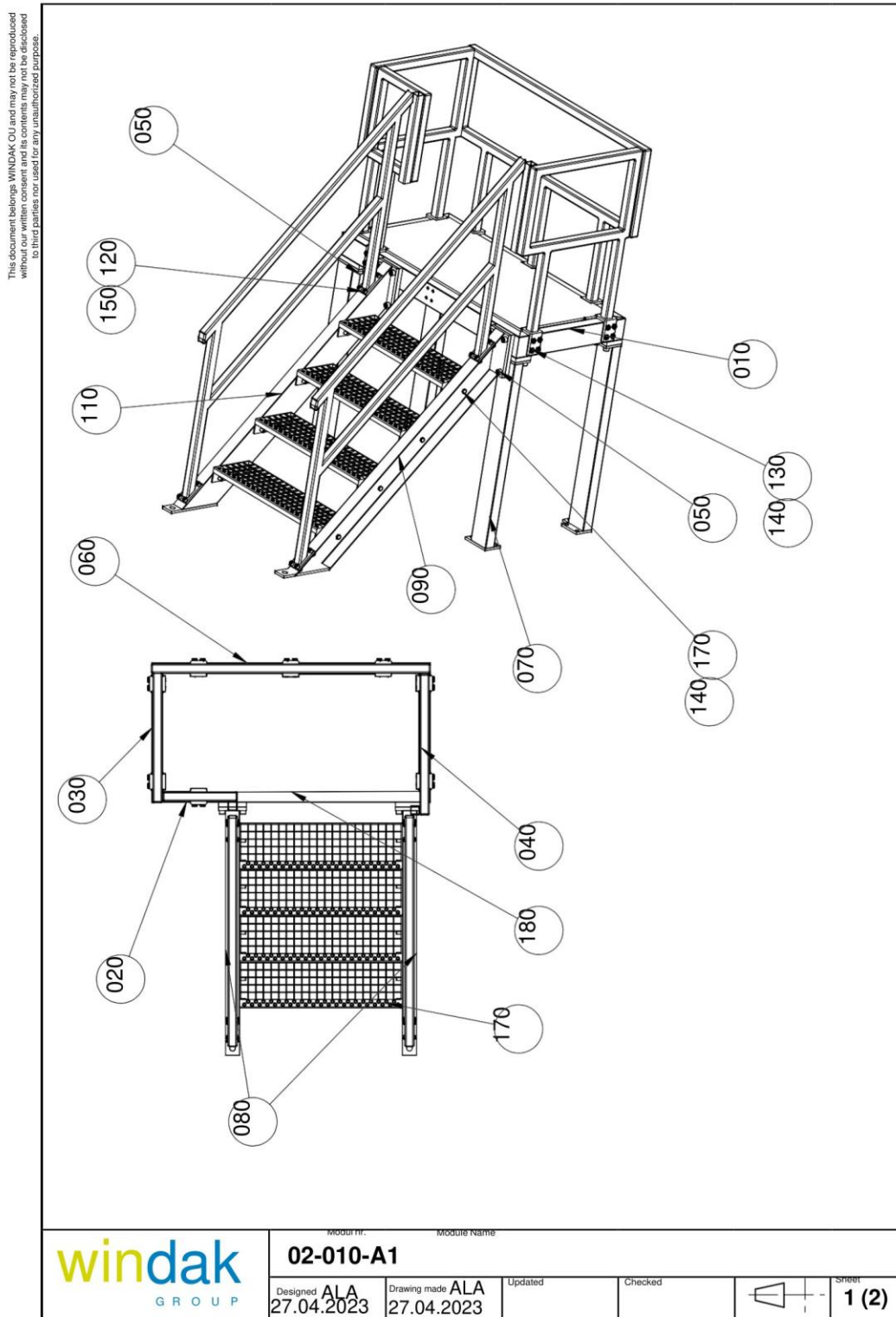

$$12,5 \sqrt{6,3}$$


ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	002	Tube 1200	2
2	008	Stair fixture, M16	2
3	006	Leg fixture, M16	4
4	001	Tube 600	2

Pos nr	Amount	Material	Mass: 42.50 kg
This document belongs WINDAK-CLU and may not be reproduced without written permission from WINDAK-CLU. This parties you need for every standardized purchase.			
Designator ALA		Uptime	
25.04.2023		ALA	
Title / Name		Order number	
		RZ-40	
		A 3	
		(1)	
		(1)	

5.2.3 Koostamise dokumentatsioon

Lisa 11: Platvormi koostamise joonis ja tükitabel



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
010	02-005	Platform frame	1
020	02-001	Handrail 319	1
030	02-002	Handrail 560	1
040	02-003	Handrail 605.5	1
050		M16x30	20
060	02-004	Handrail 1200	1
070	02-006	Platform leg	4
080	02-007	Stairs Handrail	2
090	02-009	Stairs side, Right	1
110	02-008	Stairs side, Left	1
120		M10x35	16
130		M12x80	48
140		M12 Nut	32
150		M10 Nut	16
160		M12x30	16
170		Stair tread	4
180		Grate	1

5.2.4 Projekteeritud detailide loetelu

Lisa 12: Detailide koondtabel

Joonise number	Joonise tüüp	Kirjeldus	Analoogsete detailide / koostude arv
001	Töö	Frame Tube 600	12
002	Töö	Frame Tube 1200	
003	Töö	Handrail Fixture	1
004	Töö	Handrail Leg Tube	15
005	Töö	Leg Fixture, M16	1
006	Töö	Leg Fixture / Anchor	1
007	Töö	Platform Leg Tube	6
008	Töö	Stair Fixture, M16	1
009	Töö	Stair Fixture	1
010	Töö	Stair Handrail Fixture	1
011	Töö	Stair Side Anchor	1
012	Töö	Stairs Side, Left	6
013	Töö	Stairs Side, Right	
014	Töö	Vertical Tube, Extentsion	
015	Töö	Handrail Sides Tube	
016	Töö	Handrail Top / Bottom 1200	
017	Töö	Handrail Top / Bottom 605.5	
018	Töö	Handrail Top / Bottom 560	
019	Töö	Handrail Top / Bottom 319	
020	Töö	Stair Handrail Leg 772	1
021	Töö	Stair Handrail Cross Tube 1145.5	12
022	Töö	Stair Handrail Tube 1402	6
02-001	Keevitus	Handrail 319	9
02-002	Keevitus	Handrail 560	
02-003	Keevitus	Handrail 605.5	
02-004	Keevitus	Handrail 1200	
02-005	Keevitus	Platform Frame	108
02-006	Keevitus	Platform Leg	6
02-007	Keevitus	Stairs Handrail	6
02-008	Keevitus	Stairs Side, Left	6
02-009	Keevitus	Stairs Side, Right	6
02-010-A1	Koost	Platform and Stairs	648

6. VIIDATUD ALLIKAD

- [1] United States Department of Labor, (2019), Occupational Safety and Health Standards
Loetud aadressil: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.25>

- [2] International Organization for Standardization, (2017), Thermal Cutting – Classification of thermal Cuts – Geometrical product specification and quality tolerances
Loetud aadressil: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9013:ed-3:v1:en>

- [3] International Organization for Standardization, (1989), General tolerances — Part 1: Tolerances for linear and angular dimensions without individual tolerance indications
Loetud aadressil: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:2768:-1:ed-1:v1:en>

- [4] International Organization for Standardization, (1996), Welding — General tolerances for welded constructions — Dimensions for lengths and angles — Shape and position
Loetud aadressil: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:13920:ed-1:v1:en>

- [5] International Organization for Standardization, (2023), Welding — Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) — Quality levels for imperfections
Loetud aadressil: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:5817:ed-4:v1:en>

- [6] Anup Kumar Dey, (2020), Factor of Safety: Definition, Equation, Examples, Calculator
Loetud aadressil: <https://whatispiping.com/factor-of-safety/#:~:text=Factor%20of%20safety%3DUltimate%20Load,is%20always%20greater%20than%201>