



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

# **OBJEKTIST VARJUJOONE LOOMISE SEADME PROJEKTEERIMINE**

## **DESIGNING A MACHINE TO MEASURE AN OBJECTS OUTLINE**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Sten Siro

Üliõpilaskood 207637MATM

Juhendaja: Toivo Tähemaa, kaasprofessor

## AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

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

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

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

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

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

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

Mina Sten Siro

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose obketist varjujoone loomise seadme projekteerimine,

mille juhendaja on Toivo Tähemaa,

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.

---

22.05.2023

---

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

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Sten Siro, 207637MATM

Õppekava, peeriala: MATM02, Tootearendus ja tootmistehnika, tootearendus

Juhendaja(d): Toivo Tähemaa, kaasprofessor, (+372) 5091918

Konsultant: Meelis Pohlak, vanemteadur.

### Lõputöö teema:

Objektist varjujoone loomise seadme projekteerimine

Designing a machine to measure an objects outline

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Lahti mõtestada ülesande püstitus
2. Uurida olemasolevaid lahendusi
3. Projekteerida nõuetele vastav masin

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Luu sisukord ja kirjutada sissejuhatus	23.02.23
2.	Uurida olemasolevaid seadmeid ja lahendusi	14.02.23
3.	Projekteerida nõuetele vastav masin	17.05.23

**Töö keel:** eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "....." .....20..... a

**Üliõpilane:** ..... "....." .....20.....a  
/allkiri/

**Juhendaja:** ..... "....." .....20.....a  
/allkiri/

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

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

# SISUKORD

EESSÕNA .....	7
Lühendite ja tähiste loetelu .....	8
1 SISSEJUHATUS.....	9
1.1 Ettevõtte tutvustus .....	9
1.2 Probleemi tutvustus .....	10
1.3 Pakendivaldkonna tutvustus.....	10
1.4 Nõuded projekteeritavale tootele .....	10
2 LAHENDUSE KONTSEPTSIOONID .....	12
2.1 Olemasolevad seadmed .....	12
2.1.1 Image Dimension Measurement System IM-8030.....	12
2.1.2 Mitutoyo PJ-H30.....	12
2.2 Olemasolevad lahendused.....	12
2.2.1 Laserkardin .....	12
2.2.2 Micro-Epsilon optoCONTROL 2520-95 .....	13
2.2.3 TitanTL Teletsentriline lääts .....	14
2.2.4 Valguskaabel .....	15
2.2.5 Keyence FU-58 valguskaabel .....	16
2.3 Võimalikud lahendused .....	17
2.3.1 Teletsentrilised läätsed ja kaamera.....	17
2.3.2 Liikuv teletsentriline lääts.....	20
2.3.3 Mikromeeter laserkardin .....	21
2.3.4 Sakina liikuv laserite ja sensorite jada .....	22
2.3.5 Hindamismaatriks .....	23
2.4 Lõpliku lahenduse valik.....	24
2.5 Järeldused .....	25
3 TOOTE PROJEKTEERIMINE .....	27
3.1 Komponentid .....	27
3.1.1 Alumiiniumprofiilidest raam .....	27
3.1.2 Laserdiod .....	28
3.1.3 Valgussensor .....	29
3.1.4 Mootor.....	30
3.1.5 Klaas .....	31
3.1.6 Valguskaabel .....	31
3.1.7 PLC .....	31
3.2 Modelleerimine .....	32
3.2.1 Raami loomine.....	32
3.2.2 Lineaar komponentide integreerimine .....	33

3.2.3 Laserhoidiku projekteerimine .....	36
3.2.4 Sensorite hoidiku projekteerimine .....	36
3.2.5 Sensorite karbi projekteerimine .....	37
3.3 Insenertehnilised arvutused .....	38
3.3.1 Maksimaalse painde leidmine.....	38
3.3.2 Omavõnkesageduse leidmine.....	42
3.4 Majanduslikud arvutused .....	44
3.4.1 Detailide hind .....	44
3.4.2 Omahind .....	46
3.4.3 Tasuvusaeg .....	48
3.4.4 Võimalik ärimudel .....	48
3.5 Järeldused .....	49
4 KOKKUVÕTE.....	50
4.1 Järeldused .....	51
4.2 Lahendamata probleemid.....	51
4.2.1 Sensoriga seadme seisatamine .....	51
4.2.2 Masina kood .....	52
KASUTATUD KIRJANDUS .....	53
GRAAFILINE OSA.....	56
Detaili ja koostujoonised .....	56

## **EESSÕNA**

Lõputöö teema sõnastati Toivo Tähemaa algatusel ja ettevõtte Ages Partner OÜ idee alusel. Töö koostati Tallinna Tehnikaülikooli Mehaanika ja tööstustehnika instituudis. Sooviksin tänada Toivo Tähemaad, kes viis läbi konsultatsioone, ja oli alati valmis küsimustele vastama ning Meelis Pohlakult kelle nõust olid palju abi.

## **Lühendite ja tähiste loetelu**

CAD – Computer-aided Design

CMOS – Complementary Metal-oxide semiconductor Sensor

CNC – Computer Numerical Control

DXF - Drawing Exchange Format

PLC – Programmable Logic Controller



# 1 SISSEJUHATUS

## 1.1 Ettevõtte tutvustus

Töö on valminud Ages Partner OÜ tellimusel. Ages Partner OÜ on asutatud 2006. aastal ning tegeleb erikujuliste objektide transpordiks pakendite valmistamisega. Ettevõttel on 2022. aasta neljanda kvartali seisuga 3 töötajat. Ages Partner sai 2022. aasta mai kuus OÜ Euroopa Regionaalarengu Fondilt (ERDF) enda projekti toetuseks 6000 eurot [1]. Selle projekti raames telliti Tallinna Tehnikaülikoolilt varjujoone skaneerimise lahenduste ja võimalikkuse jaoks tasutauuring. Ettevõtte igapäevane töö on klientide erikujuliste esemetele spetsiaalse sisuga kohvrite valmistamine. Selle jaoks loovad nad igale kliendile täpselt nende eseme jaoks kohvri sisu, kuhu kliendi ese täpselt sisse mahub (Sele 1.1). See tähendab, et sisuliselt kõik ettevõtte tooted valmivad eritellimusel.



Sele 1.1 Näide Ages Partneri kohvrast ja sisust.

Selle jaoks kirjutasid Toivo Tähemaa, Meelis Pohlak, ja Alar Niidas tasutauuringu projekti. Varjujoone mõõtmise seade pakenditööstusele hõlmab turu- ja tasutauuringut, võimalike kontseptsioonide kirjeldusi ning nende tehnilist hinnangut.

## **1.2 Probleemi tutvustus**

Ettevõttes kasutatakse praegu meetodit kus klient toob toote, millele pakendit soovib, ettevõtte kätte. Seejärel toode pildistatakse toode üles ning nende fotode põhjal joonestatakse tootele varjujoon. Selle joone põhjal freesitakse plastvahust kohvri sisu, mille sees on kliendi toote kujuline pesa kuhu see sama toode transpordiks paigutatakse.

Tootest varjujooneni jõudmise protsess hõlmab palju manuaalset tööd ning on aeganõudev. Selle probleemi lahendamiseks soovib firma saada seadet mille lähteandmeteks oleks füüsiline objekt ning tulemuseks selle objekti varjujoon joonestustarkvaras. Seadme väljastatav varjujoon peab olema nii täpne, et kui selle põhjal CNC pingis kohvrile sisu freesida siis kliendi tootel ei tohi selles liikumiseks ruumi olla. Kohvri sisu on poroloonist, keskmise jäikusega ja vetrub vabalt 10 mm.

## **1.3 Pakendivaldkonna tutvustus**

Pakendivaldkond hõlmab endas kõike, mis on seostub toodete pakendamise ja pakendite toomisega ning sellega kaasnevate küsimustega, näiteks pakendite keskkonnasäästlikkus, transpordikulud ja pakendavate esemete ohutuse tagamine.

Pakenditel võivad olla erinevad kujud, suurused ja materjalid, alates paberist, papist ja plastikust kuni klaasi, metalli ja biolagunevate materjalideni. Pakendid kaitsevad tooteid transpordi ja ladustamise ajal kahjustuste eest ning tagavad kauba värskuse ja ohutuse.

## **1.4 Nõuded projekteeritavale tootele**

Antud töö ülesandeks on projekteerida seade erinevate toodete varjujoone skaneerimiseks. Tellija soovib seadet mis suudab füüsilisest tootest varjujoone meetodil saada DXF joonise. Joonis peab olema piisavalt täpne, et selle põhjal saaks CNC masinale programmi genereerida. Toode on asenduseks praegusele variandile milleks

on tootest pildi tegemine ning pildile käsitsi varjujoone joonestamine. Protsessi kogupikkus võiks jääda vahemikku 0 – 5 minutit.

Toote maksimaalsed mõõtmed on 1500x800x600 millimeetrit ning projekteeritava seadmele otsest maksumuse piiri seatud ei ole.

## **2 LAHENDUSE KONTSEPTSIOONID**

### **2.1 Olemasolevad seadmed**

#### **2.1.1 Image Dimension Measurement System IM-8030**

IM-8030 on Ameerika Ühendriikide tehnoloogiaettevõtte KEYENCE Corporation mõõteseadme mis võimaldab mõõta 300x200 mm detaile [2]. Seade kasutab kasuta CMOS sensorit ning teletsentrilisi läätsesid, et detaili pildistada ning väljastada detaili mõõdud alates ühest sekundist [3]. See tähendab seda, et 3D detailist saab suure täpsusega 2D pildi kus ei teki moonutusi. Kuna masina CMOS sensori kaugus pildistavatest objektidest ei muutu ning objekti kõrgusest tulenevad moonutused on välistatud siis saab masina tarkvara mõõdetavale detailile lihtsasti mõõdud lisada.

#### **2.1.2 Mitutoyo PJ-H30**

PJ-H30 on Jaapani tehnoloogiaettevõtte Mitutoyo mõõteseadme [4]. Selle seadme mõõtmisala on kuni 300 x 170 mm. Seadmel on suur ekraan mis näitab suurendatult mõõdetavat objekti. Samal ajal salvestatakse pilt ka digitaalse kaamera abil. See lubab järeltöötlusprogrammil viia läbi detaili mõõtmise. Selle masina abil saab 3D detailidest täpse 2D pildi ilma moonutusteta. Selle saavutamiseks kasutab seade teletsentrilist läätsi mis suunab kõik valguse paralleelseks.

## **2.2 Olemasolevad lahendused**

### **2.2.1 Laserkardin**

Laserkardinaid kasutatakse suuresti tootmisliinil objektide tuvastamiseks või ohtlike tööstusmasinate juures ohutuse eesmärgil. Neis kasutatakse *through-beam* lasersensoreid mille väljundiks on signaal või selle puudumine. Selline algeline sensor võimaldabki ainult objekti olemasolu tuvastada (Sele 2.1). Kõige suurema resolutsiooniga ohutuse eesmärgil toodetud laserkardinad on mõeldud sõrmede

tuvastamiseks ning tuvastavad objekti alates suurusest 14 mm. Antud töös on oleks vaja laserkardinat resolutsiooniga 0,5 mm.



Sele 2.1 Näide turvaseadmeks loodud laserkardinast Keyence GL-R [5].

Turul on ka aga laserkardinad mis on loodud just mõõtmise eesmärgil [6]. Sellised tooted on turvakardinatest märgatavalt kallimad. Selliste kardinatate resolutsioon on kuni 2 mm. Kuid ka see on neli korda suurem kui antud töö käigus loodava masina resolutsioon peab olema.

### 2.2.2 Micro-Epsilon optoCONTROL 2520-95

Micro-Epsilon optoCONTROL 2520-95 on kompakne laser mikromeeter sisseehitatud kontrolleriiga(Sele 2.2). See andur tekitab laserkardina mille laius on kuni 95 mm ning mille resolutsioon on 1 mikromeeter [7]. Sellise anduri eelises on kõrge resolutsioon, mis tähendab, et saab teha väga täpseid mõõtmisi. Puudujääk on aga kardina laius, milleks on 95 mm. Antud töö käigus on vaja aga mõõta objekte laiussega kuni 800 mm. Selle saavutamiseks oleks vaja kasutada kõrvuti 9 sellist andurit.



Sele 2.2 Micro-Epsilon optoCONTROL 2520-95 [7].

Anduri kontrolleri väljund vastab standarditele Ethernet, EtherCAT, RS422, analoog väljund, EtherNet, IP ja PROFINET. Andur ise on seadistatav läbi veebirakenduse. Seadme mõõtekaugus on maksimaalselt 2 meetrit [7].

### 2.2.3 TitanTL Teletsentriline lääts

TitanTL on Edmund Opticsi poolt toodetud suurediameetriline teletsentriline lääts [8]. Teletsentrilised läätsed on erilised selle poolest, et need suunavad valguskiired paralleelseks. Kui selline lääts asetada kaamera sensori ette tekib efekti kus samade mõõtmetega, kuid erikaugustel, objektid on ka kaamera jaoks sama suured.

See võimaldab seesuguseid läätsi kasutada masinnägemises, kus on vajalik kaugusest tulenev viga eemaldada [3]. Seetõttu on need ka sobilikud antud masina ehitamises. Näiteks kõrge detaili mõõtmisel jääb tavalise kaamera läätsega tehtud pildilt mulje, et detail on oluliselt suurem kui see reaalsuses on. Selle töö puhul on aga nõutav viga ainult 0,5 mm. Kuna teletsentriline lääts eemaldab objekti kaugusest tekkivad moonutised siis on see ideaalne variant antud aplikatsioonis. Kõige suurema TitanTL seeria läätsede diameeter on 351 mm(Sele 2.3).



### 0.179X, 35mm M42 x 1.0 TitanTL® Telecentric Lens

Stock #34-028

[eDrawing: eprt](#) [IGES](#) [PDF Drawing](#) [STEP: step](#) [Zemax](#) [Spec Sheets](#)

Numerical Aperture NA, Object Side:	0.0056	Number of Elements (Groups):	7 (5)
Note:	Lens will cover a 39mm image circle	Type:	Telecentric Lens
Primary Magnification PMAG:	0.179X	Maximum Sensor Format:	APS-H
Working Distance (mm):	351	Mount:	M42 x 1.0
Style:	VIS	Aperture (f/#):	f/16
Coating:	$\lambda/4$ MgF <sub>2</sub>	Depth of Field (mm):	±26.6mm (20% @ 20 lp/mm, f/16)
Horizontal Field of View, APS-H Sensor:	163.1mm	FOV @ Max Sensor Format, H x V (mm):	163.1 x 112.8
Rear Filter Diameter (mm):	50.8	Typical Distortion @ 520nm (%):	<0.2
Typical Telecentricity @ 520nm (°):	<0.036		

<b>Regulatory Compliance</b>	
RoHS:	<a href="#">Compliant</a>
Certificate of Conformance:	<a href="#">View</a>

Sele 1.3 Suurima diameetriga teletsentrilise läätsede andmed [8].

Nende läätsede nõrk koht tuleneb otse nende tugevusest. Teletsentriliste läätsede vaatelauius on otseselt sõltuv nende diameetrist [9]. Seega on kõige laiem pilt mida läbi nende läätsede võimalik teha täpselt sama suur kui on läätsede läbimõõt.

## 2.2.4 Valguskaabel

Valguskaabel on juhe millel on kummist ümbris ning sees on painduv klaasist juhe (Sele 2.4). 1950 aastatel oli laialdaselt kasutusel 1-2 mm läbimõõduga tuumaga valguskaabel mil selle põhiline kasutusala oli meditsiinis endoskoopides [10]. Tänapäeval kasutatakse valguskaableid põhiliselt infoedastuses.



Sele 2.4 1 mm läbimõõduga tuumaga valguskaabel.

Nii suure diameetriga tuumaga valguskaabel on aga ebatäpne. Kui nii laia tuumaga kaablit liiga väikse raadiusega painutada siis võib juhtuda, et valgus ei liigu mitte kaablit

mööda edasi vaid pörkab tagasi. Teine mure on, et kui klaasist tuumik on liiga lai siis saab kaablis liikuv valgus liiga suure nurga all kaablist väljuda. See aga tähendab, et laserkiirest saab väga hajuv valgus mis ei ole piisav, et seda täpse sensorina kasutada.



Sele 2.5 Laserkiire täpi ja 1 mm valgusjuhtmest väljuva valguse laigu võrdlus.

Selel 2.5 oleval vasakul pildil on näha otse laserist väljuvat valgustäppi ning parempoolsel pildil on sama laseri valgus kuid läbi valguskaabli.

### **2.2.5 Keyence FU-58 valguskaabel**

Keyence FU-58 on kaasaegne valguskaabel mis ehituselt sarnaneb alapeatükis 2.2.4 uuritud 1 mm tuumaga valgusjuhtmele. Juhtme ümbrise moodustab kummist katte materjal kuid juhtme tuumaks on 0,265 mm läbimõõduga klaasist tuum [11]. Välise diameetri gabariit tuleneb kiire suunavast otsikust mille diameetriks on 1 mm.

Nii väikese läbimõõduga tuum lubab valguskaablilt painutada oluliselt rohkem. Tootja poolt lubatud painutusdiameeter on 10 mm [12]. Juhtme laseri väljumise poolses otsas on ka parabooli kujuga lääts mis garanteerib, et juhtmest väljuv valgus on koondatud oluliselt täpsemasse kiirde kui varasemalt uuritud lihtsal valgusjuhtmel.

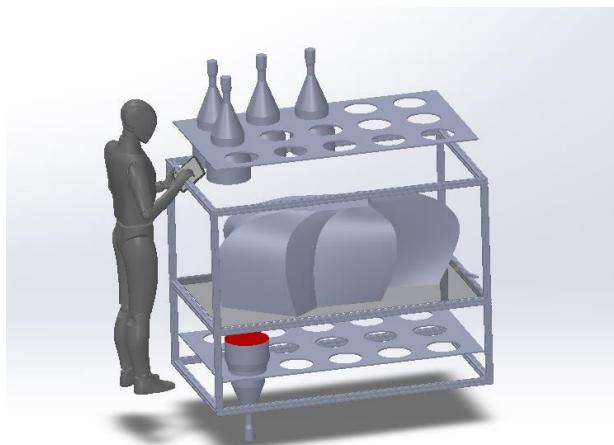
Selline juhe on sobilik antud probleemi lahendamaks, sest valguskaablist FU-58 väljuv valgus hajub ka pikematel distantidel väga vähe. Tootja poolne hinnang maksimaalsele distantile on 800 mm [11].



## 2.3 Võimalikud lahendused

### 2.3.1 Teletsentrilised läätsed ja kaamera

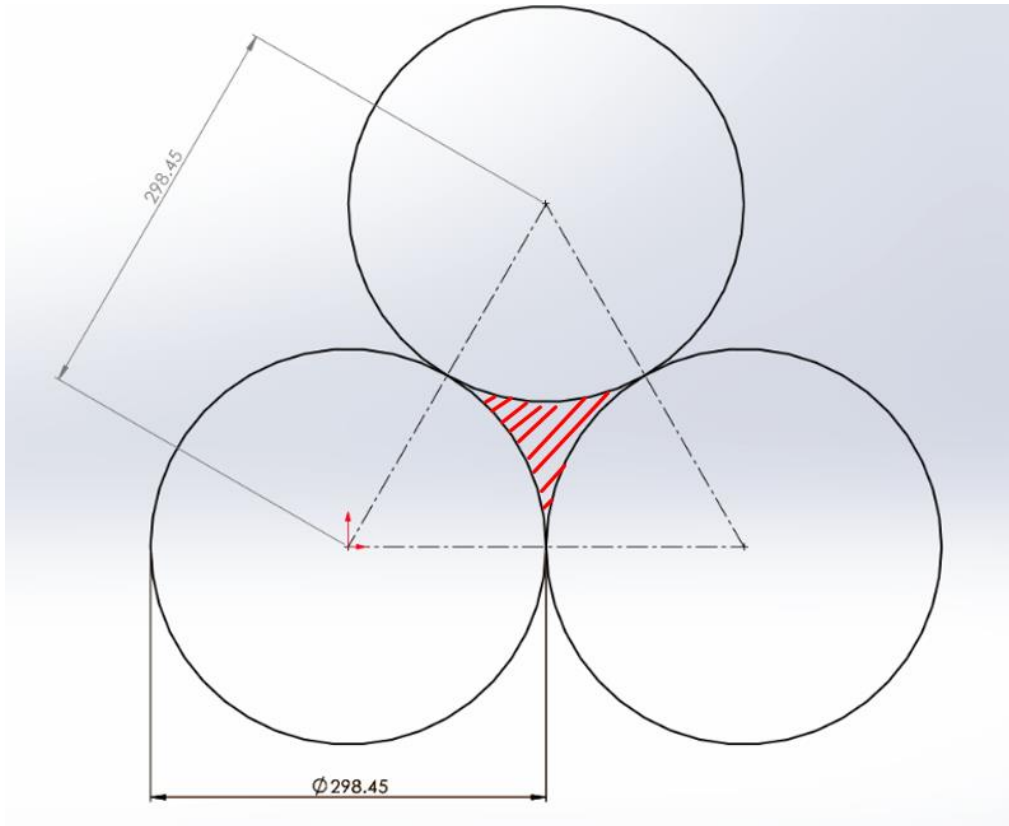
Esimene võimalik lahendus kasutab alumiiniumprofiilidest raami, läbipaistvat klaasi teletsentrilisi läätsi ning teletsentrilist valgustust. Kliendi toode asetatakse klaasile ning seda valgustatakse alt teletsentriliste valgustitega. Täpselt iga valgusti kohal on teletsentriline lääts fotosensoriga (Sele 2.8).



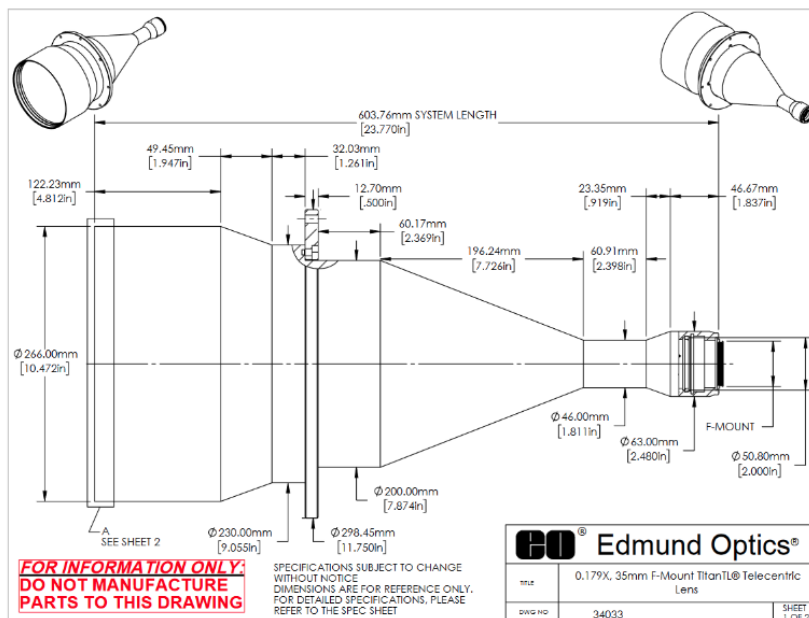
Sele 2.8 Toode 1 mudel

Valgustite ja läätsede vahel jääv objekti pildistatakse ning hiljem ömmeldakse saadud pildid tarkvara abil kokku. Sellise disaini suurim mure on pime ala mis jääb läätsede vahele (Sele 2.7). Probleemi on võimalik veidi leevendada asetades ühe rea läätsede read poole läätse diameetri võrra nihkesse. See küll vähendab läätsede vahele tekkivad pimedat ala kuid ei eemalda seda. Teiseks piiravaks faktoriks on läätsede hind. Üks lääts maksab 11075.00€ [8]. Antud disainis oleks vaja 18 läätse detaili kohale ning 18 alla. See teeks juba ainuüksi läätsede maksumuseks 398700€.

Iga kolme läätse vahele jääv pime ala tuleneb läätsede ümarast kujust ning sellele lisandub veel läätsede hoidiku valmistamisel tekkiv viga. Sellise lahenduse tugevusteks on see, et puuduvad liikuvad osad, kuid see ei kaalu üle läätsede geomeetriast (Sele 2.7) tulenevaid suuri pimedaid alasid ning see, et ei ole liikuvaid osi.



Sele 2.6 Pimeda ala joonis



Sele 2.7 Teletsentrilise läätsede mõõtmised [8].

Leiame seel 2.6 näidatud kolme ringjoone vahelise ala.

Võrdkülgse kolmnurga kõrguse leiame järgnevalt:

$$a^2 = h^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2, \quad (2.1)$$

kus  $a$  – kolmnurga külje pikkus, mm,

$h$  – kõrgus, mm.

$$h^2 = a^2 - \frac{a^2}{4} = \frac{3a^2}{4}$$

$$h = \frac{\sqrt{3}a}{2}$$

Seega võrdkülgse kolmnurga pindala:

$$S_K = \frac{a \cdot h}{2}, \quad (2.2)$$

kus  $S_K$  – kolmnurga pindala,  $mm^2$ ,

$a$  – külje pikkus, mm,

$h$  – kõrgus, mm.

$$a = 298,45 \text{ mm}$$

$$S = \frac{\sqrt{3}a^2}{4} = \frac{\sqrt{3} \times 298,45^2}{4} = 38569,48 \text{ mm}^2$$

Leian läätse kinnitusrõnga pindala:

$$S = \pi r^2, \quad (2.3)$$

kus  $S$  – pindala,  $mm^2$ ,

$\pi$  – pii,

$r$  – raadius, mm.

$$r = 298,45 \text{ mm}$$

$$S = \pi \left(\frac{298,45}{2}\right)^2 = 69957,3 \text{ mm}^2$$

Leian ühe ringi  $60^\circ$  sektori pindala:

$S_s$  – sektori pindala

$$S_s = \frac{S}{360} \times 60 = \frac{69957,3}{6} = 11659,55 \text{ mm}^2$$

Viimaseks, leian läätsete vahele tekkiva pimedala pindala. Selleks lahutan arvutatud kolmnurga pindalast kolme sektori pindala:

$$S_p = S_k - 3S_s, \quad (2.4)$$

kus  $S_{pime}$  – Läätsede vahele tekkiva pimedala ala pindala,  $mm^2$ ,

$S_s$  – sektori pindala,  $mm^2$ ,

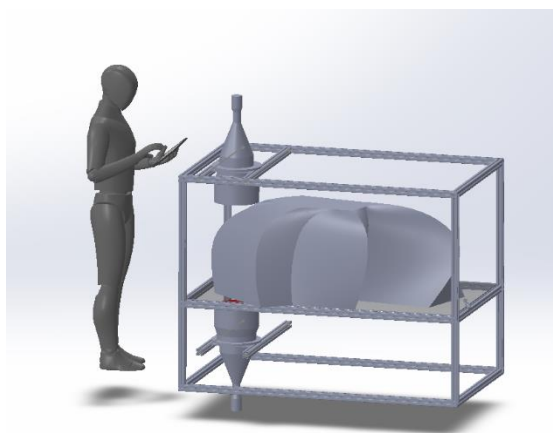
$S_k$  – kolmnurga pindala,  $mm^2$ .

$$S_p = S_k - 3S_s = 38569,48 \text{ mm}^2 - 3 \times 11659,55 = 3590,83 \text{ mm}^2$$

Selles lahenduses jääks iga kolme läätse vahele pime ala suurusega  $3590,83 \text{ mm}^2$ .

### 2.3.2 Liikuv teletsentriline lääts

Teine võimalik lahendus kasutab alumiiniumraami, läbipaistvat klaasi ning üht teletsentrilist läätsed ning üht teletsentrilist valgustust. Kliendi toode asetatakse klaasile ning seda valgustatakse alt ühe teletsentrilise valgustiga. Selle valguse võtab vastu ülevalt kaamerasensor läbi teletsentrilise läätsed. Valgusti ning läätsed paar liiguvad koos ning teevad pildid kogu detailist.



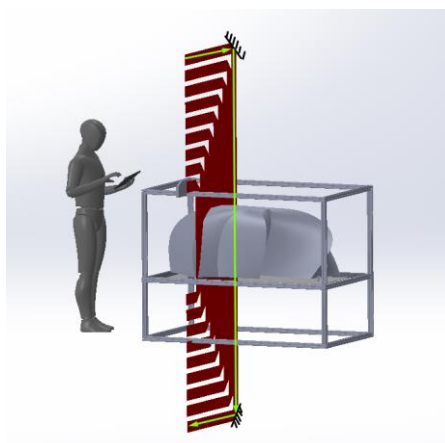
Sele 2.9 Toode 2 mudel

See piltide kogumik õmmeldakse tarkvara poolt kokku ning saadakse üks massiivne pilt. Kollaaži resolutsioon on sama mis ühe pildi resolutsioon. Eelised mitme läätsega lahenduse ees on oluliselt madalam kulu, sest kasutatakse 34 läätse vähem. Sellise meetodiga ei teki ka pimedaid alasid, mis tähendab, et terve objekt saab suure täpsusega üles pildistatud. Miinuseks on aga liikuvad osad, mille kulumisega peab arvestama. Kuna läätse ja valgusti paar liigub siis tähendab see ka olulisemalt pikemat tööaeg kui oleks mitme kaameraga süsteemil. Lisaks võib liikumisel tekkiv vibratsioon pildi tegemist häirida.

Kuna häirimata vaatevälja saamiseks peavad teletsentriline valgustus ja teletsentriline lääts väga täpselt paigas olema siis võib väikseimgi vibratsioon pildi tegemist segada. Sellise lahenduse puhul peab kindlaks tegema, et kaamera on jõudnud täielikult seisma jääda, enne kui pilt tehakse ning, et masina töökeskkonnas ei oleks liigseid vibratsioone. Ühe läätse hind on 11075 € [8], seega selle masina läätsede hinnaks kujuneb 22150 €

### 2.3.3 Mikromeeter laserkardin

Mikromeeter laserkardina lahenduses kasutatakse 9 mikromeeter laserkardinat, 18 peeglit, alumiiniumraami ja läbipaistvat klaasi. Laserid on liikuvad siinil kliendi detaili kohal. Neli laserit on asetatud ühele ning 4 laserit teisele poole. Vastuvõtjad on samasuguse asetusega aga allpool detaili. Laserkardina kiired suunatakse peeglitega üheks laiaks kardinaks ning toote all uuesti üheksaks erinevaks kiireks. Laserid ja peeglid liiguvad samaaegselt ühest masina otsast teise skaneerides seejuures terve kliendi detaili.



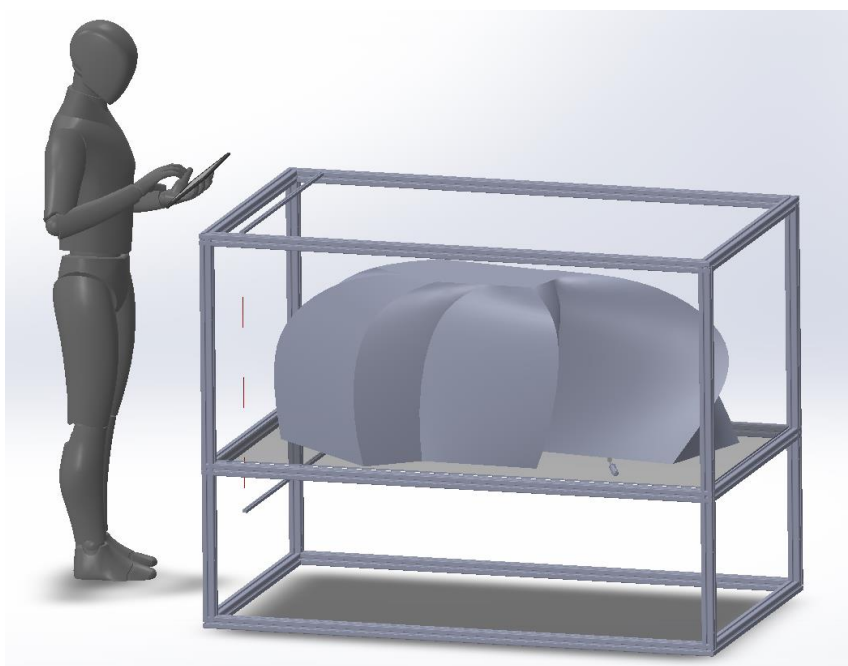
Sele 2.10 Toode 3 mudel

Individuaalne laserkardin mõõdab selle kiire väljas oleva detaili laiust. Seega kui mitmest sensorist tekitada üks kardin saab äärmiste sensorite ja liitmistehtega leida detaili laiuse kogu detaili ulatuses. Selle lahenduse plussideks on väga suur täpsus tänu sensorite kõrgele resolutsioonile. Miinuseks on lõpliku toote kõrgus mis tuleneb sensorite kujust. Lisaks on vaja 18 peeglit väga täpselt seadistada ja kogu peeglite ja sensorite jada on üks suur liikuv mehhanism. See tekitab masinates kulumist ning peenseadistatud peeglite nihkumist.

Micro-Epsiloni käest ei õnnestunud antud magistritöö käigus hinnapakumist saada aga vanema ja väiksema sensori hind on Ebay keskkonnas olnud 1942€ [13]. See lubab eeldada, et uue emitteri ja sensori hind võib jääda 6000€ suurusjärku. See teeks kogu lahenduse sensorite hinnaks 54000€.

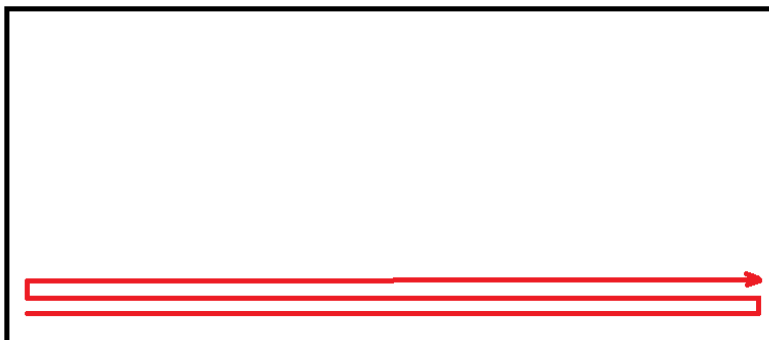
### **2.3.4 Sakina liikuv laserite ja sensorite jada**

Liikuvate emitterite ja ressiiverite jada lahenduse põhimõte seisneb selles, et on võimalik kasutada üksikuid lasereid ja valgussensoreid ning ehitada neist kardin. See lahendus kasutab 243 laseremitterit ja ressiiverit, alumiiniumraami ja läbipaistvat klaasi.



Sele 2.12 Toode 4 mudel

Tulenevalt ühe laserdiodi dimensioonidest on sellise kardina resolutsioon 3.3 millimeetrit. Selle vähendamiseks liigutatakse laserkardinat mitte ainult ühest masina servast teise vaid ka risti sellele teljega edasi tagasi. Ühe laseri liikumine on näidatud seel 2.9. Kogu laserkardin kasutab sama käiku ning tulemusena saadakse resolutsiooniks 0,5 mm.



Sele 2.11 Ühe laserdiodi käik

Rakendades sellist kombineeritud liikumist saab resolutsiooni viia nii väikeseks, kui on ühe laserkiire laius. Sensori väljundiks on kas kõrgem või madalam pingesignaali. Spetsiaalselt kirjutatud tarkvara abil saaks nii kliendi detaili kontuurid kaardistada ja sellest joonise luua. Sellise lahenduse suurimaks plussiks on madal hind. Miinuseks on aga liikuv mehhanism ning spetsiaalse tarkvara arendamine võib osutuda keeruliseks.

Teine viis resolutsiooni suuremaks saada on kasutada valguskaablit. Kuna valguskaabli diameeter on väga väikene saaks need terve detaili laiuses ritta panna. Ühe Keyence FU-58 valguskaabli diameeter on 1 mm ning see tähendaks, et kui neid 800 tükki ritta panna oleks võimalik mitte 0,5 mm resolutsiooni nõudvaid objekte mõõta ainult ühe liikumisega [12]. Maksimaalset resolutsiooni nõudvate toodete varjujoone saaks kaardistada ainult 2 liikumisega.

### 2.3.5 Hindamismatriks

Hindamismatriksis on toodud kõikide toodete teatud parameetrid. Iga kategooria parim tulemus annab 1 punkti ning mittesobivad parameetrid annavad -1 punkti. Kategooria parim tulemus on märgitud roheline taustaga ning mittesobivad parameetrid oranži taustaga (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Hindamismatriks

	Toode 1	Toode 2	Toode 3	Toode 4
Eeldatav maksumus	398 700€	22 150€	54 000€	18 640€
Töö aeg	1 min	5 min	3 min	2 min
Täpsus	13 mm(pime ala)	3,45 µm	1 µm	0,5 mm
Toote suurus (1-5)	2	4	1	5
Töökindlus (liikuvad osad) (1-5)	5	3	4	4
Punktid	0	0	1	2

## 2.4 Lõpliku lahenduse valik

Valitud lahenduseks osutus toode 4, laserite ja sensorite jada ehk laserkardin. Sellise lahenduse eelisteks olid madalaim hind ja kompaktseim toote suurus. Ka kõik teised parameetrid olid piisavalt head ning vastasid tingimustele. Sellest lahendusest parem tööaeg oli ainult ühel lahendusel. Täpsus on vastab samuti ette antud 0,5 mm resolutsioonile ning töökindlus on ka hea.

Selle lahenduse kahest variandist; 800 kõrvuti olevat valguskaablit, kus 800 laserit on viidud eraldi karpi või 242 kõrvuti olevat laserit valiti välja lahendus kus kasutatakse 200 kõrvuti olevat laserit ning tehakse 8 käiku edasi ning 4 käiku tagasi. Otsus tulenes arvestades toote koostamist, hooldust, tööaega ja hinda. Kasutades 200 laserit ei pea lasereid viima eraldi karpi ning kasutama kiire juhtimiseks valguskaablit vaid saab laserid otse skanneri külge kinnitada.

See vähendab seadme kulu märgatavalt, sest laserkiirte juures ei pea kasutama valguskaableid. Ka seadme koostamine ning hooldamine on lihtsam, sest 800 või 243 laseri asemel kasutatakse ainult 200. Tänu sellele, ei ole hooldusest tingitud tööseisakud



nii pikad ning produktiivsus on suurem. Küll aga on valguskaabli kasutamine vajalik sensorite ees. Tulenevalt sensoriteks kasutatavate fototakistite eripärast on vajalik, et neile ei paistaks ruumist pärit muu valgus. Selle jaoks on fototakistid viidud eraldi pimedasse karpis kus ainuke valgus mis fototakistini pääseb on valguskaablit läbiv laserkiir.

## 2.5 Järeldused

Lahenduse tehnoloogia valikul analüüsiti nelja erinevat võimalus:

Lahendus 1 - Teletsentrilised läätsed ja kaamera

Lahendus 2 - Liikuv teletsentriline lääts

Lahendus 3 - Mikromeeter laserkardin

Lahendus 4 - Liikuv laserite ja sensorite jada

Esimese lahenduse puhul sai määravaks teletsentriliste läätsede hind, kus üks lääts maksis üle 11700€ euro. Lahendusse oli neid planeeritud 36 tk. Selle lahenduse suurimaks plussiks oli see, et ühtegi liikuvad osa ei olnud aga läätsede kallidus ning läätsede vahele jääv pime ala ei kaalunud positiivseid külgi üle.

Teise lahenduse tugev küljed olid suur täpsus ning odavam hind. Suur tööaeg ning liikuva läätsede puhul lihtsasti paigast minev läätsede joendus aga ei olnud sobiv. Suur töö aeg tuleneb sellest, et kui esimeses lahenduses tehti kõik pildid ühe korraga siis antud lahenduses, peab üks lääts liikuma õigesse positsiooni, jääme täielikult paigale ning alles siis saab pildi teha. Sellised pilte tuleks teha orienteeruvalt 40.

Kolmanda lahenduse kõige suurem mure oli peeglite õigesse asendisse seadistamine ning nende paigal püsimise tagamine. Kuna antud sensorite kuju nõudis laserkiire suunamiseks peeglite kasutust ning iga kiir peab jõudma sensoril täpselt õigesse kohta siis liikumisest tekkiv vibratsioon raputab neid peegleid ning võivad tekkida suured vead. Kõige halvemal juhul võivad töö käigus peeglid jäädavalt oma positsioonilt nihkuda ning masinat peaks uuesti häälestama.

Viimase variandi tugevaim külj oli madal hind ning liikuvatest lahendusest on see ka kõige töökindlam. Laserkiirte paksusest tulenevalt on sellise lahenduse eraldusvõimeks 0,5 mm mis on täpselt nõutud kriteeriumile vastav. Lahenduse teiseks eeliseks on

kompaktsus. Antud toode mahub kenasti kliendi tootmisruumi. Tulenevalt sellest, et laserdioode ja vastuvõtjad on kerge kinnitada ja paigal hoida on ka selle masina töökiirus liikuvatest lahendustest suurim.

Neid asjaolusid arvestades osutus lahendus 4 ehk liikuv laserite ja sensorite jada lõplikuks valikuks.

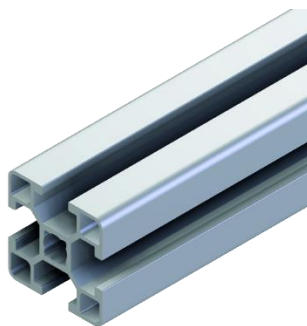
## 3 TOOTE PROJEKTEERIMINE

### 3.1 Komponentid

#### 3.1.1 Alumiiniumprofiilidest raam

Seadme raam on võimalik luua erinevatest materjalides nagu puit, teras või alumiinium. Puidu külge on küll võimalik erinevaid lahendusi lihtsasti kinnitada kuid täispuidust raam oleks liiga raske. Teine võimalus oleks kasutada terasest nelikanttoru. Sellise toru miinusteks on aga, et õhukese seina puhul on toru läbipaine suur, paksu seina puhul on toru mass liiga suur ning ka erinevaid lahendusi sinna kinnitada on raske. Parim valik on seega alumiiniumprofiil mis täna materjalile ja läbilõike kujule on samal ajal kerge ja tugev.

Seadme raamiks valiti Alas-Kuul AS pakutav alumiiniumprofiil Saksamaa firmalt MiniTec. Selle tootja profiilid osutusid valituks, sest neil on Eesti maaletooja mis garanteerib suure valiku, hea kättesaadavuse ja vajadusel klienditoe. Profiiliks sai valitud 45x45 [14] profiil, sest kuigi 30x30 profiili jooksev meeter on odavam siis kõige suurem valik lisatooteid on 45x45 profiilile. Väiksema küljepikkusega profiil on pigem sobilik hästi väikesteks projektideks kus on vaja ainult raami. Kui on aga vaja raami külge ka erinevaid liideseid siis tuleb valida enamlevinud ehk 45x45 profiil(Sele 3.1).



Sele 3.1 MiniTec alumiiniumprofiil 45 x45 mm [14].

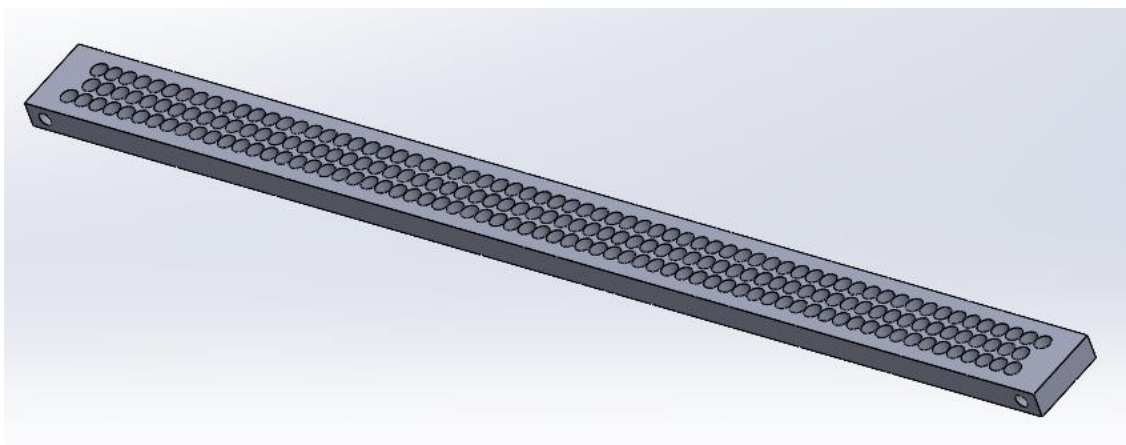
### 3.1.2 Laserdiodid

Laserdiodi valikul oli oluline diodi suuruse ja hinna suhe. Diodi läbimõõt on oluline, sest sõltuvalt lahendusest on vaja diodid panna, kas kõrvuti skanneri osa külge ritta või eraldi laserite karpi. Mõlemal juhul on oluline, et toode oleks võimalikult väike. Parimaks valikuks osutusid hulgimüügil olevad 6 mm läbimõõduga laserdiodid [15]. Nende laserkiire laiuseks on 0,5mm mis sobib täpselt anud töö nõudmistega(Sele 3.2).



Sele 3.2 Laserdiodid [15].

Sellise diameetriga diodid on võimalik asetada masina külge nii, et iga laserkiire vahe mõõdetava objekti laiuse sihis on 1,5 mm, mis tähendab, et iga laserkiire vahele jääb täpselt kolme laserkiire laius. See võimaldab skanneri käigu programmeerida nii, et nelja edaspidise ja nelja tagasi käiguga saavutatakse mõõtmise resolutsioon 0,5 mm(Sele 3.3).

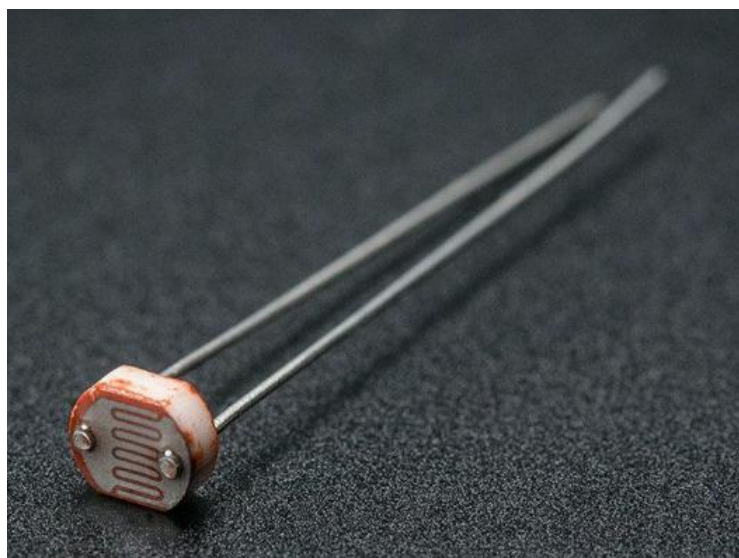


Sele 3.3 Laserite kinnitus

### 3.1.3 Valgussensor

Valgussensori valikul oli kaks varianti. Esimene neist oli kasutada fotoelektrilist lülitit mis on aktiivkomponent. Selle valiku miinusteks oli esiteks nende suured mõõtmed. Väiksemad neist algasid 26 mm laiustest [16].

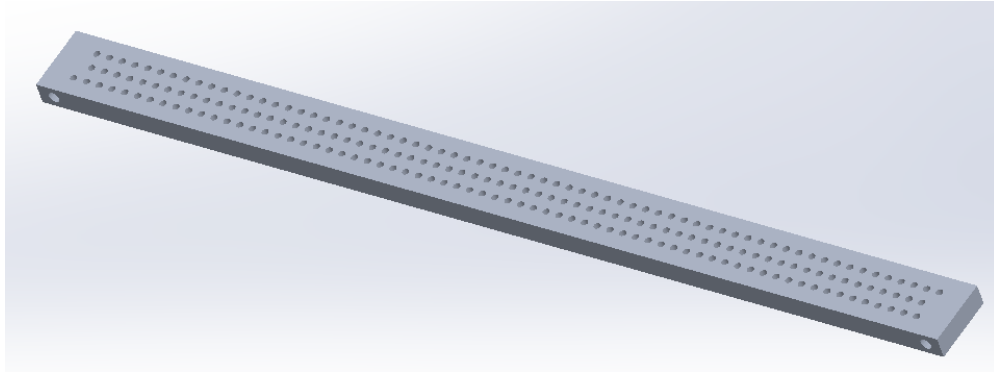
Seega valituks osutus teine lahendus milleks on fototakisti. Tegu on lihtsa passiivlemendiga mis võimaldab kasutada laserit ja fototakistit koos kui elementi mis registreerib lasersignaali katkemist(Sele 3.4) [17]. Sellise sensori kasutamisel peab see sensor pimedas olema. Seetõttu projekteeriti neile eraldi karp. Laserite edastatavat valgussignaali võtavad vastu valguskaablid mis on kinnitatud M3 keermega sensorite hoidiku külge(Sele 3.5).



Sele 3.4 Fototakisti [18].

Selle sensori plussideks on:

- Väline diameeter 5 mm;
- tegu on passiivlemendiga, mis tähendab, et see ei vaja eraldi toiteallikat;
- tegu on hulgitootega mille ostuhind on 0,893 € [18].



Sele 3.5 Valgussensorite valguskaablite kinnitusplaat.

### 3.1.4 Mootor

Mootoriks valiti servomootor, sest valitud varjujoone skanneri lahenduses on vaja väga täpselt igal ajahetkel teada mis asendis tööelement parasjagu on. Servomootoritel on sisse ehitatud enkooder mis lubab väga suure täpsusega mootori positsiooni teada. Spetsiifilise toote valikul peeti silmas mootori võimsust ja, et toode oleks Eesti kättesaadav. Hinna tõttu ostus valituks nõuetele vastav Delta Energetics pakutav servomootor ECMA-C20604RS [19] ja selle võimendi ASD-B2-0421-B [20](Sele 3.6). Servomootori võimsuseks on 400W, kinnituse küljepikkusteks 60 mm ja võlli diameetriks 14 mm. See tähendab, et servomootor on piisavalt väikest mõõtu ja sobib ka oma võlli diameetriga MiniTec 45x90 LR6 lineaarsüsteemi külge.



Sele 3.6 Servomootor ja servomootori võimendi [19], [20].

### 3.1.5 Klaas

Klaasi valikul lähtuti seatud tingimustest, et tegu peab olema karastatud klaasiga, see peab olema läbipaistev ning toode võiks olla Eestist kättesaadav. Skaneeritavatest toodetest ja varjujoone seadme mõõtmetest tulenevalt on klaasi mõõtmeteks 1610x910x5 mm.

### 3.1.6 Valguskaabel

Masina projekteerimisel selgus, et valguskaablid on vajalikud ainult skaneerimise koostu alumises osas ehk fototakistite juures. Seadme projekteerimise käigus otsustati, et laserite ja fototakistite paare on ainult 200, see eemaldab vajaduse kasuta kõige peenema, ehk 1 mm läbimõõduga, valguskaableid. Sellest tulenevalt ostus valitus Keyence valguskaabel FU-79U [21].

Selle kaabli positiivsed küljed on see, et tänu selle valguskaabli optilise tuuma lahendusele on selle kaabli painutusraadius ainult 2 mm, seda kaablit on lubatud vastavalt soovitud pikkusele ise lõigata ja komplektis tuleva mõlema kaabli otsas on 3M keere(Sele 3.7). See tähendab, et sellel kaablil ei jää kuskile üleliigset lõtku ning kaabli otsa saab keerata otse sensorite kinnituse plaadi pesadesse. Lisaks on igas komplektis kaks kaablit, millest üks on mõõdetud saatja ja teine vastuvõtja poolsesse otsa. Kuna need kaablid on ühesugused siis saame mõlemat kasutada fototakistite jaoks ning kaabli ostukogus väheneb 200 pealt 100 peale.



Sele 3.7 FU-70U valguskaablite otsad [21].

### 3.1.7 PLC

Seadmel on vaja PLC-d mis koordineerib kõigi kolme servomootori tööd. PLC-d programmeerides kirjutatakse masinale töökood mis määrab millal, kuidas ja kui

kaugele servomootorid liikuvaid koostu osi liigutavad. PLC-sse jõuavad ka fototakistite takistused mille kontrolleri koos servomootori asukoha infoga tõlgendab varjujoone punktipleks.

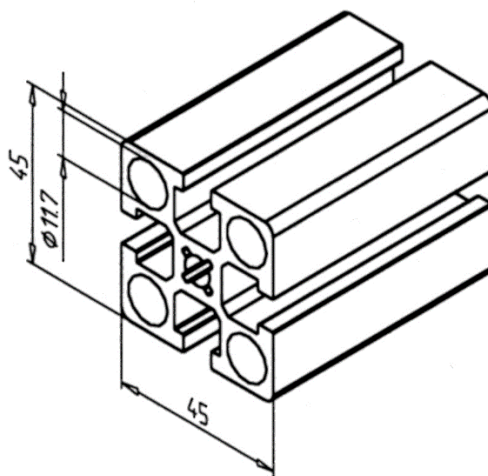
## 3.2 Modelleerimine

Kogu seadme modelleerimine teostati programmis *SolidWorks 2021 Student Edition*. Selles alapeatükis on välja toodud modelleerimise tähtsaimad sõlmed ja lahti kirjutatud nende modelleerimise käik ning töö käigus tekkinud probleemid ja lahendused.

### 3.2.1 Raami loomine

Modelleerimist alustati raami kesktelje joonestamisest kasutades programmi funktsiooni *3D sketch*. Esialgset telgede kaugused pandi paika lähteülesandest tulenevatest nõuetest mis on määratud mõõdistavate toodete gabariitideks. Neid mõõte pidi edasise projekteerimise käigus mitmeid kordi muutma.

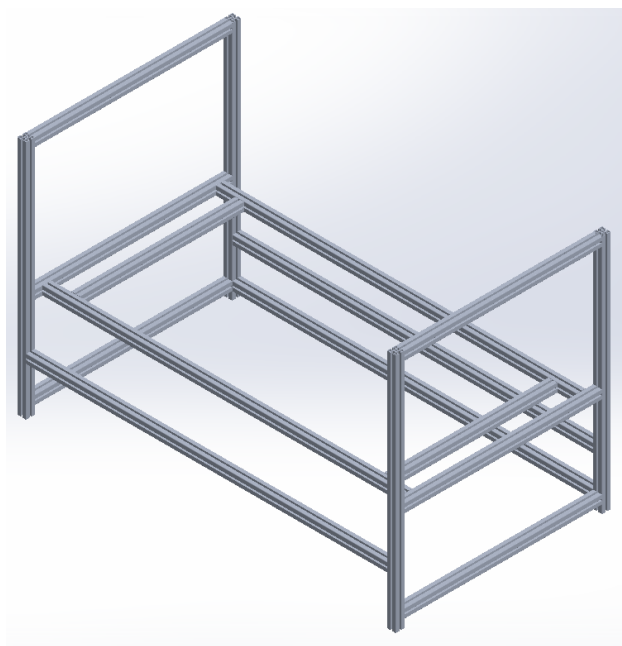
Joontest reaalse raami saamiseks kasutati funktsiooni *weldments* ja *structural member*. Selle funktsiooni kasutamiseks imporditi MiniTec kodulehelt nende 45x45 alumiiniumprofili läbilõike joonis(Sele 3.8) [14].



Sele 3.8 MiniTec 45x45 profiili läbilõike mõõdud [14].



Selle tulemusena saadi projekteerimise käigus lõpliku raami koost kuhu hakati järgmisi komponente juurde lisama(Sele 3.9).

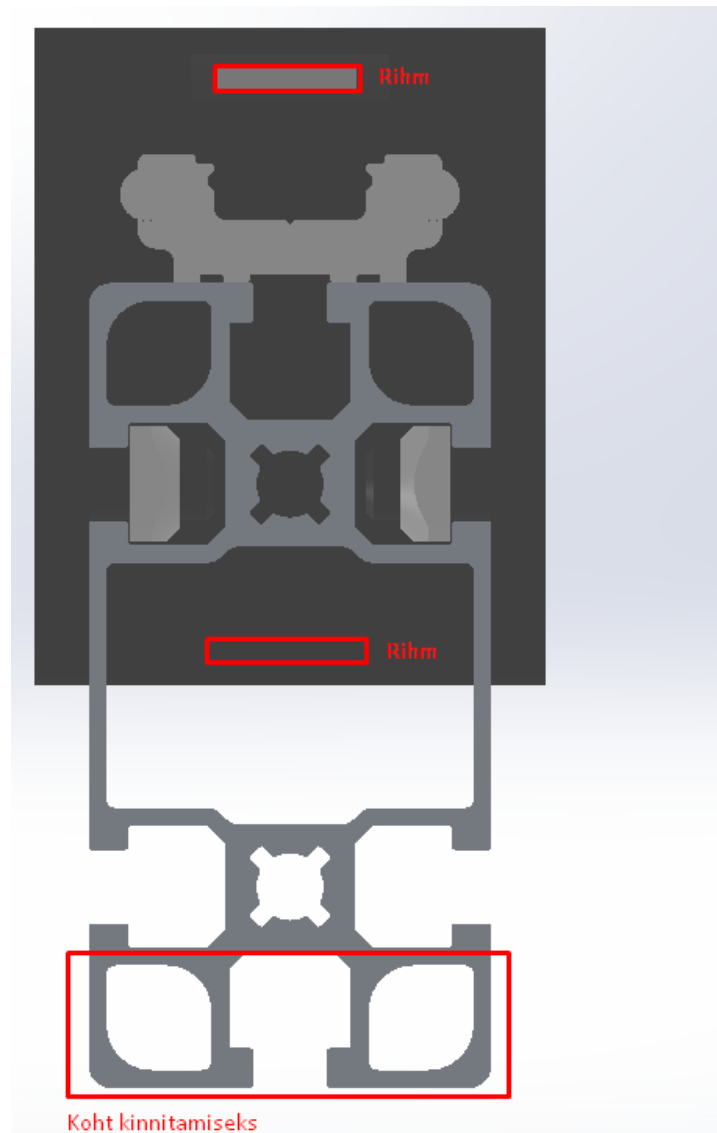


Sele 3.9 Lõplik raami koost.

Raami geometria valikul peeti silmas hilisema koostamise lihtsust. Raami projekteerimisel üritati alumiiniumprofiilide arv viia minimaalseks ning kasutati ainult täisnurki.

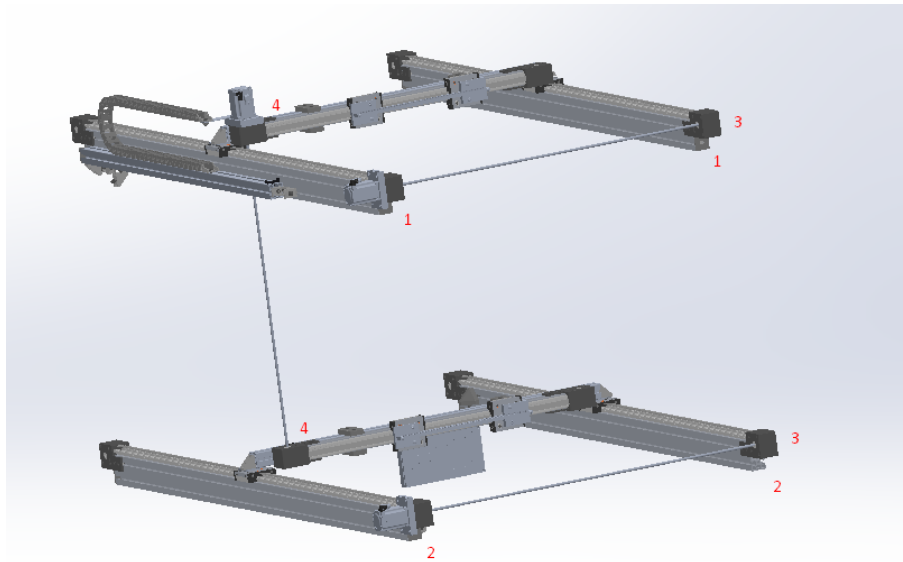
### **3.2.2 Lineaar komponentide integreerimine**

Järgmine tähtsaim sõlm on lineaarliikumise komponendid ehk see osa seadmest mis tagab seadmele skaneerimiseks vajaliku liikumise. Algselt oli planeeritud kasutada ainult MiniTec 45x45 LR6 süsteemi kuid konsulteerides Alas-Kuuli müügiinseneri Imre Kähaga selgus targem on enamasti kasutada hoopis 45x90 profiilil põhinevad LR6 süsteemi. Nende kahe süsteemi oluline erinevus on see, et 45x45 süsteemil liigub rihm profiili ühel küljel. Seega kui panna selle profiili süsteem asendisse kus kelk on üles poole ei ole võimalik seda süsteemi alt poolt kinnitada. Kui aga kasutada 45x90 profiilil põhinevat süsteem jookseb rihm profiili keskel ning süsteemi saab alt poolt kinnitada(Sele 3.10).



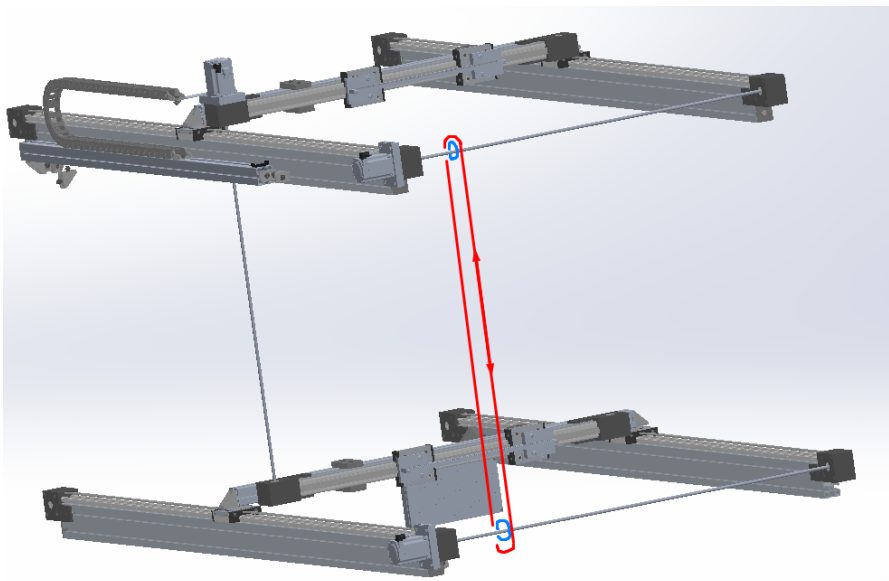
Sele 3.10 45x90 profiili läbilõikes kinnitamise võimaluse illustratsioon.

Kuna seadmes on 4 paari lineaarsüsteeme mis peavad liikuma täpselt paralleelselt oli vaja need süsteemide paarid kuidagi ühendada. Paaride 1-1, 2-2 ja 4-4 ühendused loodi mehhaaniliselt võllide abil (Sele 3.11). See oli nende paaride jaoks hea lahendus, sest ei teki momente mis neid võlle väänaksid. Kui aga paari 3-3 sünkroniseerimiseks kasutada 4-4 paari ühendavat võlli siis seal tekiks moment mis väänaks antud võlli.



Sele 3.11 Lineaarsüsteemide paarid

Teine mõtte paari 3-3 sünkroniseerimiseks oli 1-1 ja 2-2 paari vaheliste völli külge panna hammasrattad ja need siduda kas rihm- või kettülekandega(Sele 3.12). Rihmülekanne on kettülekandest täpsem aga rihm venib ajapikku välja. Kettülekanne ei ole nii täpne aga keti välja venimise pärast muretsema ei pea.

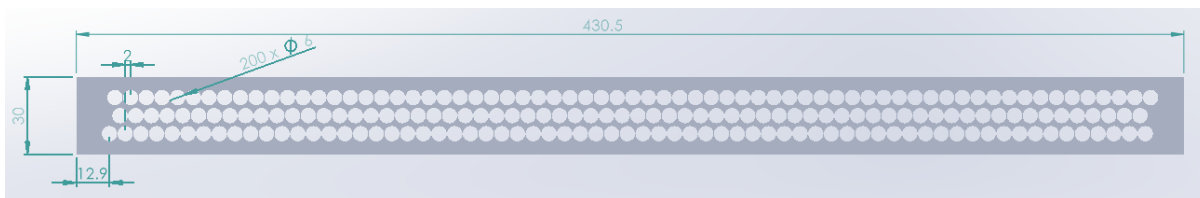


Sele 3.12 Rihm- või kettülekande illustratsioon.

Kuna mõlemal ülekandel on arvestatavad negatiivsed küljed ja ka keti ja rihma pingutamine on sellise lahenduse puhul keeruline otsustati kasutada ka paari 2-2 juhtimiseks servomootorit.

### 3.2.3 Laserhoidiku projekteerimine

Esialgne idee laserite hoidmise plaadi projekteerimisel oli kasutada 1 mm läbimõõduga valguskaableid, et panna funktsionaalselt 800 laserit kõrvuti. Hiljem aga otsustati, et 800 laserit, 800 fototakistit ning 1600 valguskaablit on seadme koostamisel, kalibreerimisel ja hooldamisel liiga tülikas. Seega vähendati laserdiodide arv 200 peale(Sele 3.13). See võimaldas laserdiodid otse hoidiku külge kinnitada.

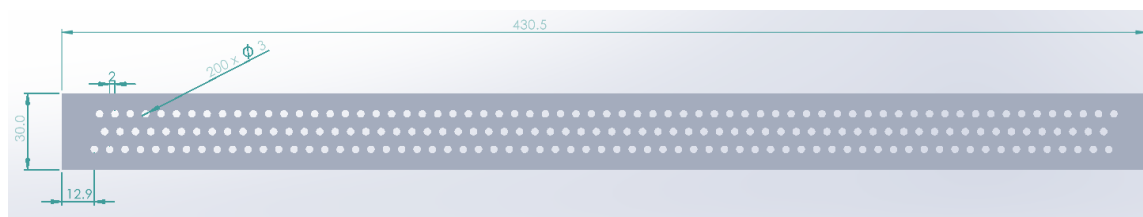


Sele 3.13 Laserite hoidiku mõõtmed.

Tulenevalt laserdiodi läbimõõdust on ava läbimõõt 6 mm. Iga laserkiire kaugus keskpunktist keskpunktini detaili pikima külje suhtes on 2 mm. Laserkiire enda diameeter on 0,5 mm, seega laserikiire servast laserikiire servani on 1,5 mm. See tähendab, et kui see 200-st laserist koosnev skanner liigub 0,5 mm küljele sammuga 2 korda edasi ja 2 korda tagasi kaetakse täpselt 400x1500 mm ala. Siis liigub kogu Skaneerija pea 400 mm võrra kõrvale ja korratakse täpselt samad 4 käiku. Selline käik kus skanner liigub kokku 4 korda edasi ja 4 korda tagasi tagab, et mõõdetakse 0,5 mm resolutsiooniga 1500x800 mm ala.

### 3.2.4 Sensorite hoidiku projekteerimine

Sensorite hoidiku projekteerimine läks peale laserite hoidiku valmimist väga kiirelt. Kuna valguskaablid, mis võtavad vastu laserite edastatavat signaali, peavad olema täpselt kohakuti ja risti laserkiirtega siis sensorite hoidik tuleb teha sama suur kui laserite hoidik. Lisaks peavad kõikide aukude teljed ühtima(Sele 3.14).

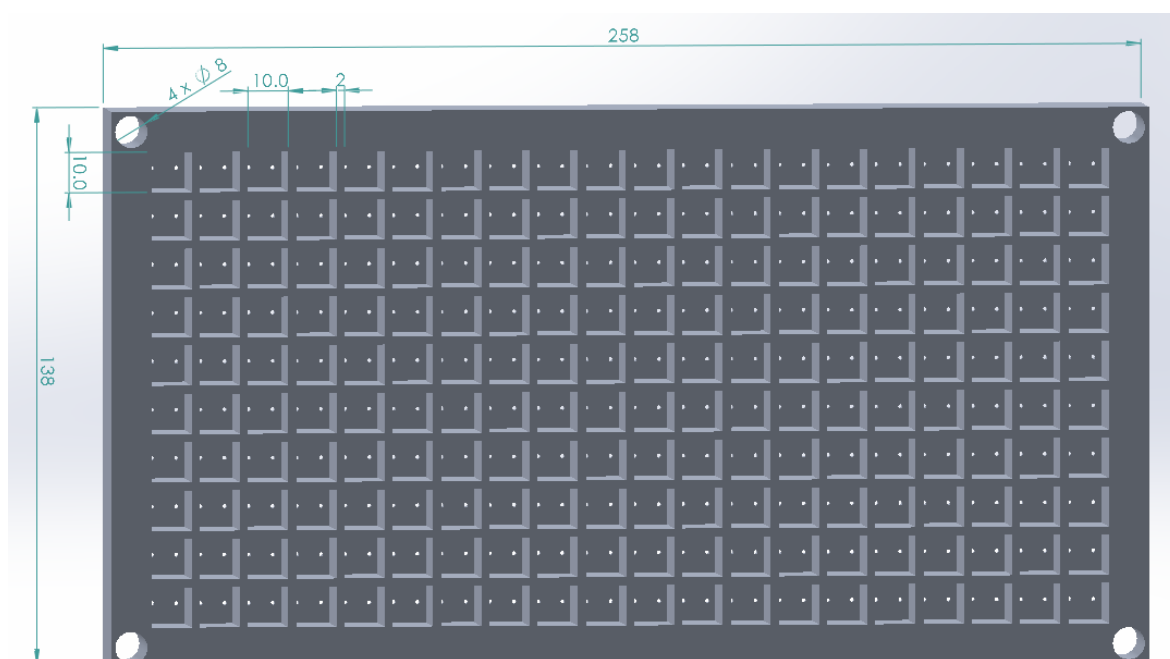


Sele 3.14 Sensorite hoidiku mõõtmed.

Ainuke erinevus laserite ja sensorite hoidiku vahel on, et sensorite hoidiku augud on 3 mm diameetriga ja M3 keermega, et hoiustada Keyence FU-79U valguskaableid mille pea on ka M3 keermega.

### 3.2.5 Sensorite karbi projekteerimine

Sensorite kasutusel olevate fototakistite puhul on oluline, et need oleksid pimedas ruumis kus ainukeseks valgusallikaks on valguskaablist tulev laserkiir. Selle jaoks on fototakistite jaoks projekteeritud eraldi karp(Sele 3.15).



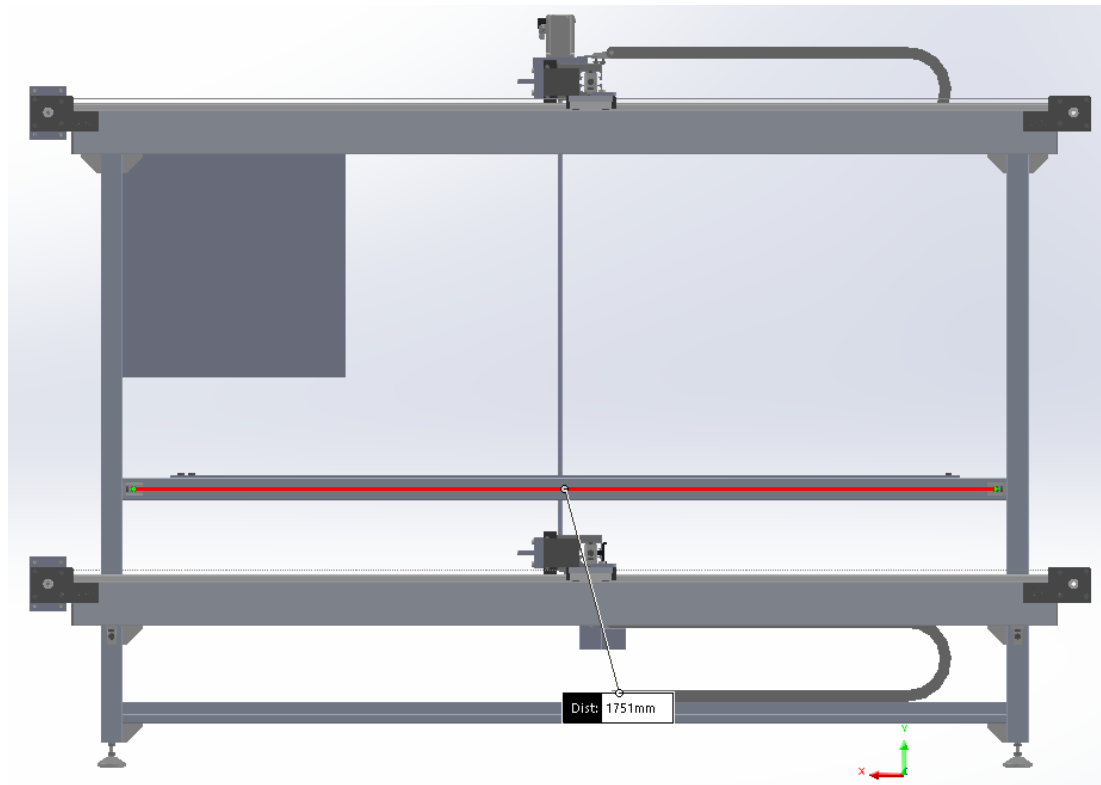
Sele 3.15 Sensorite karbi põhiosa mõõtmed

Karbi põhiosas on 200 aukus kus igasse on paigutatud 1 fototakisti. Karbi tagumisse seinas on 6 mm vahega tehtud kaks 1 mm läbimõõduga ava kust fototakisti jalad välja tuua. Sinna on ühendatud juhtmed mis koonduvad kaablisse ning liiguvad edasi elektrikappi. Sensorite karbi kaanes on iga sensori ette projekteeritud 1 mm läbimõõduga auk kuhu saab kinnitada valguskaabli väljundotsa. Selline lahendus garanteerib, et fototakisti takistuse erinevused hetkedel kus laser paistab või ei paista peale on mitme suurusjärgu võrra erinevad ning programm suudab kergesti tõlkida kas signaal on või ei ole. See võimaldab seadmel luua kliendi tootest punktipilve, et sellest luua varjujoon.

## 3.3 Insenertehnilised arvutused

### 3.3.1 Maksimaalse painde leidmine


Leiame 45x45 MiniTec alumiiniumprofili läbipainde olukorras kus maksimaalselt raske objekt asetatakse terava servaga toote pikimale profiilile (Sele 3.16).



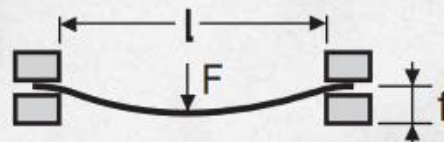
Sele 3.16 Profiil kus arvutatakse paine.

Olukord kus arvutame painet on selline, et alumiiniumprofiil on kinnitatud kahest servast ühest kohast. Esemel mis sinna sattuda võib tuletatakse olukorrast mis võib realselt ette tulla. Kaks inimest jaksavad väikese vaevaga tõsta 80 kg objekti. Et leida kõige suurem võimalik paine tasakaalustatakse see objekt terava nurgaga kogu raskusega pikima profiili keskele. Sellises olukorras on meil punktmass 80kg latil pikkusega 1751 mm. Olukordade joonised ja valemid on välja toodud Selet 3.17.

### Example 2


$$f = \frac{F \times L^3}{E \times I \times 48 \times 10^4} = 2,7 \text{ mm}$$

### Example 3


$$f = \frac{F \times L^3}{E \times I \times 192 \times 10^4} = 0,67 \text{ mm}$$

Sele 3.17 Arvutusvalemid MiniTec 45x45 profiilidele [22].

Painde arvutamiseks kasutame järgnevaid valemmeid ja andmeid:

$$f = \frac{F \times L^3}{E \times I \times 48 \times 10^4}, \quad (3.1) [23]$$

kus  $f$  – paindumine, mm,  
 $F$  – jõud, N,  
 $L$  – profiili pikkus, mm,  
 $E$  – elastsusmoodul,  $\frac{N}{mm^2}$ ,  
 $I$  – inertsimoment  $cm^4$ .

$$F = m \times g, \quad (3.2)$$

kus  $F$  – jõud, N,  
 $m$  – mass, kg,  
 $g$  – raskuskiirendus,  $\frac{m}{s^2}$ .

$$m = 80 \text{ kg}$$

$$g = 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$F = m \times g = 80 \times 9,8 = 784 \text{ N}$$

$$F = 784 \text{ N}$$

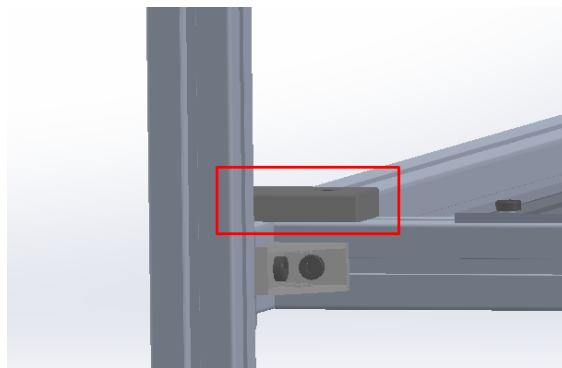
$$L = 1751 \text{ mm}$$

$$E = 70000 \frac{N}{mm}$$

$$I = 30,4 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{F \times L^3}{E \times I \times 48 \times 10^4} = \frac{784 \times 1751^3}{70000 \times 30,4 \times 48 \times 10000} = 12,04 \text{ mm}$$

Siit selgub, et sellises olukorras on läbipaine 12,04 mm. See on liiga palju. Lisame sellel profiilil kaks kinnitust ka kohale, et saaksime kasutada sellel 3.5 välja toodud teist valemit (Sele 3.18).



Sele 3.18 Profiilile lisatud kinnitus.

Arvutame uuesti profiili painde:

$$f = \frac{F \times L^3}{E \times I \times 192 \times 10^4} \quad (3.3) [23]$$

kus  $f$  – paindumine, mm,  
 $F$  – jõud, N,  
 $L$  – profiili pikkus, mm,  
 $E$  – elastsusmoodul,  $\frac{N}{mm}$ ,  
 $I$  – inertsimoment  $cm^4$ .

$$F = m \times g, \quad (3.2)$$

kus  $F$  – jõud, N,  
 $m$  – mass, kg,  
 $g$  – raskuskiirendus,  $\frac{m}{s^2}$ .

$$m = 80 \text{ kg}$$



$$g = 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$F = m \times g = 80 \times 9,8 = 784 \text{ N}$$

$$F = 784 \text{ N}$$

$$L = 1751 \text{ mm}$$


$$E = 70000 \frac{N}{mm}$$

$$I = 30,4 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{F \times L^3}{E \times I \times 192 \times 10^4} = \frac{784 \times 1751^3}{70000 \times 30,4 \times 192 \times 10000} = 3,01 \text{ mm}$$

Uus leitud läbipaine on 3,01 mm. Kontrollime seda vastust MiniTeci enda leheküljel oleva väärtusega (Sele 3.19).


#### 🔗 CALCULATE DEFLECTION




**Profile 45 x 45**  
Artikel-Nr. 20.1006/0

Force in Newton


Length in mm



fx: 127.422 mm  
fy: 127.422 mm  
 $\sigma_x$ : 197.563 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_y$ : 197.563 N/mm<sup>2</sup>



fx: 7.869 mm  
fy: 7.869 mm  
 $\sigma_x$ : 49.391 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_y$ : 49.391 N/mm<sup>2</sup>



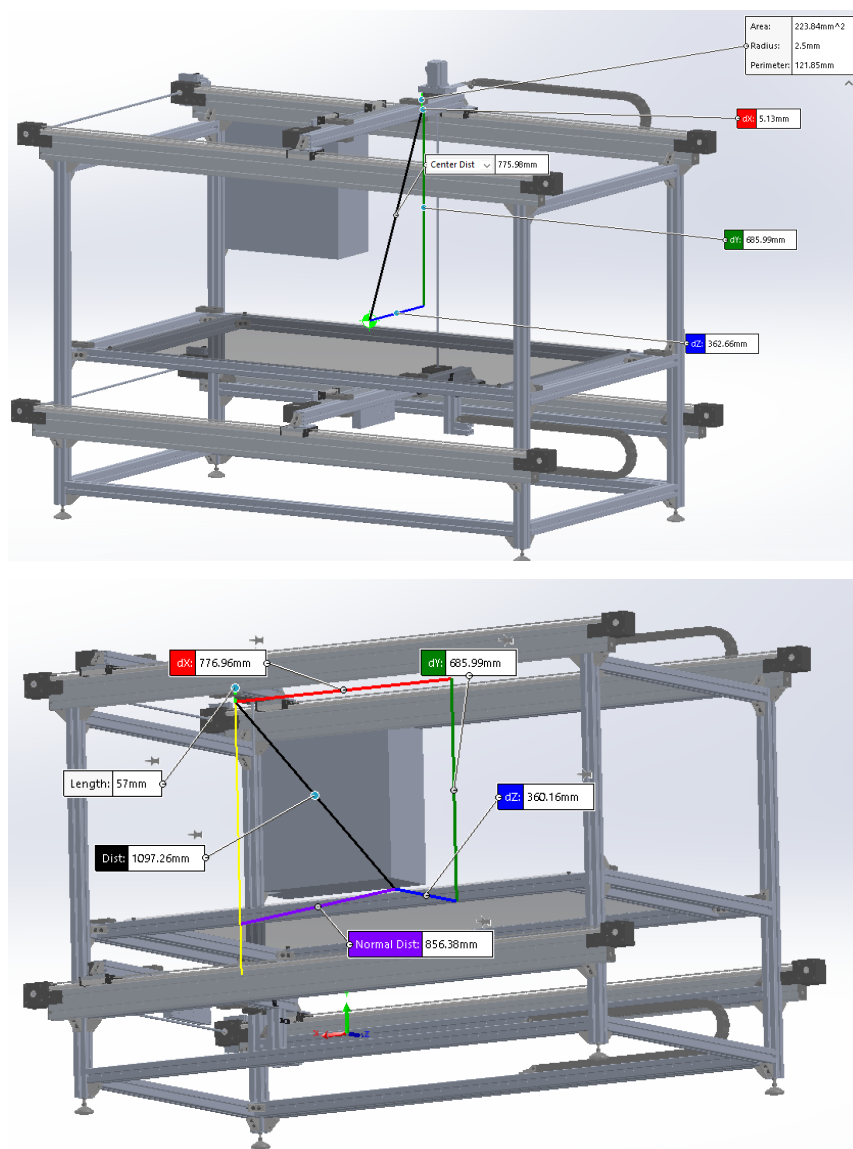
fx: 2.003 mm  
fy: 2.003 mm  
 $\sigma_x$ : 24.890 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_y$ : 24.890 N/mm<sup>2</sup>

Sele 3.19 MiniTeci koduleheküljel oleval painde kalkulaator [22].

Sisestades sama pikkuse ja massi MiniTeci kalkulaatorisse saadakse painde tulemuseks 2.003 mm. Seda millest vahe 1 mm tuleb ei oska selgitada kuid toote projekteerimisel arvestatakse suurema painde väärtusega ning läbipaistva valemiga arvutustulemust ehk 3.01 mm. Selline paindumine on lubatav ning selgub, et täiendavaid horisontaaltalasisid lisama ei pea.

### 3.3.2 Omavõnkesageduse leidmine

Kuna projekteeritud masinal on komponent mis liigub küljelt küljele siis peab leida kogu süsteemi mehhaanilise omavõnke sageduse. See aitab määrata kui kiiresti tohib skanneri ja sensori süsteemi liikuma panna nii, et kogu süsteem ei hakkaks jalgade peal resonanceerima ja võnkuma. Kui peaks juhtuma, et masin hakkab resonanceerides võnkuma siis võib laserite ja sensorite vaheline ühendus katkeda ja masin hakkab valesid andmeid väljastama. Selel 3.20 on välja toodud liikuva osa minimaalne ja maksimaalne kaugus seadme masskeskmest.



Sele 3.20 Minimaalne ja maksimaalne kaugus masskeskmest,

Selleks kasutame valemit:

$$f = \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{\frac{g}{L}}, \quad (3.5) [24]$$

kus  $f$  - omavõnkesagedus, Hz,  
 $g$  - raskuusiirendus,  $\frac{m}{s^2}$ ,  
 $L$  - kaugus masskeskmest, m.

Minimaalne kaugus masskeskmest:

$$g = 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$L = 0,78 \text{ m}$$

$$f_{min} = \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{\frac{g}{L}} = \frac{1}{2 \times 3,14} \times \sqrt{\frac{9,8}{0,78}} = 0,56 \text{ Hz}$$

Maksimaalne kaugus masskeskmest:

$$g = 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$L = 1,09 \text{ m}$$

$$f_{max} = \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{\frac{g}{L}} = \frac{1}{2 \times 3,14} \times \sqrt{\frac{9,8}{1,09}} = 0,49 \text{ Hz}$$

Leiame sageduste pöördväärtused, et leida ühe võnke pikkus sekundites.

$$t_{min} = \frac{1}{f_{min}} = \frac{1}{0,56} = 1,78 \text{ s}$$

$$t_{max} = \frac{1}{f_{max}} = \frac{1}{0,49} = 2,04 \text{ s}$$

Siit selgub, et koostu omavõnkesagedus on väike. See tähendab, et masina skanneri ja sensori süsteem ei tohi ühte küljele liikumist ehk võnget teha vahemikus 1,78 – 2,04 sekundit. Seda on lihtne vältida kui sellega PLC programmi kirjutades arvestada.

## 3.4 Majanduslikud arvutused

### 3.4.1 Detailide hind

#### 3.4.1.1 Minitec ostutooded

Tabel 3.1 MiniTec ostutoodete hinna tabel.

Komponent	Hind (€)	Kogus	Ühik	Kokku (€)
MiniTec 45x45 L=1802 x4	20,4	7,208	m	147,04
MiniTec 45x45 L=1200 x4	20,4	4,8	m	97,92
MiniTec 45x45 L=820 x2	20,4	1,64	m	33,45
MiniTec 45x45 L=1030 x2	20,4	2,06	m	42,024
MiniTec 45x45 L=1300	20,4	1,3	m	26,52
MiniTec 45x45 L=984 x4	20,4	3,936	m	78,87
MiniTec 45x90 L=1802	43,2	1,802	m	36,75
MiniTec LR6 45x90 L=845.5 x2	60	1,691	m	101,46
MiniTec LR6 45x90 L=1988 x4	60	7,952	m	477,12
MiniTec ühendusplaat	4,8	8	tk	38,4
MiniTec 25 GD-Z	3,6	66	tk	237,6
Võll D=8 L=1087	26,4	1,087	m	28,69
Võll D=8 L=1077	26,4	1,077	m	28,75
Võll D=8 L=1017	26,4	1,017	m	26,84
MiniTec Foot M08	12	4	tk	48
MiniTec End Cap	6	10	tk	60
MiniTec Mounting angle 45	7,2	4	tk	28,8
MiniTec juhtmete kinnitusklamber	3,6	4	tk	14,4
MiniTec energiaketi lüli	3	40	tk	120
MiniTec kruvid, poldid ja mutrid	0,6	30	tk	18
<b>Kokku</b>				<b>1790,64</b>

Alas-Kuulist hangitavate MiniTec ostutoodete hinnanguline maksumus on 1790.64€. Kõik hinnad sisaldavad käibemaksu 20%. Hindade leidmisel on võetud arvesse 2022 aasta novembri hindu ja arvestatud tarbijahinnaindeksi tõusu. Kuna hindade leidmisel on tehtud mõningaid eeldusi ning väärtused on mõeldud hindamaks hinna suurusjärku siis ümardatakse MiniTec ostutoodete hind 1800€ peale.

### 3.4.1.2 Muud ostutooted

Tabel 3.2 Muude ostutoodete hinnatabel.

Komponent	Hind (€)	Kogus	Ühik	Kokku (€)
Klaas 1610x910x5 [25]	145,57	1	tk	145,57
Servomootor ECMA-C20604RS 400W [19]	305	3	tk	915
Servo võimendi 400W ASD-B2-0421-B [20]	340	3	tk	1020
Keyence FU-79U valguskaabel [26]	14,93	100	tk	1493
Laserdiodid x20 [27]	8,69	5	tk	43,45
Fototakisti Adafruit 161 [28]	0,893	200	tk	178,6
Kaabel 3x2.5 mm <sup>2</sup>	1,09	30	m	32,7
PLC [29]	3800	1	tk	3800
<b>Kokku</b>				<b>7628,32</b>

Muude ostutoodete hinnatabelis on paari toote hinna teisendamisel kasutatud 19.05.2023 valuutakursse. Tabelis olevad hinnad sisaldavad käibemaksu 20% kuid ei sisalda transpordikulusid. Seega on kogumaksumus hinnanguline ja pigem illustreeriva väärtusega. Kogumaksumus on ümardusvigu ja tarnehindu arvestades ümardatud 8000€ peale.

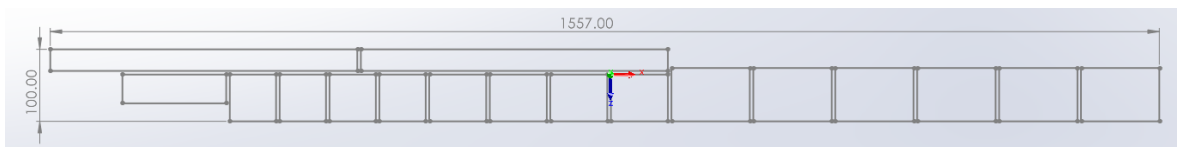
### 3.4.1.3 Eridetailid

Kuigi tootes enamus on ostudetailid siis on loodud ka mõned eridetailid. Need on loodud kohtadesse kus ei ole võimalik ostudetaile kasutada masina dimensioonide eripära tõttu.

Tootes olevad eridetailid on järgmised:

- Tugiplaat
- Laserite kinnitus
- Sensorite kinnitus
- Laserite kinnituse kinnitusplaat x4
- Servomootori kinnitusplaat x3
- Lineaarsüsteemi kinnitusplaat x3
- Ülemise energiaketi kinnitusplaat
- Elektrikapp
- Sensorite karp

Kõik plaadid freesitakse alumiiniumlatist, elektrikapp ja selle uks painutatakse 2 mm terase lehtmetsplaadist ning seejärel värvitakse. Uks kinnitatakse hingedega. Sensorite karp 3D prinditakse ABS plastikust. Kõik alumiiniumlati saab freesida ühest alumiiniumlatist suurusega 1577x100x20 mm (Sele 3.21) Veebipoe Metall24 kohaselt maksab selline alumiiniumlatt 155,45€ [30]. Freesimine teostatakse firmas 3D KODA ning arvestatakse, et failide ettevalmistus võtab 2h ja töötunde freesimiseks kulub 4h. See teeb töö hinnaks  $2 \times 30 \text{ €/h} + 4 \times 30 \text{ €/h} = 180 \text{ €}$  [31]. Elektrikapi kogumaksumus, mis sisaldab lõikamist, painutamist, keevitamist, värvimist ja hingesid, on firma MetEst Metall kohaselt 70€. Sensorite karbi 3D printimise hinnaks arvestatakse 50€. Selle kohaselt tuleb eridetailide koguhind:  $155,45 + 180 + 70 + 50 = 455,45 \text{ €}$ .



Sele 3.21 Vajamineva alumiiniumplaadi mõõtmed

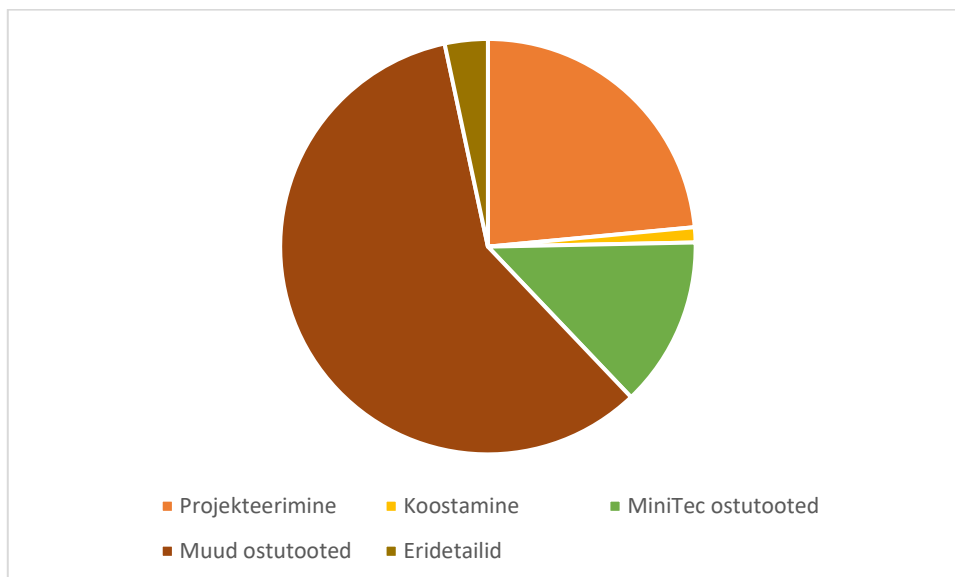
### 3.4.2 Omahind

Siin peatükis leitakse esimese prototüübi omahind. Esimene asi mida omahinna arvutamise puhul arvestatakse on projekteerija töötundide tasu. Toote projekteerimiseks läks täistöötundidel aega 4 nädalat. Igas nädalas tehti tööd viiel

päeval ja kaheksa tundi päevas. See teeb töötundideks  $5 \times 8 \times 4 = 160\text{h}$ . Projekteerimise tunnihinnaks arvestan magistriõpingutel oleva tudengi hinnaks 20€/h. See teeb projekteerimise kuluks  $160 \times 20 = 3200 \text{ €}$ .

Oluline osa toote omahinnast on ka koostamine. Arvestatakse, et tooste koostamiseks ja kalibreerimiseks kulub üks täispikk tööpäev ehk 8h. Koostamise tunnihind on 20€/h. See teeb koostamise koguhinnaks 160€.

Järgmiseks liidetakse kokku kõik ostudetailide hinnad. Alas-Kuulist ostetavate MiniTec ostukomponentide hind on 1800€. Ülejäänud erinevatest kohtadest hangitavate ostutoodete hind on 8000€. Eridetailid maksavad kokku 455,45€. Toote projekteerimise hinnaks kujunes 3200€ ning koostamisel lisandub selle 160€. See tähendab, et arvutuslikuks toote omahinnaks kujunes:  $1800 + 8000 + 455,45 + 3200 + 160 = 13615,45\text{€}$ . Tulenevalt sellest, et hindade määramisel on tehtud eeldusi ja ümardamisi ning ei ole arvestatud tarnehindadega siis võib toote omahind kõikuda 10%. Lõpliku omahinna leidmiseks liidetakse arvutuslikule omahinnale 10% ning ümardatakse alla, et müüjal oleks kergem edasisi hindu kujundada ning hinnad oleksid lihtsamini loetavad ja mõistetavad.  $13\ 615,45 \times 1,1 = 14\ 976,99\text{€}$ . See number ümardatakse alla ja toote lõplikus omahinnaks kujuneb 14900€.



Graafik 3.1 Omahinna moodustavate elementide suhted.

Leitud omahinna puhul tuleb arvestada, et see kehtib juhul kui firma soovib enda tarbeks ehitada ühe eksemplari. Kui firma soovib, kas endale või müügi eesmärgiks, rohkem seadmeid ehitada jaguneb projekteerimise kulu 3200€ kõikidele toodetele. Sel

juhul tuleb toote omahinnaks  $x(14900 - 3200) + 3200/y(\text{€})$ , kus  $x$  on tänu hulgi ostmisele komponentidelt saadav keskmine soodustus ning  $y$  on ehitavate seadmete kogus.

### 3.4.3 Tasuvusaeg

Tasuvusaeg leitakse juhul kui firma ostab endale ühe seadme enda töö lihtsustamiseks. Eeldades, et kuus toodetakse 30 erinevat plastvahust kohvri sisu detaili ning loodud seade säästab iga detaili kohta ühe tunni tööaega. Arvestades, et seade säästab iga detaili valmistamisel 1,5h töö aega siis säästetakse kuus 45h töö aega. Kui võtta CAD tehniku töötunni tasuks 20€/h siis säästetakse kuus tehtava 30 detaili kohta  $45 \times 20 \text{€} = 900 \text{€}$ . Seega masina omahinna tasa teenimiseks kulub  $14900/900 = 16,55$  kuud. Seadme tasuvusajaks kujuneb sellisel juhul 16.55 kuud ehk 1 aasta ja 5 kuud.

### 3.4.4 Võimalik ärimudel

Arvestades, et firma ehitab endale ühe aastaga 20 ja saab seejuures keskmiselt ostukomponentidel 5% soodustust, tuleb ühe seadme omahinnaks:

$$O = x(A - B) + \frac{B}{y}, \quad (3.6)$$

kus  $O$  – Ühe seadme omahind, €,  
 $x$  – Komponentidelt saadav soodustus,  
 $y$  – Seadmete arv,  
 $A$  – Toote omahind koos projekteerimisega, €,  
 $B$  – Projekteerimise kulu, €.

$$x = 0,95$$

$$y = 20$$

$$A = 14900 \text{ €}$$

$$B = 3200 \text{ €}$$



$$O = x(A - B) + \frac{B}{y} = 0,95(14900 - 3200) + \frac{3200}{20} = 11115 + 160 = 11275\text{€}$$

Kui firma müüb seadmed maha juurde hindluse koefitsiendiga 1.5 kujuneb seadme müügihinnaks 16912,5€. Seega teenitakse ühe seadme pealt tulu 5637,5€. Aastas ehitatud 20 seadme müümisel teenitakse sel juhul 112750€. Kui võtta ettevõtte Ages Partner OÜ 2022. aasta maksustatavat käivet, milleks oli 426656,97€, kui firma üldist keskmist aastast käivet, tähendaks see nende aastase käibe 126 protsendilist tõusu [1].

Selle põhjal võib järeldada, et kui ettevõtte suudab kõik ehitatud masinad 150% juurde hindluse juures maha müüa on nende ehitamine kasumlik ja õigustatud.

### 3.5 Järeldused

Seadme ehitaamisel on suur osa komponentidest standardsed müügil olevad komponendid ning eridetallide osakaal on väike. Kui firma ehitaks endale ühe eksemplari siis oleks eksemplari omahind 14900€. Iga tootega mis ehitatakse kahaneb omahind selle arvelt, et projekteerimise kulu on ühekordne väljaminek. Võimalus omahinna edasiseks kahandamiseks on tellida kõiki komponente suuretes kogustes, sest enamasti saab hulgi tellides komponentidelt soodustust.

## 4 KOKKUVÕTE

Töö valmis Ages Partner OÜ tellimusel ning Toivo Tähemaa juhendamisel. Töö eesmärk oli projekteerida tootest varjujoone loomise seade. Töö eesmärgi sätestamisel lähtuti kliendi probleemist. Ettevõtte Ages Partner OÜ toodab klientide erikujulistele seadmetele spetsiaalse sisuga kohvreid. Praegune viis kohvri vahtplastist sisu tootmiseks on see, et insener mõõdab ja pildistab kliendi toodet erinevate nurkade alt ning loob nende andmete põhjal tootele DXF joonise varjujoonest. Ettevõtte nägemus enda tulevikust on aga selline, et detailide mõõdistamise ja joonise valmistamise teeb ära üks seade.

Seadmele esitatud nõueteks on, et seade peab mõõtma 1500x800x600 mm suuruses detaile. Maksimaalne detaili mass on 80kg ning loodava varjujoone täpsus peab olema  $\pm 0,5$  mm. Kliendi sooviks oli veel viia seadme liikuvate osade arv minimaalseks. Hinnale otsest maksumuse piiri seatud ei ole kuid kuna kliendil on plaan toodet võimalusel ka tootma ja müüma hakata siis eelistatud on väiksem omahind. Uurides turul olemas olevaid seadmeid selgus, et nii suurte detailide mõõtmiseks seadmeid saadaval ei ole. See tuleb ilmselt sellest, et turul olevad seadmed kasutavad mõõdistamiseks teletsentrilist läätsed kuid kõige suuremate selliste läätsede vaate laius on 201,6 mm. Sellest tulenevalt oli lahenduste leidmisel suurimaks takistuseks just suuremate detailide kaardistamise võimekus.

Töö käigus mõtestati lahti neli erinevat lahendust potentsiaalsele tootele:

- Teletsentrilised lääts ja kaamera;
- liikuv teletsentriline lääts;
- mikromeeter laserkardin;
- liikuv laserite ja sensorite jada.

Nendest variantidest valiti lõplikuks lahenduseks liikuv laserite ja sensorite jada. Selles lahenduses liiguvad detaili kohalt üle laserdiodid ning paralleelselt nendega liiguvad detaili all sensorid. Sensoritena on kasutusel fototakistid mille takistust mõõtes tõlgendab seade kas laseri ja sensori vahel on parasjagu miski või mitte. Funktsionaalselt on seadmel toote kohal ja sellega paralleelselt toote all kahedimensioonilise liikumise võimekus. Seda ära kasutades mõõdetakse kogu 1500x800 detail kasutades 200 laserit ja 200 sensorit. Sealjuures on ühe laseri kiire diameetrik 0,5 mm ja horisontaalsihis laserite vahekaugus 2 mm kuid tänu täpsele liikumisele saadakse skanneri resolutsiooniks 0,5 mm.

Seadme projekteerimisel pöörati tähelepanu sellele, et raami kõige pikemale talale mõjuv maksimaalne moment ei oleks võimeline seda tala jäädavalt painutama. Leiti maksimaalne paine juhul kui asetada 80kg kaaluv objekt terava nurgaga kõige pikema otsesest toetatud tala keskele. Sellises olukorras võis arvestada, et tala mõjutab punktmass. Maksimaalseks paindeks ostus 3,01 mm mis on sobilik väärtus.

Seadme omahinnast üle poole moodustavad muud ostutooted millest kallimad on PLC ja valguskaablid. Peaaegu veerandi moodustab projekteerimise hind. Ülejäänud osa moodustavad Alas-Kuuli maale toodavad Saksamaa tootja MiniTec ostutooted, seadme koostamine ja eridetailid. Töö käigus leiti, et kuna turul ei ole nii suurte detailide mõõdistamiseks seadmeid siis peaks toodete valmistamine müümise eesmärgil olema tasuv.

## **4.1 Järeldused**

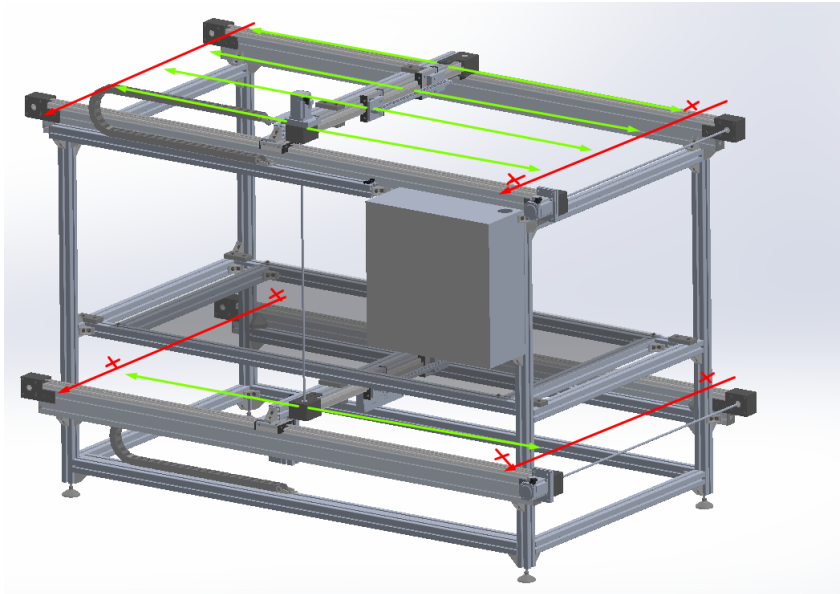
Töö käigus projekteeriti seade mis suudab mõõta kuni 1500x800x600 gabariitmõõtudega detaili varjujoont. Projekteerimisel suudeti täita kõik töö tellija poolt esitatud nõuded. Arvestades toote suhteliselt madalat omahinda ja seda, et turul samasuguse võimekusega seadmed puuduvad leiti, et antud seadme tootmine müümise eesmärgil on reaalne. Töö täitis enda seatud eesmärgid ja tõestas kliendile, et see idee on teostatav. Sealjuures pakub töö kliendile peaaegu lõplikku lahendust seadme tootmiseks.

## **4.2 Lahendamata probleemid**

### **4.2.1 Sensoriga seadme seisatamine**

Seade programmeeritakse nii, et PLC kontrollib servomootorite liikumist. Seega liigub skanneri koost kelkude peale täpselt nii kaugele, et kliendi toode saaks täies mahus skaneeritud. Seadmele oleks võimalik lisada liikumisteljega paralleelselt *through-beam* lasersensordid (selel 3.15 tähistatud punase noolega), mis peataksid seadme töö kui

mingil põhjusel laserkiir katkeb. See lisaks masinale turvalisust ning kaitseks rikke korral servomootoreid.



Sele 4.1 Turvalisuse lasersensorite pilt

#### 4.2.2 Masina kood

Masinale on projekteeritud võimekus koguda andmeid, et neist hiljem luua punktipilv mille põhjal koostada objekti varjujoon DXF formaadis. Selles töös aga ei ole loodud masina targale elemendile ehk PLC-le toorete andmete tõlgendamiseks programmi. See töö tuleb lahendada inseneridel kelle ekspertiisi kuulub PLC programmeerimine ja arvutile koodi kirjutamine.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Teatmik, „Teatmik Ages Partner OÜ,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.teatmik.ee/et/personlegal/11241110-O%C3%9C-AGEs-partner>. [Kasutatud 20 05 2023].
- [2] Keyence, „Keyence IM-8000,” Keyence, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.keyence.com/products/measure-sys/image-measure/im-8000/models/im-8030/>. [Kasutatud 09 05 2023].
- [3] M. Watanabe and S. K. Nayar, “Telecentric Optics for Computational Vision,” New York, 1996.
- [4] Mitutoyo 303-715-1D, „Mitutoyo,” [Võrgumaterjal]. Available: [https://shop.mitutoyo.eu/web/mitutoyo/en/mitutoyo/05.05.02/Measuring%20Projector/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/303-715-1D/index.xhtml](https://shop.mitutoyo.eu/web/mitutoyo/en/mitutoyo/05.05.02/Measuring%20Projector/$catalogue/mitutoyoData/PR/303-715-1D/index.xhtml). [Kasutatud 09 05 2023].
- [5] Keyence, „Keyence light curtain,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.keyence.com/products/safety/light-curtain/gl-r/>. [Kasutatud 19 05 2023].
- [6] Leuze, „Leuze Measuring light curtains,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.leuze.com/en-au/products/measuring-sensors/measuring-light-curtains?p=1>. [Kasutatud 21 05 2023].
- [7] Micro-Epsilon, „Micro-Epsilon optoCONTROL,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.micro-epsilon.com/download/manuals/man--optoCONTROL-2520--en.pdf>. [Kasutatud 19 05 2023].
- [8] Edmund optics, „Edmund optics TitanTL Telecentric Lenses,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.edmundoptics.com/f/titantrade-telecentric-lenses/15068/>. [Kasutatud 19 05 2023].
- [9] Edmund optics, „Edmund optics Large FOV Telecentric Lenses,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/trending-in-optics/large-fov-telecentrics/#:~:text=The%20FOV%20of%20any%20telecentric,optic%20diameter%20needs%20to%20be..> [Kasutatud 19 05 2023].
- [10] M. Arumugam, „Optical fiber communication—An overview,” *Pramana - Journal of Physics*, kd. 57, nr Fundamental Aspects of Solitons, Fibre Optics And Nonlinear Materials, pp. 849-869, 2001.
- [11] Keyence, „Keyence Small Diameter FU-58,” [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.keyence.com/ss/products/sensor/fu/?ad\\_local=cbtt#unit-06](https://www.keyence.com/ss/products/sensor/fu/?ad_local=cbtt#unit-06). [Kasutatud 19 05 2023].
- [12] Keyence, „Keyence FU58,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.keyence.com/products/sensor/fiber-optic/fs-n40/models/fu-58/>. [Kasutatud 19 05 2023].
- [13] Ebay, „Ebay Micro Epsilon,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ebay.com/itm/166051674482?hash=item26a9737972:g:QyQAAOSw-nxkR6Qf&amdata=enc%3AAQAIAAAA8EGs3T7La1DzfvGIQh%2BOKW7q90ViM%2BNaoPbejGteuuwsR%2FQtTUtGPPScAD4xAbRYcrJM09mcxuuh081IBqS22zkkJ%2Bi72NRzHJACB%2FxBuNiYYIEEFGCwvVoUnBGSWGKX1rnLgfUhej7UY1h0Nv>. [Kasutatud 19 05 2023].
- [14] MiniTec, „Minitec 45x45,” MiniTec, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.minitec.de/en/product/profile-45-x-45?bc=260-1-1&productIndex=11&pageIndex=0>. [Kasutatud 19 05 2023].

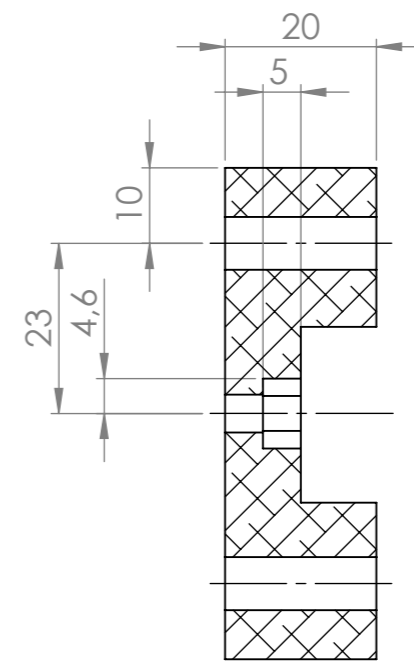
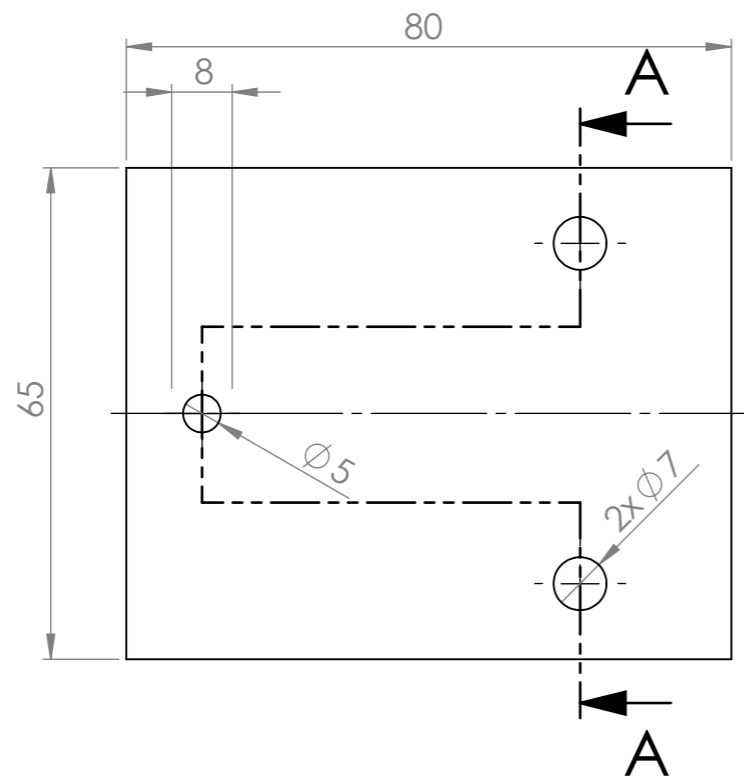
- [15] Ebay, „Ebay laser diode,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ebay.co.uk/itm/284005377599?hash=item42200a263f:g:FvoAAOSwYSZfWEcB>. [Kasutatud 19 05 2023].
- [16] Mouser, „Mouser photoelectric switch,” [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.mouser.ee/datasheet/2/307/Omron\\_6\\_22\\_2022\\_B5W\\_DB11A1\\_A\\_Datasheet-2952703.pdf](https://www.mouser.ee/datasheet/2/307/Omron_6_22_2022_B5W_DB11A1_A_Datasheet-2952703.pdf). [Kasutatud 19 05 2023].
- [17] B. N. Denisov, „A photoresistor as a multifunctional optoelectronic element,” *Journal of Communications Technology and Electronics*, kd. 52, pp. 478 - 481, 2007.
- [18] Mouser, „Mouser photocells,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mouser.ee/datasheet/2/737/photocells-932884.pdf>. [Kasutatud 19 05 2023].
- [19] Damen nc, „Damnen nc Servo motor ECMA-C20604RS,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.damencnc.com/en/ac-servo-motor-400w-ecma-c20604rs/a813>. [Kasutatud 20 05 2023].
- [20] Damen nc, „Damen nc Servo Drive 400W ASD-B2-0421-B,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.damencnc.com/en/ac-servo-drive-400w-asd-b2-0421-b/a805>. [Kasutatud 20 05 2023].
- [21] Keyence, „Keynce FU-79U,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.keyence.com/products/sensor/fiber-optic/fs-n40/models/fu-79u/>. [Kasutatud 19 05 2023].
- [22] MiniTec, „MiniTec deflection,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.minitec.de/en/products/calculate-deflection>. [Kasutatud 19 05 2023].
- [23] MiniTec, „MiniTec 45x45 matemaatilised andmed,” [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.minitecframing.com/Products/Aluminum\\_Profiles/Aluminum\\_Profile\\_PDF/Technical\\_Info\\_Aluminum\\_Profiles.pdf](https://www.minitecframing.com/Products/Aluminum_Profiles/Aluminum_Profile_PDF/Technical_Info_Aluminum_Profiles.pdf). [Kasutatud 19 05 2023].
- [24] „Mechanical resonance,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.physics.rutgers.edu/~jackph/2005s/PS02.pdf>. [Kasutatud 19 05 2023].
- [25] Klaas24, „Klaas 24 Karastatud Klaas,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://klaas24.ee/product/karastatud-klaas/>. [Kasutatud 20 05 2023].
- [26] Ebay, „Ebay Keyence FU-79U,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ebay.com/itm/234882205179>. [Kasutatud 20 05 2023].
- [27] Ebay, „Ebay Laser diodes,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ebay.co.uk/itm/284005377599?hash=item42200a263f:g:FvoAAOSwYSZfWEcB>. [Kasutatud 20 05 2023].
- [28] Mouser, „Mouser Adafruit 161,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mouser.ee/ProductDetail/Adafruit/161?qs=sGAEpiMZZMvjM8qICVQ8PYnkfsJ%2FzX7gSYrMODPKisyOIqIvoDceQ%3D%3D>. [Kasutatud 20 05 2023].
- [29] Teval, „Teval PLC-d,” [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.teval.ee/shop?order=list\\_price+desc&category=769](https://www.teval.ee/shop?order=list_price+desc&category=769). [Kasutatud 20 05 2023].
- [30] Metall24, „Metall 24 alumiiniumlatt,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.metall24.ee/tooted/al.-latt/pg/2>. [Kasutatud 20 05 2023].
- [31] 3DKODA, „3DKODA freesimine,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://3dkoda.com/cnc-freesimine/>. [Kasutatud 20 05 2023].
- [32] E. Optics, „<https://www.edmundoptics.eu>,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.edmundoptics.eu/f/titantrade-telecentric-lenses/15068/>. [Kasutatud 09 05 2023].

- [33] Keyence, „Keyence Fiber optics FS-N40,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.keyence.com/products/sensor/fiber-optic/fs-n40/models/fu-58u/>. [Kasutatud 19 05 2023].
- [34] K-rauta, „K-rauta paigalduskaabel,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.k-rauta.ee/p/paigalduskaabel-lietkabelis-ydypl-uhkohaline-eca-500-v-100-m-3-x-2-5-mm/ehm2?cat=bfs&index=3>. [Kasutatud 20 05 2023].

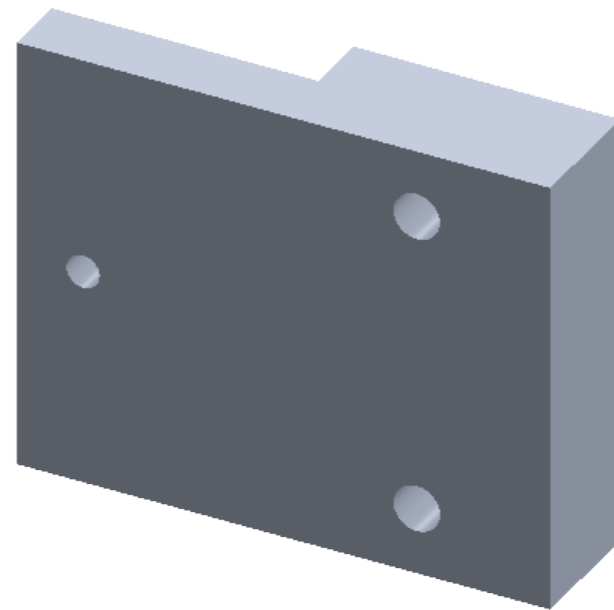
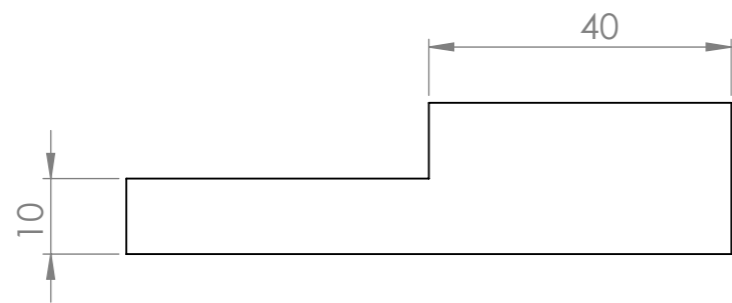
## **GRAAFILINE OSA**

### **Detaili ja koostujoonised**

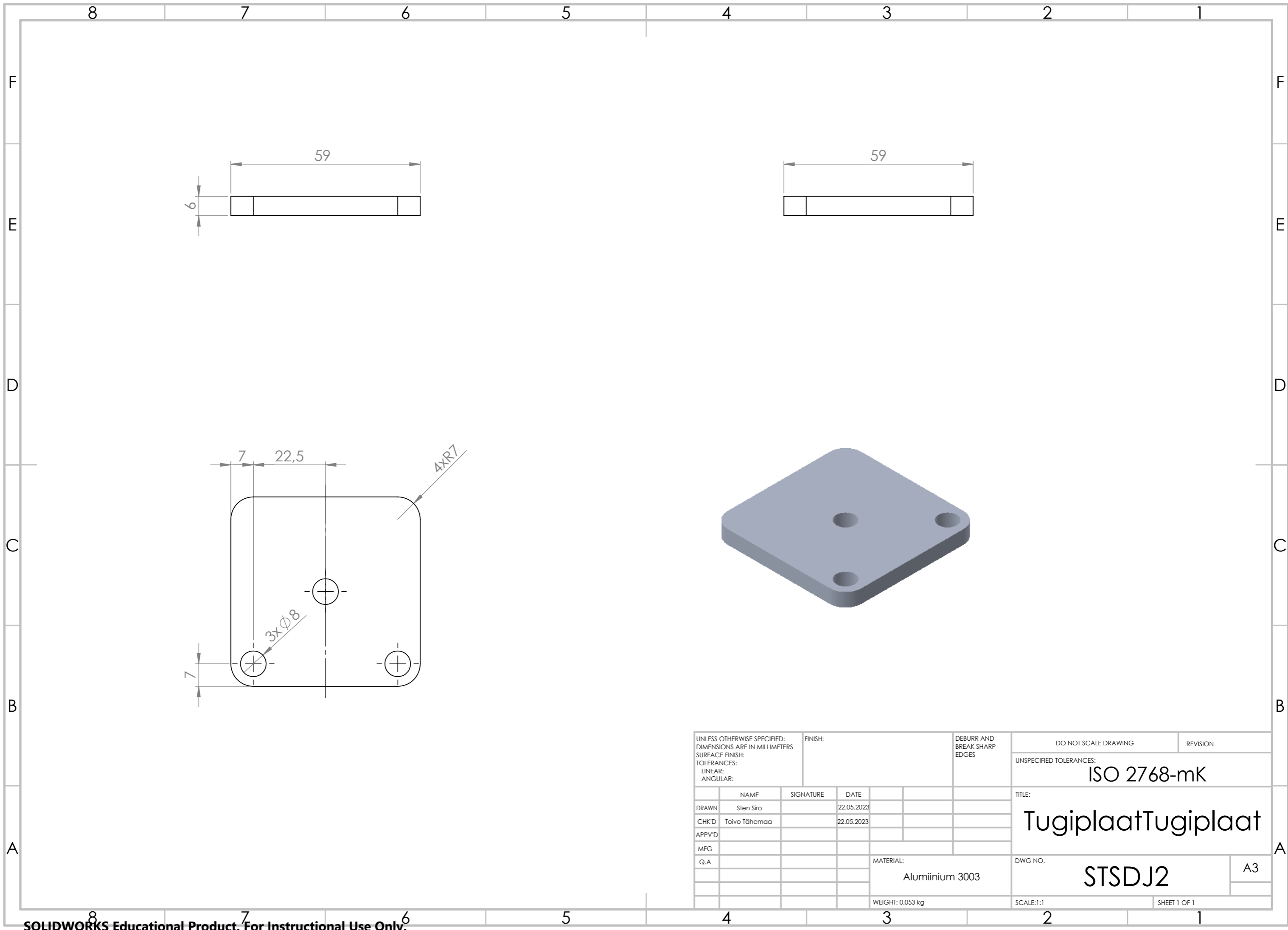




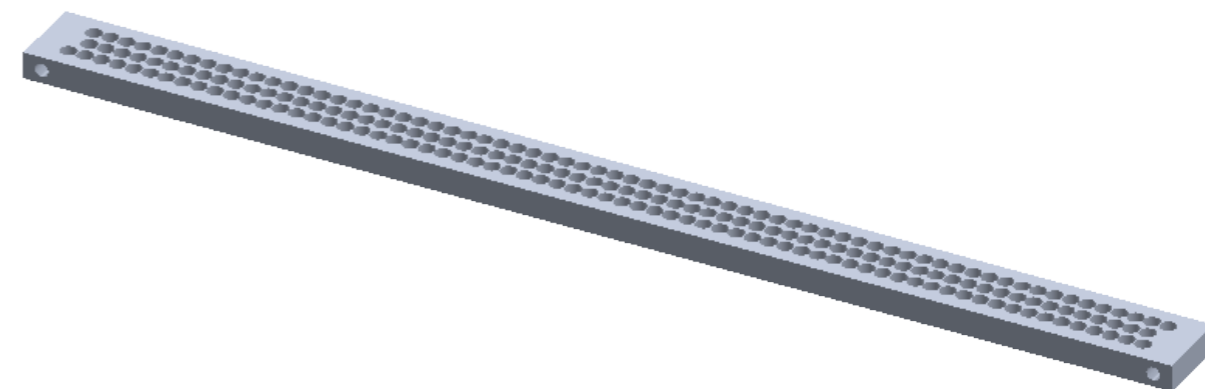
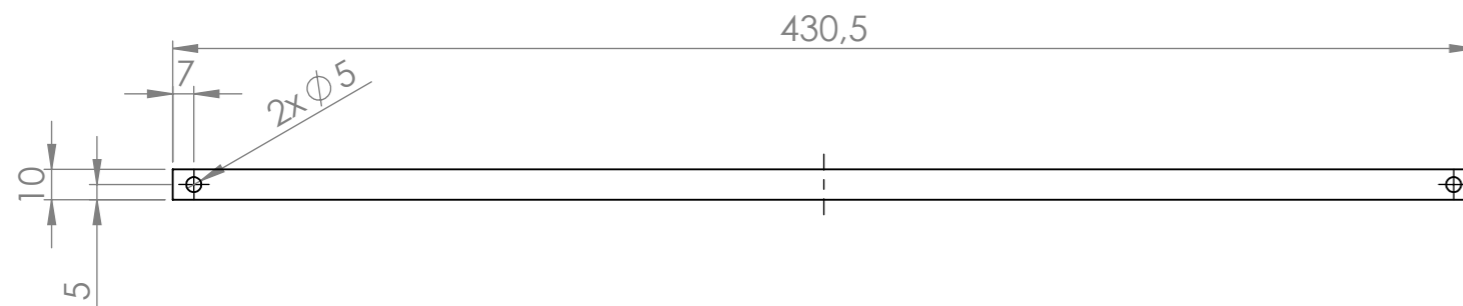
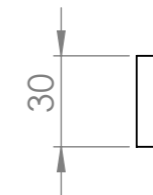
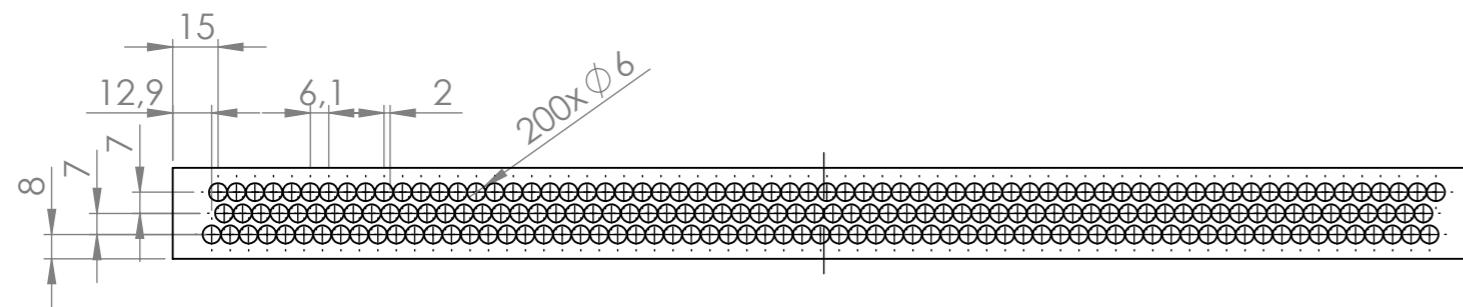
SECTION A-A



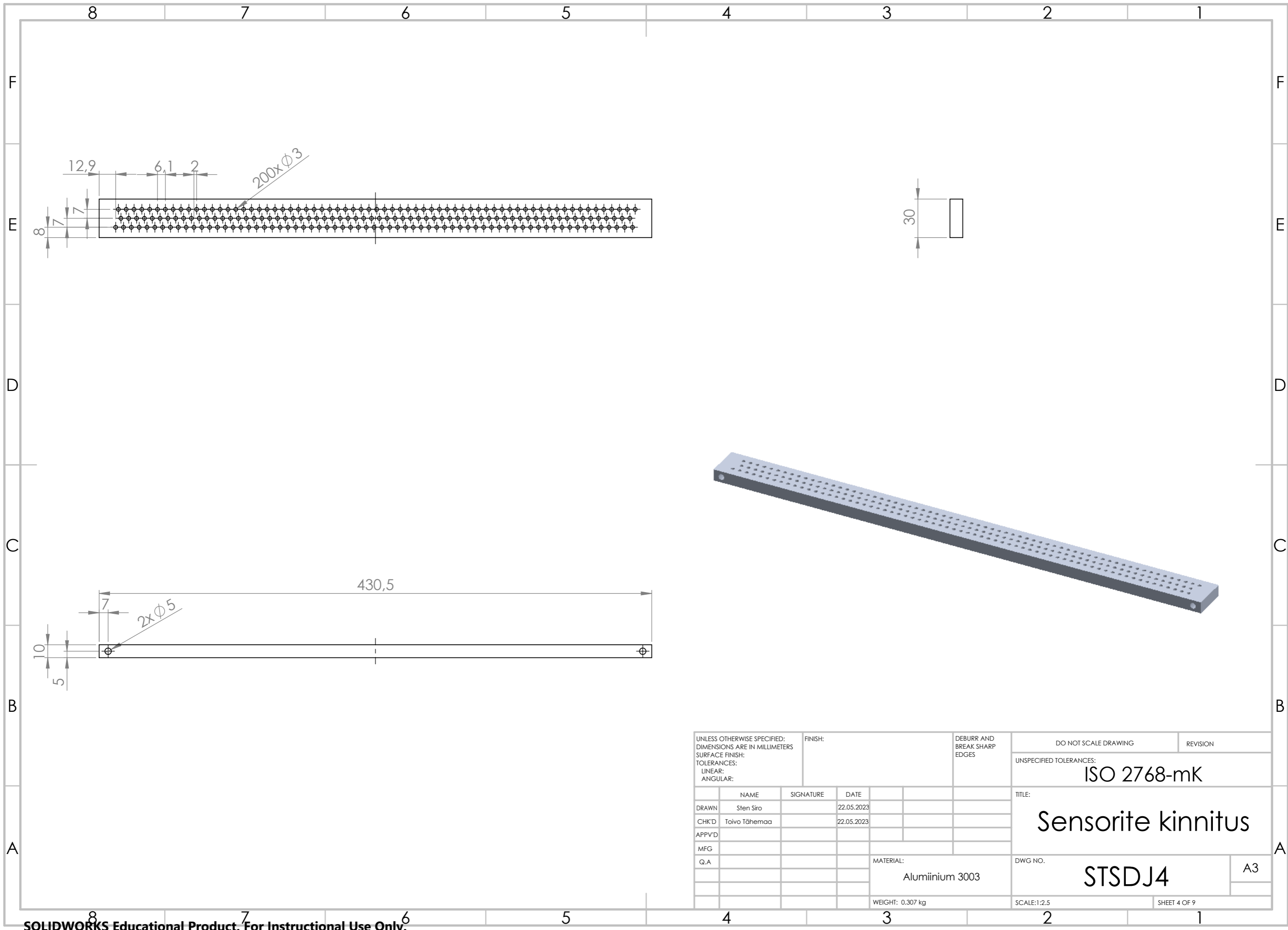
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
							UNSPECIFIED TOLERANCES: <b>ISO 2768-mK</b>				
							TITLE: <b>Laserite kinnituse kinnitusplaat</b>				
							DWG NO. <b>STSDJ1</b>			A3	
					MATERIAL: <b>Alumiinium 3003</b>		SCALE:1:1		SHEET 1 OF 9		
					WEIGHT: 0.205 kg						
DRAWN: Sten Siro			SIGNATURE:		DATE: 21.05.2023						
CHK'D: Toivo Tähemaa					DATE: 21.05.2023						
APPV'D:											
MFG:											
Q.A:											



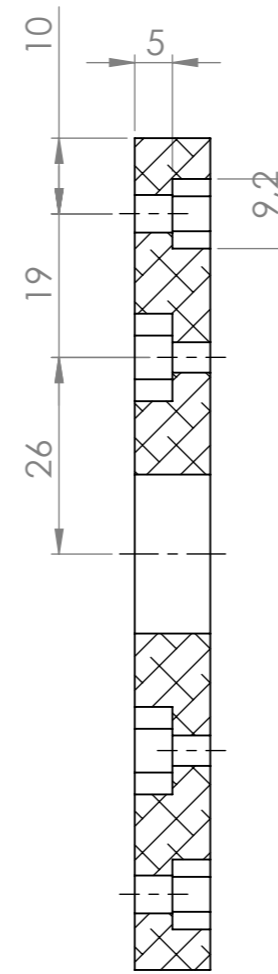
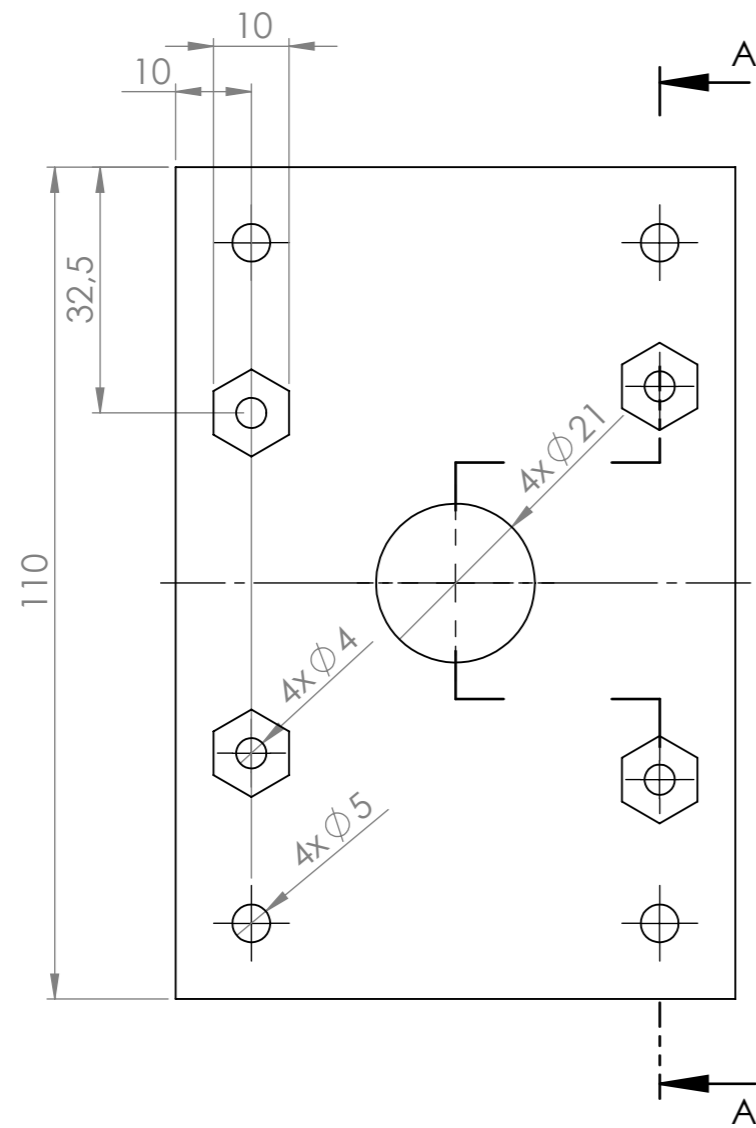
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION				
							UNSPECIFIED TOLERANCES: <b>ISO 2768-mK</b>						
							TITLE: <b>TugiplaatTugiplaat</b>						
							MATERIAL: <b>Alumiinium 3003</b>			DWG NO. <b>STSDJ2</b>		A3	
							WEIGHT: 0.053 kg		SCALE: 1:1		SHEET 1 OF 1		



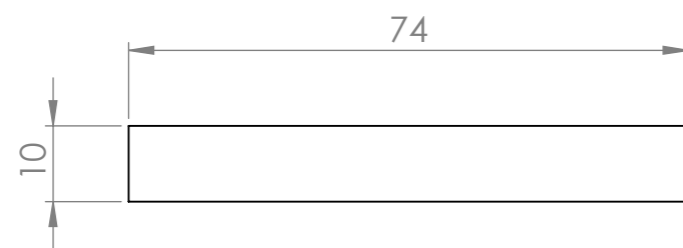
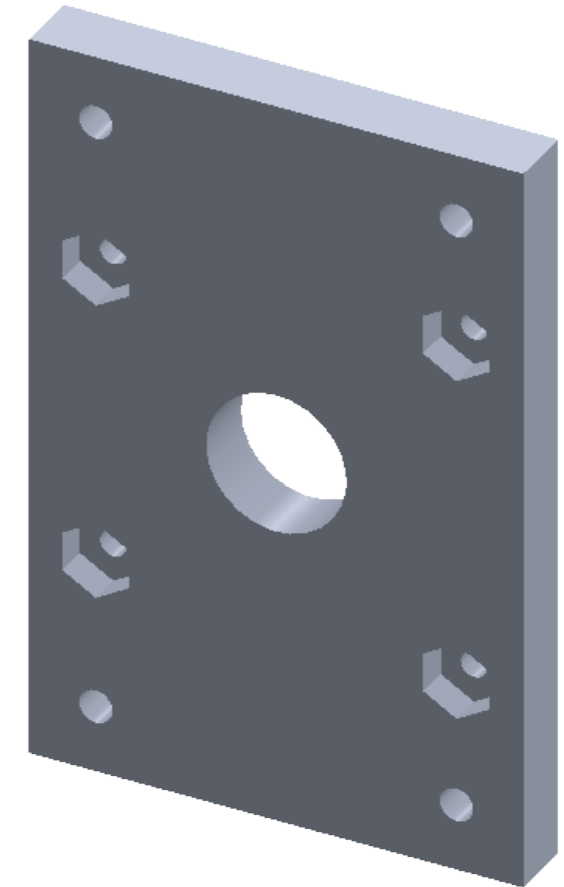
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
								UNSPECIFIED TOLERANCES: ISO 2768-mK			
								TITLE: <b>Laserite kinnitusplaat</b>			
								DWG NO.		A3	
						MATERIAL: Alumiinium 3003		SCALE:1:2.5		SHEET 3 OF 9	
						WEIGHT: 0.192 kg					



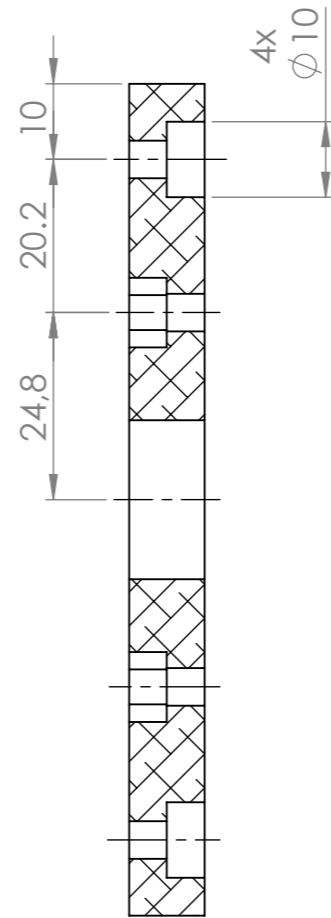
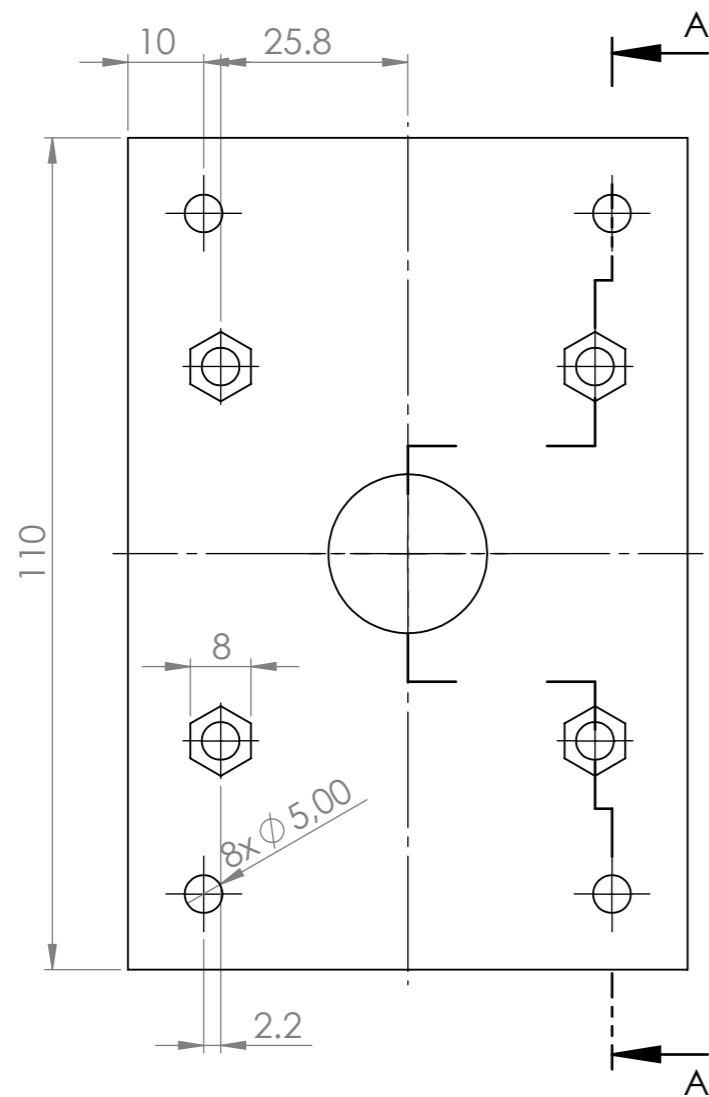
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
							UNSPECIFIED TOLERANCES: <b>ISO 2768-mK</b>				
							TITLE: <b>Sensorite kinnitus</b>				
			MATERIAL: Alumiinium 3003		DWG NO. <b>STSDJ4</b>			A3			
			WEIGHT: 0.307 kg		SCALE:1:2.5			SHEET 4 OF 9			



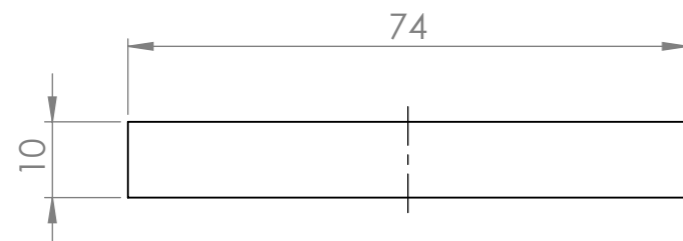
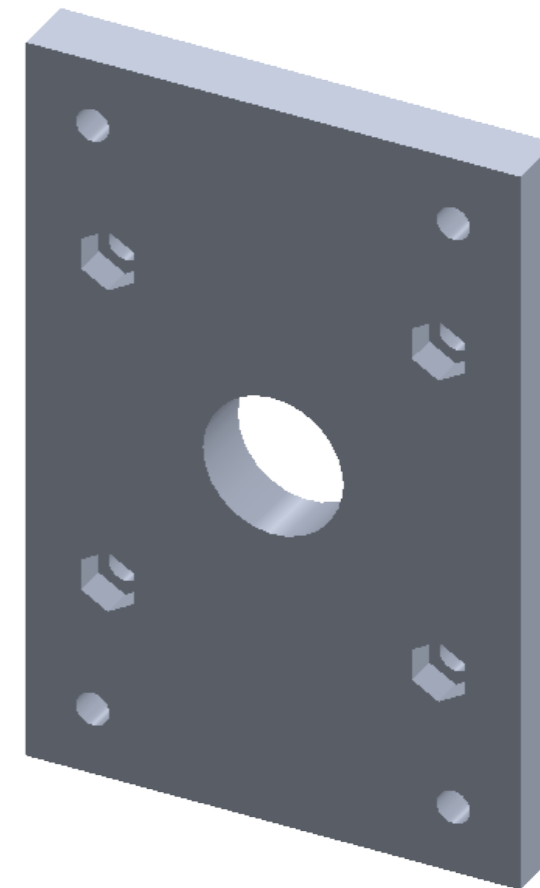
SECTION A-A



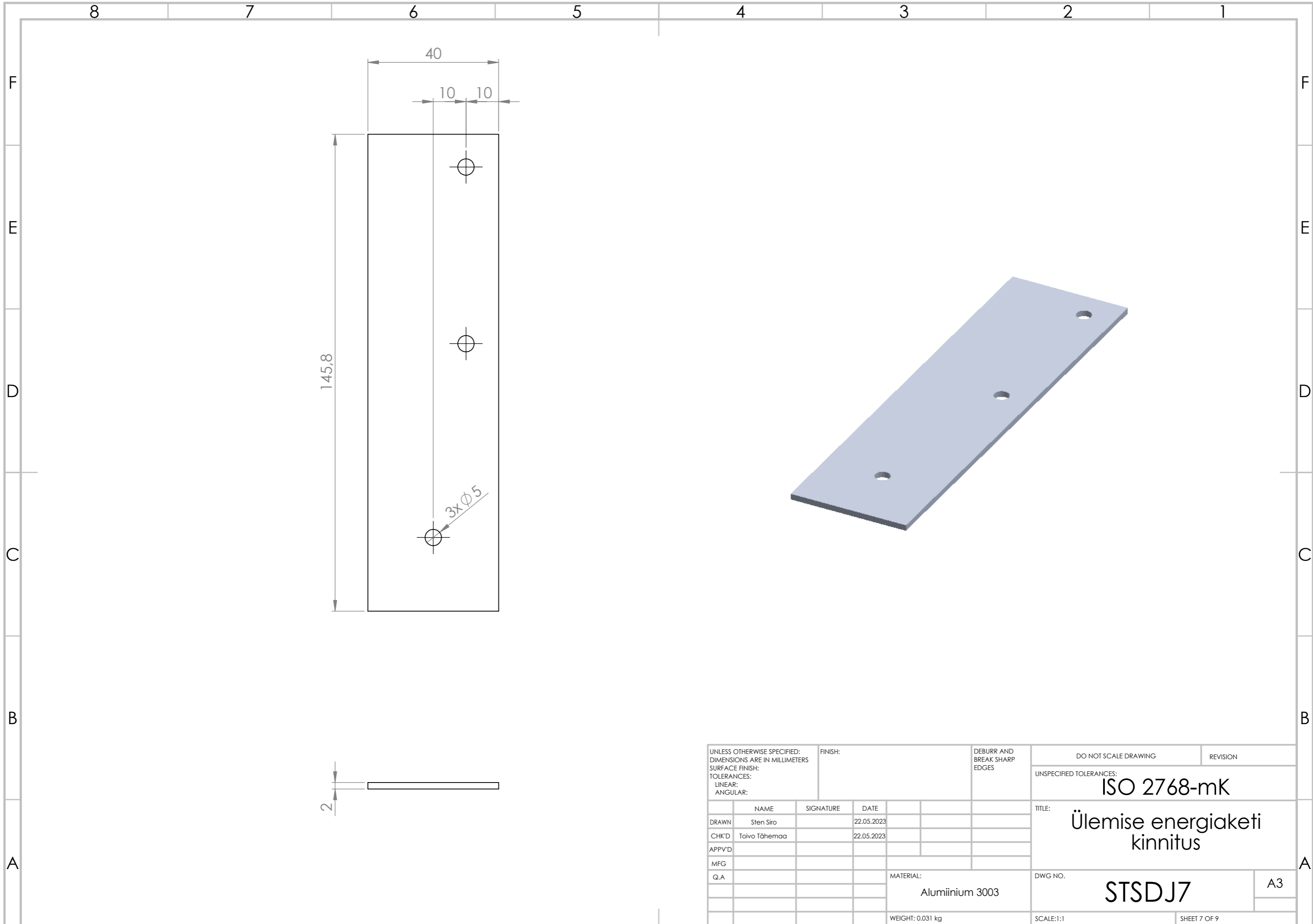
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
							UNSPECIFIED TOLERANCES: <b>ISO 2768-mK</b>				
							TITLE: <b>Lineaarsüsteemi kinnitusplaat</b>				
DRAWN Sten Siro			SIGNATURE		DATE 22.05.2023		DWG NO.		A3		
CHK'D Toivo Tähemaa					22.05.2023		MATERIAL: Alumiinium 3003		STSDJ5		
APPV'D							WEIGHT: 0.201 kg		SCALE: 1:1		
MFG									SHEET 5 OF 9		
Q.A											



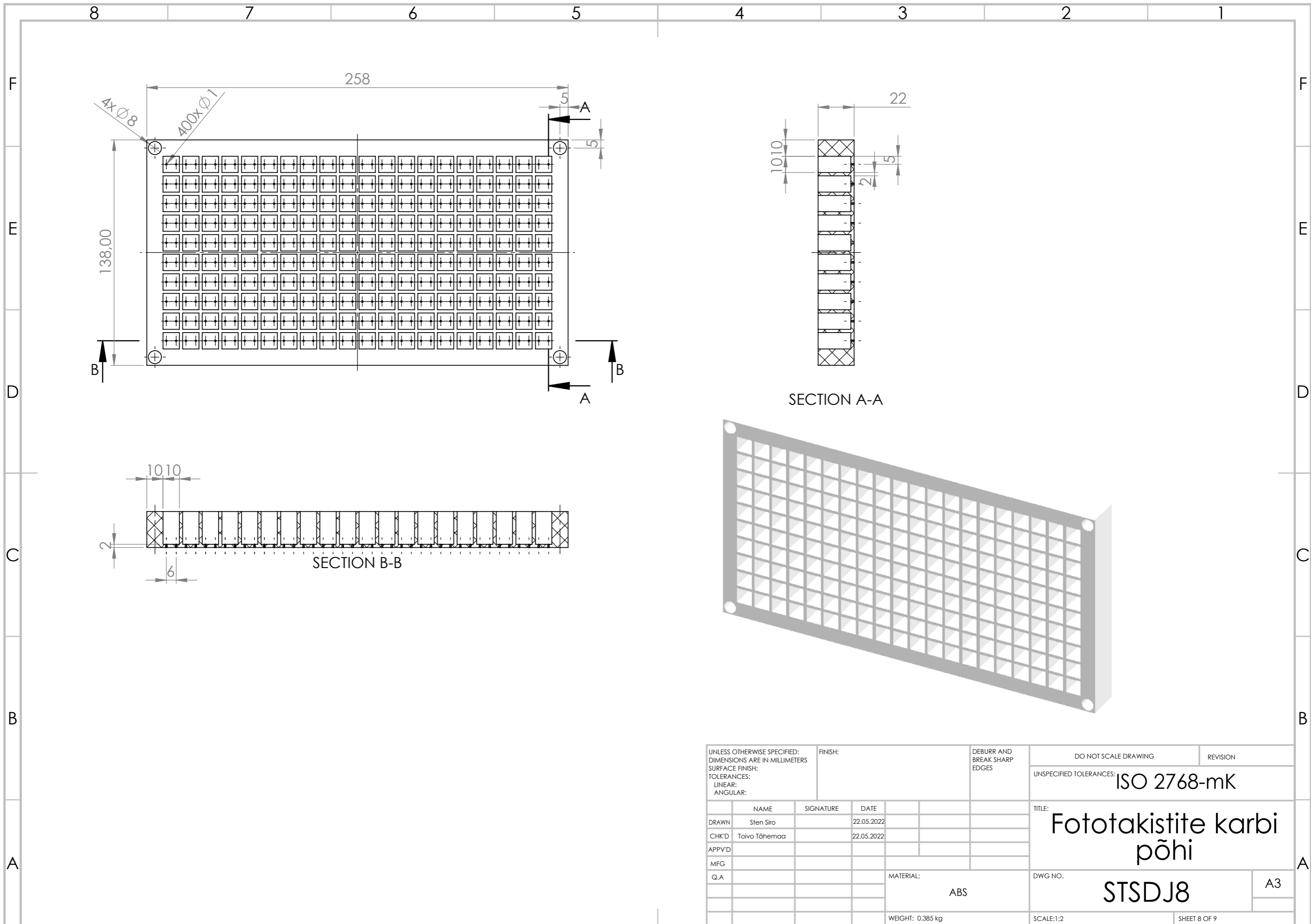
SECTION A-A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION				
							UNSPECIFIED TOLERANCES: ISO 2768-mK						
							TITLE: <b>Servomootori kinnitusplaat</b>						
							MATERIAL: Alumiinum 3003			DWG NO. <b>STSDJ6</b>		A3	
							WEIGHT: 0.201 kg		SCALE: 1:1		SHEET 6 OF 9		

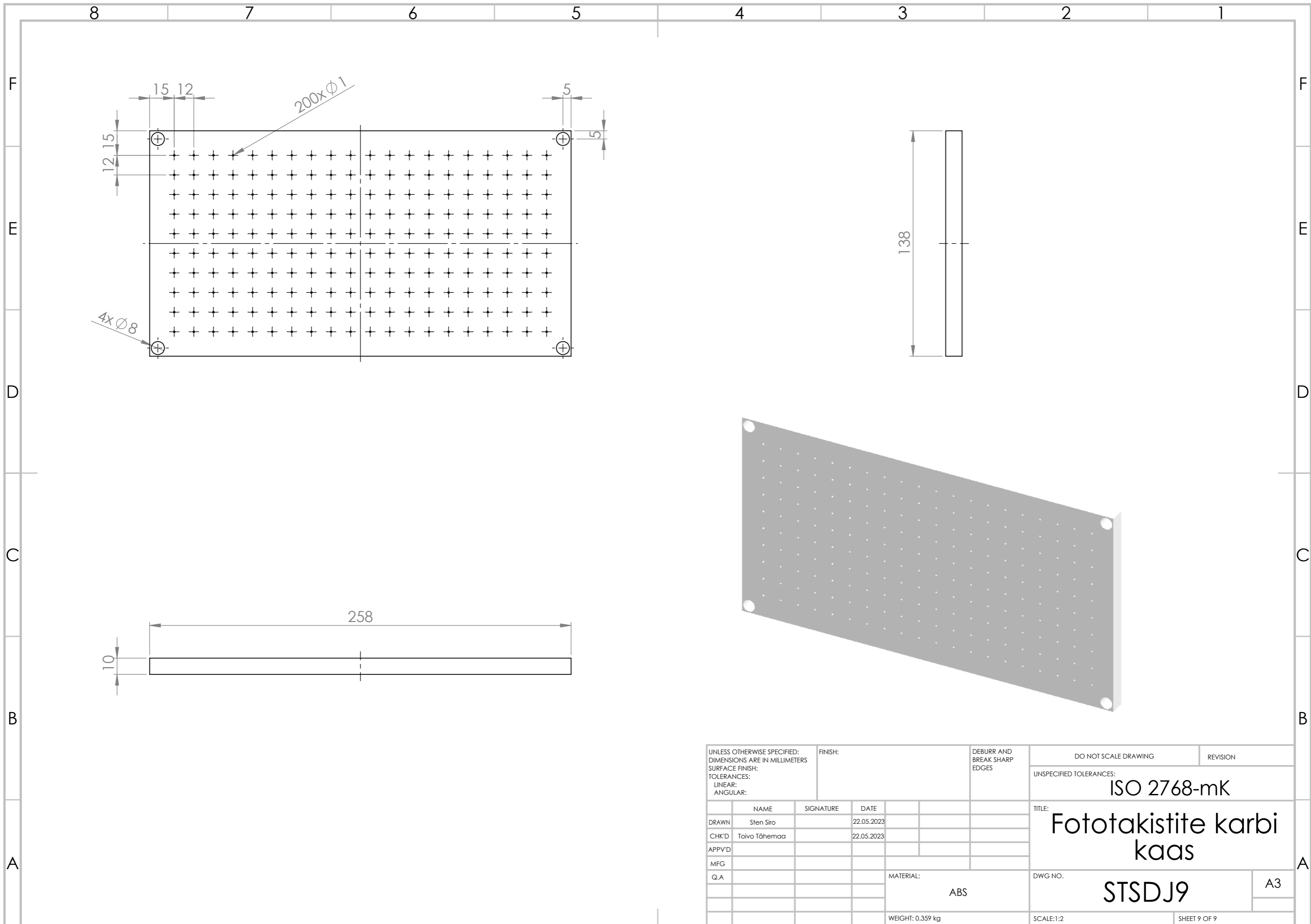


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
								UNSPECIFIED TOLERANCES:			
								ISO 2768-mK			
								TITLE: Ülemise energiaketi kinnitus			
				MATERIAL: Alumiinium 3003		DWG NO. STSDJ7		A3			
				WEIGHT: 0.031 kg		SCALE: 1:1		SHEET 7 OF 9			



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
							UNSPECIFIED TOLERANCES: ISO 2768-mK				
							TITLE: <b>Fototakistite karbi põhi</b>				
			MATERIAL: <b>ABS</b>		DWG NO. <b>STSDJ8</b>		A3				
			WEIGHT: 0,385 kg		SCALE:1:2		SHEET 8 OF 9				





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:						UNSPECIFIED TOLERANCES:			
TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:						ISO 2768-mK			
						TITLE: <b>Fototakistite karbi kaas</b>			
DRAWN Sten Siro		SIGNATURE		DATE 22.05.2023		DWG NO.		A3	
CHK'D Toivo Tähemaa				DATE 22.05.2023		MATERIAL: ABS		STSDJ9	
APPV'D						WEIGHT: 0.359 kg		SCALE:1:2	
MFG						SHEET 9 OF 9			
Q.A									

16

15

14

13

12

11

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

M

L

K

J

H

G

F

E

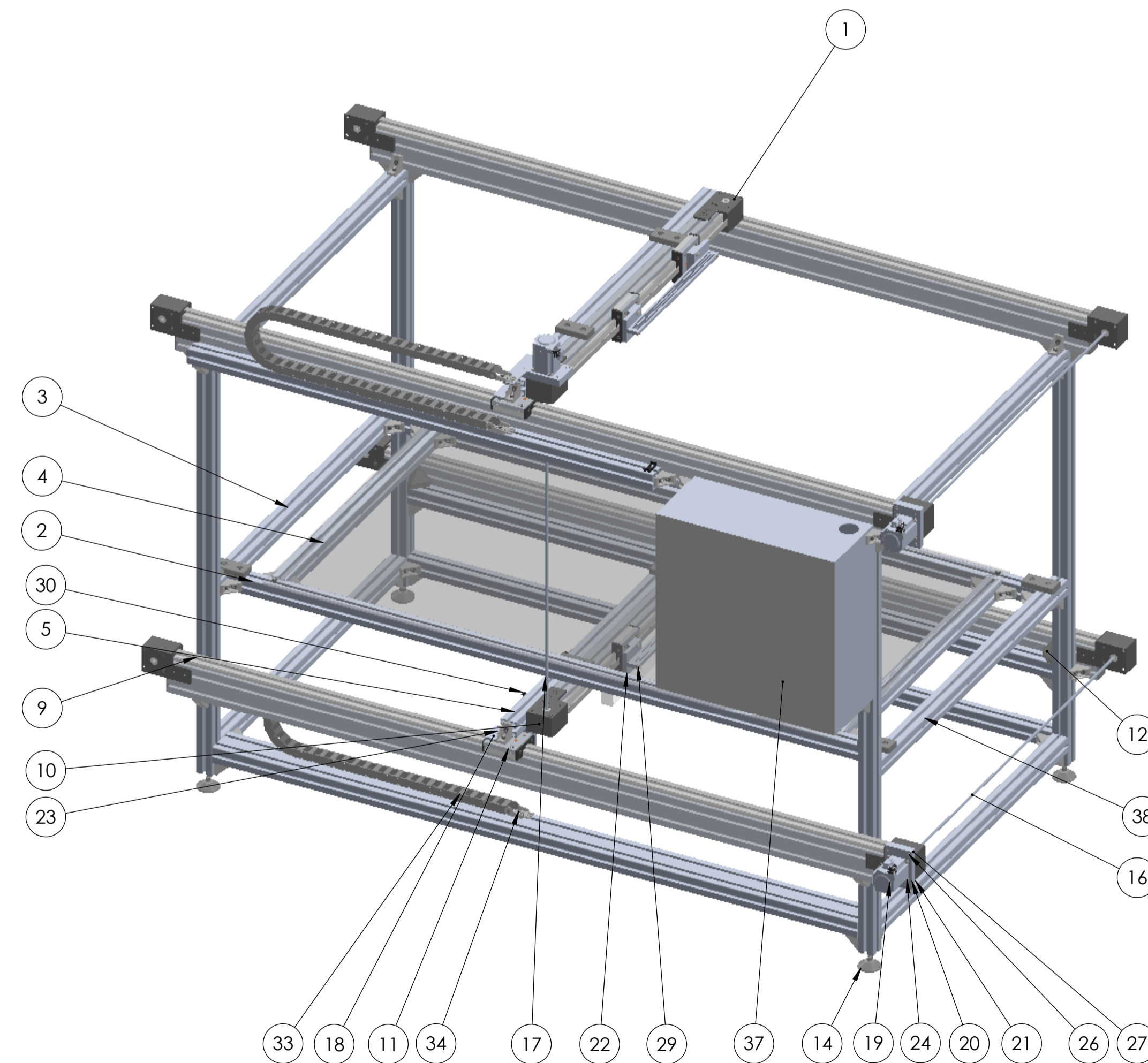
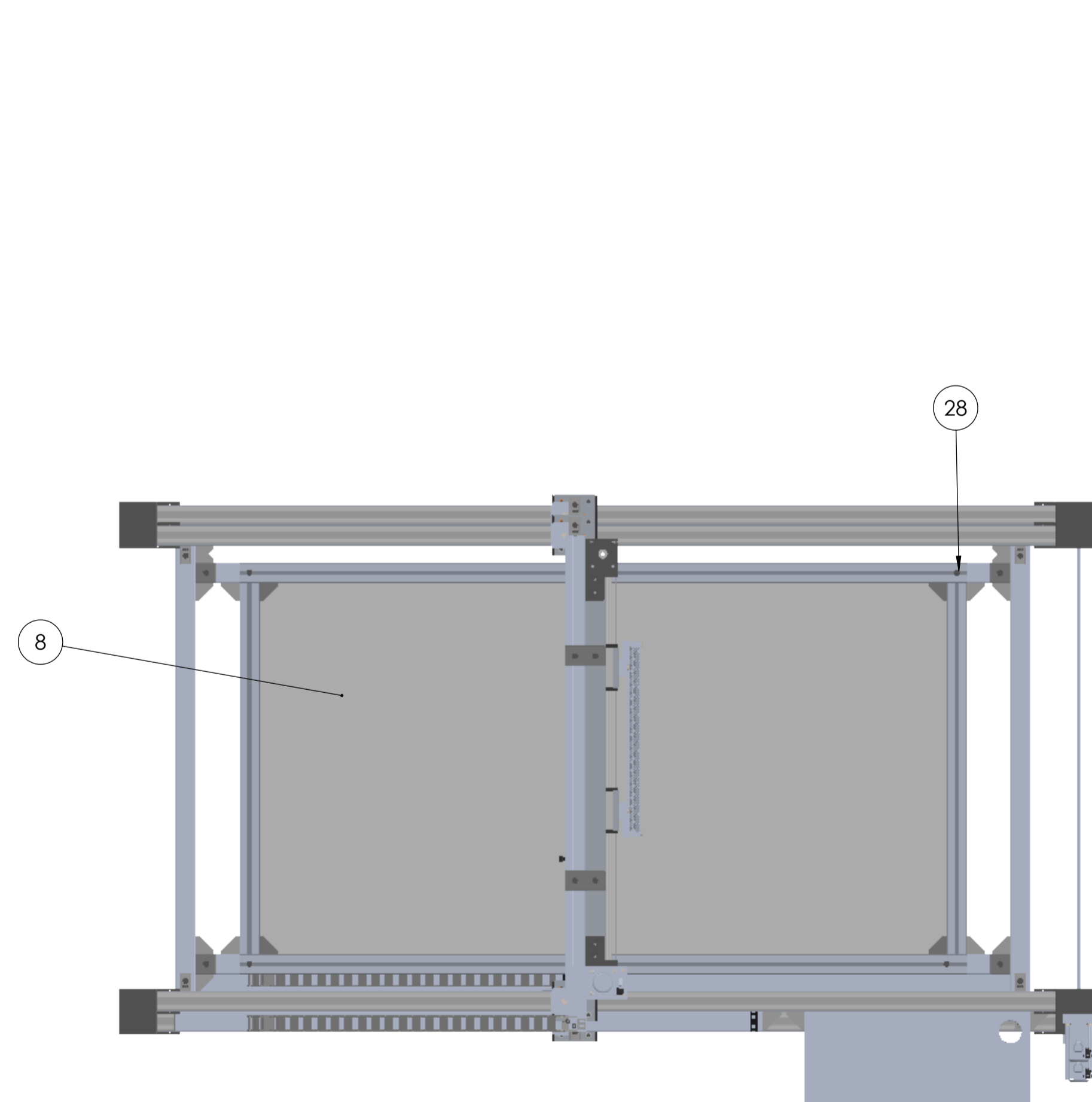
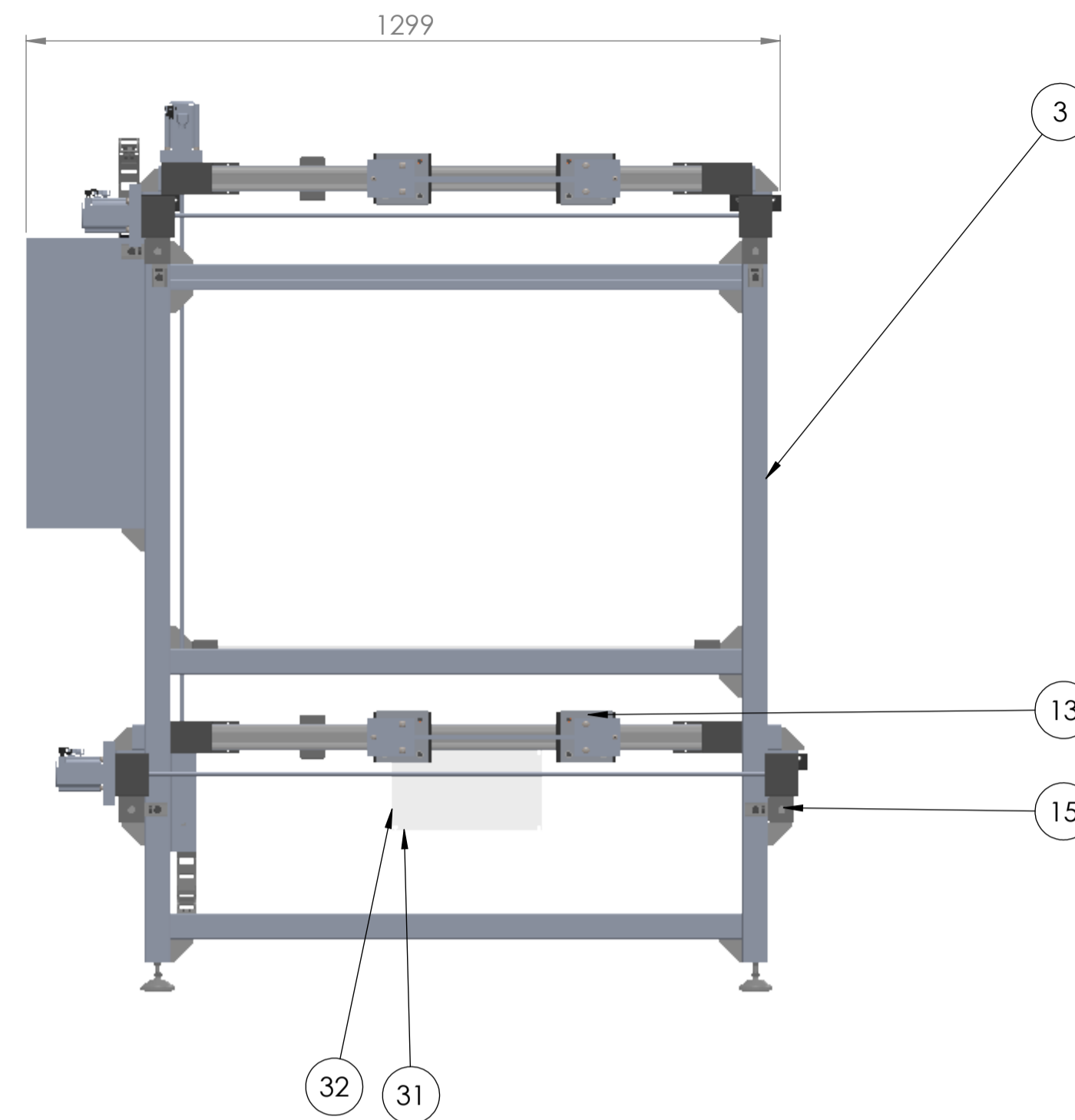
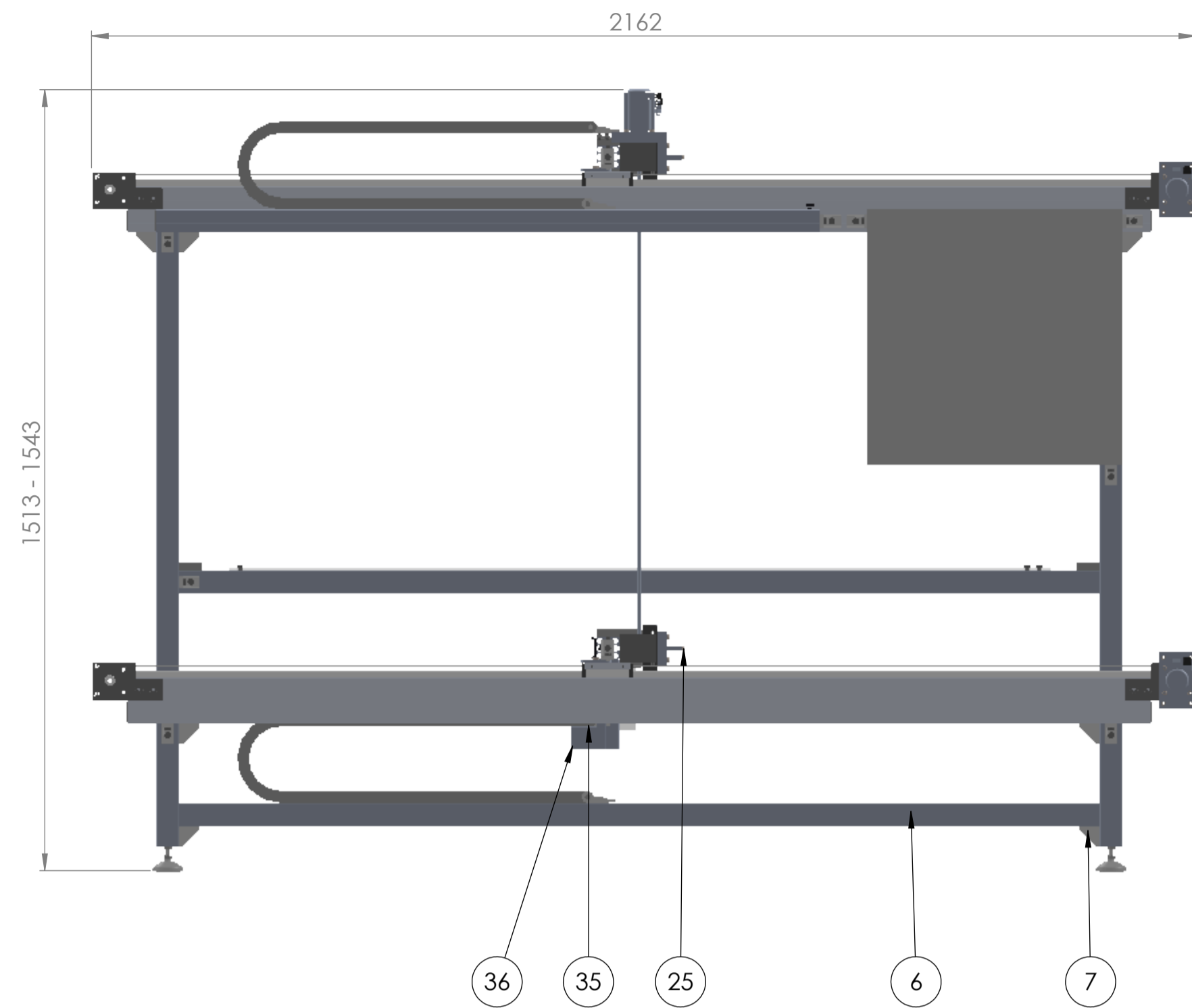
D

C

B

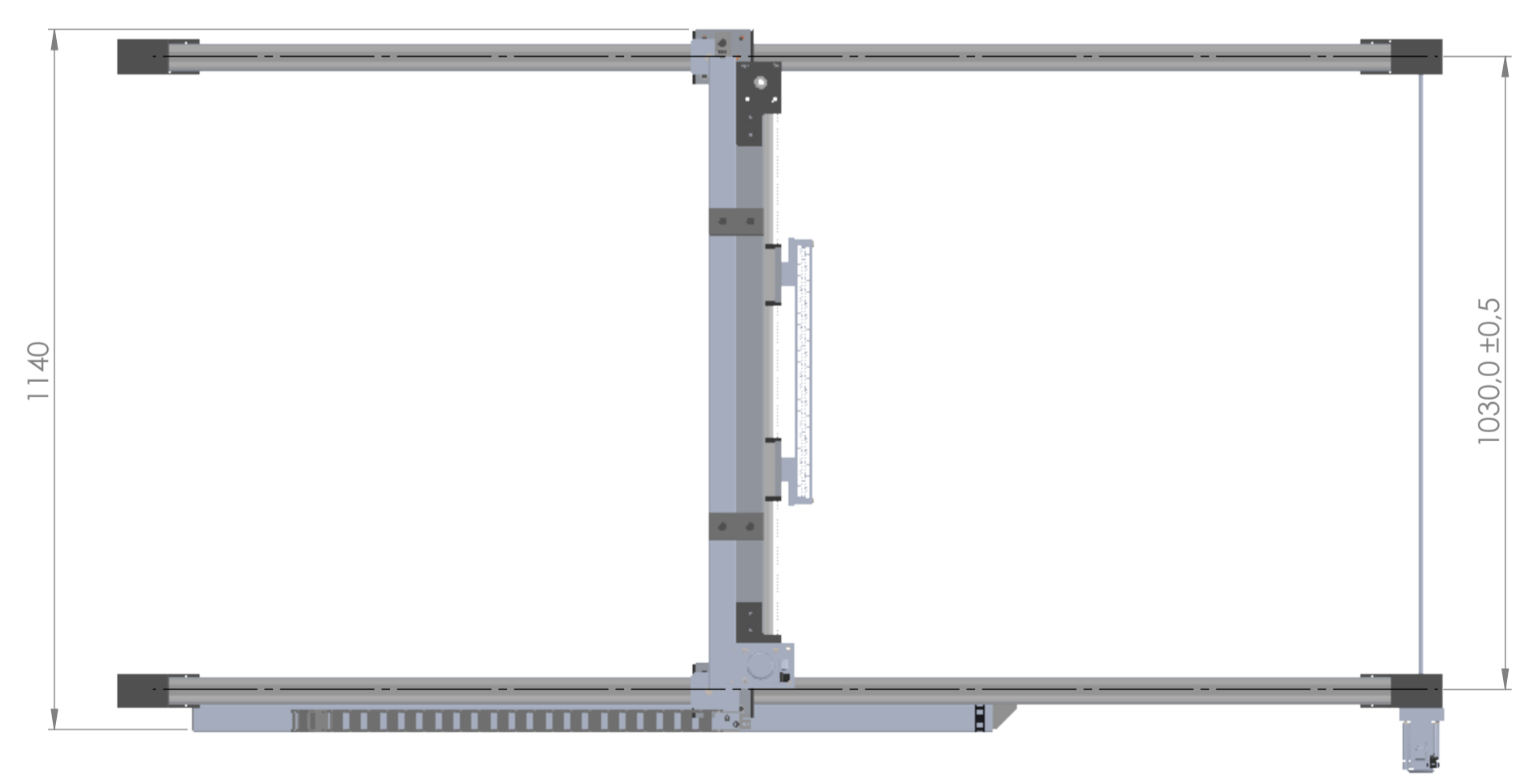
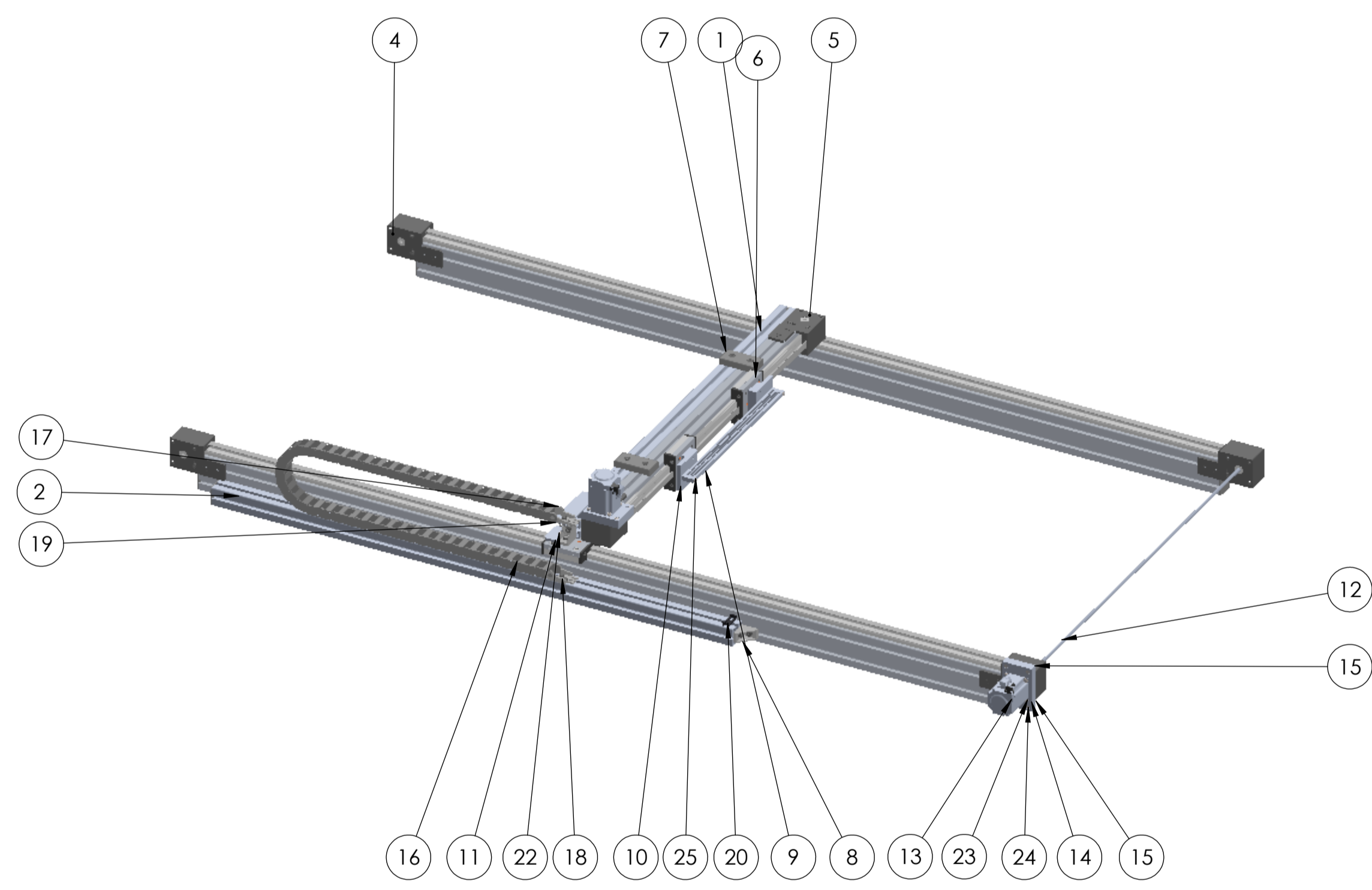
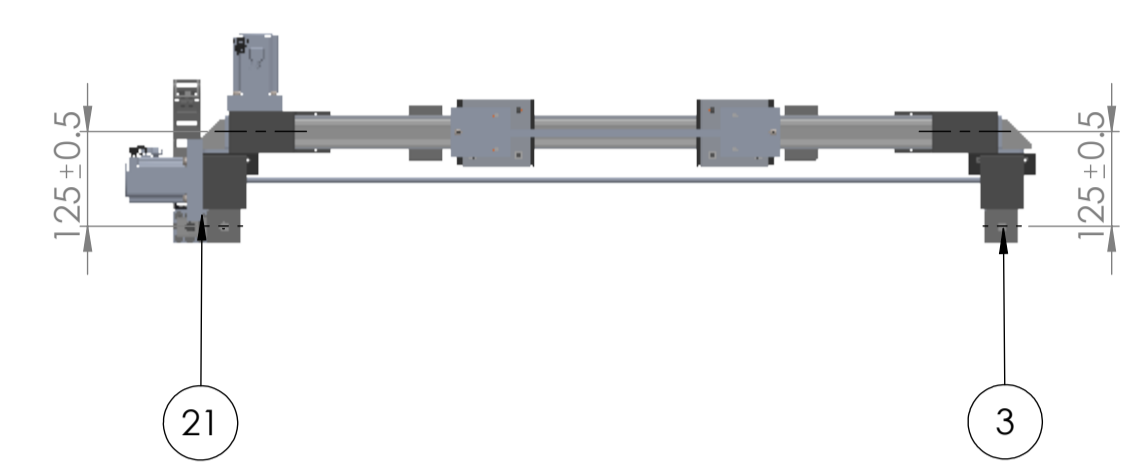
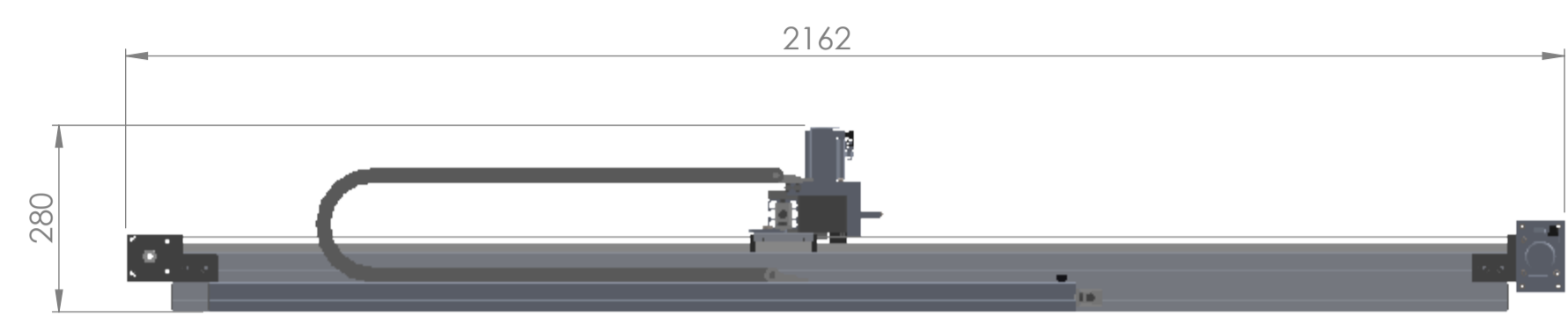
A

ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	STSKJ002	Skanneri koost	1
2	MiniTec profiil 45x45	Raami horisontaaltala 45x45x1802	4
3	MiniTec profiil 45x45	Raami vertikaaltalad 45x45x1200	4
4	Minitec profiil 45x45	Raami risttala 45x45x820	2
5	MiniTec profiil 45x45	45x45x1120	1
6	MiniTec profiil 45x90	45x90x1802	1
7	MiniTec 25 GD-Z		63
8	Klaas	1610x910x5	
9	MiniTec LR6	45x90x1988	2
10	MiniTec LR6	45x45x845.5	1
11	MiniTec Slide LR 6 with cover		4
12	MiniTec Mounting angle 45 kraadi		4
13	MiniTec Ühendusplaat		4
14	MiniTec Foot M08		4
15	22.1067/5	MiniTec end cap	5
16	Võll	1177x8	1
17	Võll	1017x8	1
18	STSDJ2	Tugiplaat	2
19	Vahelduvvoolu servomootor 400W ECMA-C20604RS		1
20	STSDJ6	Servomootori kinnitusplaat	1
21	STSDJ5	Linearsüsteemi kinnitusplaat	1
22	STSDJ1	Laserite kinnituse kinnitusplaat	2
23	Polt ISO 4014 - M8 x 15 x 22-N	Tähikpolt	2
24	Polt ISO 14583 - M5 x 12 x 10,4 - 4,8-N	Tähikpolt	4
25	Kruvi ISO 7045 - M6 x 25 - Z - 25N	Kinnituskrugi	6
26	Kruvi ISO 4762 M5 x 16 - 16N	Kinnituskrugi	4
27	Mutter ISO - 4034 - M5 - N	Kinnitusmutter	10
28	21.1309/1	MiniTec mutter	4
29	SDSDJ4	Sensorite kinnitus	1
30	Juhtmete kinnitusklamber		3
31	STSDJ9	Fototakistite karbi kaas	1
32	STSDKJ8	Fototakistite karbi põhi	1
33	33.0410/0	Energiaketht, 40 lüli	1
34	Energiaketi kinnitus		1
35	Energiaketi kinnitus		1
36	Alumise energiaketi kinnitus		1
37	Elektrikapp		1
38	MiniTec profiil 45x45	45x45x985	4



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN: Stein Sro		SIGNATURE:	DATE: 21.05.2023	UNSPECIFIED TOLERANCES: ISO 2768-mK	
CHKD: Toivo Tõnnemaa				TITLE: Varjujoone skaneerija	
APPVD:				DWG NO.: STSKJ001	
MFG:				SCALE: 1:10	
G.A.:				SHEET 1 OF 2	
		WEIGHT: 142,06 kg			

ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	MiniTec profiil 45x45	45x45x1030	1
2	MiniTec profiil 45x45	45x45x1300	1
3	22.1067/5	MiniTec end cap	5
4	MiniTec LR6	45x90x1988	2
5	MiniTec LR6	45x90x845.5	1
6	MiniTec Slide LR 6 with cover		4
7	MiniTec Ühendusplaat		4
8	MiniTec 25 GD-Z		3
9	STSDJ3	Laserite kinnitus	1
10	STSDJ1	Laserite kinnituse kinnitusplaat	2
11	STSDJ2	Tugiplaat	2
12	Võll	1087x8	1
13	Vahelduvvoolu servomootor 400W ECMA-C20604RS		2
14	STSDJ6	Servomootori kinnitusplaat	2
15	STSDJ5	Lineaarsüsteemi kinnitusplaat	2
16	33.0410/0	Energiaket, 40 lüli	1
17	Energiaketi kinnitus		1
18	Energiaketi kinnitus		1
19	STSDJ7	Ülemise energiaketi kinnitusplaat	1
20	Juhtmete kinnituskamber		1
21	Mutter ISO - 4034 - M5 - N	Kinnitusmutter	8
22	Polt ISO 4014 - M8 x 15 x 22-N	Tähikpolt	2
23	Polt ISO 14583 - M5 x 12 x 10,4 - 4,8-N	Tähikpolt	8
24	Kruvi ISO 4762 M5 x 16 - 16N	Kinnituskrugi	3
25	Kruvi ISO 7045 - M6 x 25 - Z - 25N	Kinnituskrugi	8



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN: SHEK			SIGNATURE:	DATE: 21.05.2023	TITLE: <b>Skanneri koost</b>	
CHECKED: TALVO			SIGNATURE:	DATE: 21.05.2023	DWG NO.: <b>STSKJ002</b>	
APPROVED:			SIGNATURE:	DATE:	SCALE: 1:10	
MFG:			SIGNATURE:	DATE:	SHEET 2 OF 2	
Q.A.:			SIGNATURE:	DATE:	WEIGHT: 31.815 kg	