



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

## **ROOMIKSÕIDUKI VEOAJAMI SEADISTUSPINK**

### **TEST BENCH OF TRACKED VEHICLE DRIVE SYSTEM**

#### **MAGISTRITÖÖ**

Üliõpilane: Martin Migur  
/nimi/

Üliõpilaskood: 176501 MATM

Juhendaja: Maarjus Kirs, teadur  
/nimi, amet/

## 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.

"....." ..... 202.....

Autor: .....  
/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." ..... 202.....

Juhendaja: .....  
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....  
/ nimi ja allkiri /

# Mehaanika ja tööstustehnika instituut

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Martin Migur 176501 MATM

Õppekava, peeriala: MATM 02/15 – Tootarendus ja tootmistehnika

**Juhendaja(d):** Teadur, Maarjus Kirs, +372 525 8579 (amet, nimi, telefon)

**Konsultant:** .....(nimi, amet)

..... (ettevõtte, telefon, e-post)

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) Roomiksõiduki veoajami seadistuspink

(inglise keeles) Test Bench of Tracked Vehicle Drive System

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Lahendada ülesanne, kuidas seadistada roomiksõiduki veoajamit
2. Vajalike komponentide määramine
3. Leida seadmed, mis peaksid vastu sõiduki väljundparameetritele

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Probleemi püstitamine ja lahti kirjutamine	30.09.19
2.	Turu uuring	09.10.19
3.	Komponentide määramine	16.10.19
4.	Komponentide valik	30.10.19
5.	Arvutimudeli loomine – koost, detailid, joonised	15.11.19
6.	Koostu analüüsimine	19.12.19
7.	Töö vormistamine ja köitmine	07.01.20

**Töö keel:** ..... **Lõputöö esitamise tähtaeg:** ".....".....202....a

**Üliõpilane:** ..... ".....".....202....a  
/allkiri/

**Juhendaja:** ..... ".....".....202....a  
/allkiri/

**Konsultant:** ..... ".....".....202....a  
/allkiri/

**Programmijuht:** ..... ".....".....202....a  
/allkiri/



**MILREM  
ROBOTICS**

---

Tallinna Tehnikaülikool  
Mehaanika ja tööstustehnika instituut  
Ehitajate tee 5  
12616 TALLINN

09.01.2020

## AVALDUS

Milrem AS palub määrata Martin Migur'i magistritöö kinnisele kaitsmisele seoses Milrem AS ärisaladuse kaitsmisega.

Lõputöös projekteeritava seadme lähteandmed sisaldavad ettevõtte poolt arendatava masina parameetreid, mis on konfidentsiaalsed. Töö avalikustamine tooks kaasa ohu olulise informatsiooni lekkimisele konkurentidele, mis mõjutab otseselt arendatava süsteemi turule toomist.

Palun määrata lõputööle avalikustamise piirang viieks aastaks.

Lugupidamisega

Kuldar Väärsi  
Juhatuse esimees

# SISUKORD

EESSÕNA .....	7
1 SISSEJUHATUS.....	8
2 TESTIMIST VAJAVA ROOMIKSÕIDUKI ANDMED .....	10
3 SEADISTUSPINGI ALGANDMED.....	12
3.1 Testseadme komponendid .....	13
3.1.1 Alusraam .....	13
3.1.2 Reduktor .....	13
3.1.3 Mootor .....	13
4 TURU-UURING.....	14
4.1 Mustang ED-Seeria dünamomeeter.....	14
4.2 Dyno Mite dünamomeeter .....	15
4.3 Mainline Prohub dünamomeeter .....	16
4.4 Toodete võrdlus .....	17
5 UUE LAHENDUSE VARIANDID .....	18
5.1 Funktsiooni struktuur.....	18
5.2 Morfoloogiline maatriks .....	20
5.3 Variant 1 .....	21
5.4 Variant 2 .....	22
5.5 Variant 3 .....	23
5.6 Hindamismaatriks.....	24
6 KOMPONENTIDE VALIK.....	25
6.1 Reduktor .....	25
6.1.1 Wittenstein TP+ 110 Standard .....	27
6.2 Reduktori ja elektrimootori ühendusflants.....	28
6.3 Elektrimootor.....	25
6.3.1 Yasa P400 .....	25
6.4 Kardaani .....	29
6.4.1 Nõuded kardaanvõllile.....	29
6.4.2 Valitud kardaanvõll.....	30
6.5 Võll elektrimootori ja reduktori ühendamiseks.....	31
6.6 Muud komponendid .....	33
6.6.1 Poltliite arvutus kardaanvõlli kinnitamiseks adapteri külge.....	34
7 ALUSRAAMI PROJEKTEERIMINE JA ANALÜÜS.....	36
7.1 Raami mudeli koostamine.....	36
7.2 Raami tugevusanalüüsi ülesseadmine .....	37

7.3 Analüüsi tulemus.....	40
7.4 Analüüs fikseerimata raami korral .....	42
8 KOMPONENTIDE MAKSUMUS.....	44
KOKKUVÕTE .....	45
SUMMARY.....	47
KASUTATUD KIRJANDUS .....	49
GRAAFILINE OSA.....	51

## EESSÕNA

Antud lõputöö teema kujunes välja Milrem AS poolt välja töödatud prototüüpsõiduki arenduse ja testimise soovidest. Kuna valmimas on sõiduki esimene prototüüp, siis on vajalik seda põhjalikult testida ja seadistada, et näha kuidas sõiduk töötab tervikuna. Käesolevas lõputöös käsitletakse roomiksõiduki veoajami seadistuspingsi jaoks vajaliku mehhaaniliste komponentide projekteerimist ja analüüsimist. Kuna ettevõtte suunaks on arendada majasisest teabeinfot ja oskusi, siis oli eelistatud variant luua vastav mõõteseade ise. Töö käigus analüüsitakse analoogseid ostutooteid ja lahendusi, kust ammutada informatsiooni ja teadmisi uue seadme projekteerimiseks. Muidugi juhul, kui on olemas soodsa hinnaga ettevõtte vajadusi täitev seade, siis otsustatakse selle kasuks, mis on majanduslikult otstarbekam.

Autor soovib tänada Milrem AS töotajaid, kes on aidanud kaasa lõputöö arenduskäigule ja kaasa mõelnud lahenduste loomisel.

Samuti soovib autor tänada oma juhendajat Maarjus Kirs'i, kes on töö valmimist suunanud ja autorile abiks olnud, meeldiva koostöö eest.

Märksõnad: prototüüp, roomiksõiduk, magistritöö

# 1 SISSEJUHATUS

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on projekteerida ja valmistada hetkel arenduskäigus olevale prototüüp roomiksõidukile seade, mis võimaldab mõõta sõiduki poolt toodetavat võimsust ja väljundpöördeid. Tegemist on hübriidajamiga varustatud roomiksõidukiga, mille prototüübi testimise plaani kuulub ka autorile lahendamiseks antud veojõustendi projekt. Uudse sõiduki prototüüpimine ja selle testimine, on väga tähtis osa potentsiaalse uue toote välja töötamiseks, kuna võimaldab hinnata süsteemi koostööd tervikuna. Töö käigus käsitletakse mõõteseadme mehaanilist osa. Elektrisüsteeme, elektrisüsteemi ohutust ja juhtimisloogikat käesolev lõputöö ei sisalda.

Esimeses etapis kirjeldatakse mõõteseadet vajava sõiduki algandmeid, mille järgi on võimalik uurida edasi turul pakutavaid lahendusi. Väga tähtis on kindlaks määrata vajalikud nõuded, mida peab mõõteseadme täitma, mistõttu koondatakse kõik nõudmised ühte tabelisse, kust on neid võimalik kergesti jälgida. Peale nõuete täpsustamist ja paika panemist tuleb autoril hakata välja mõtlema komponente, mis võimaldavad tagada mõõteseadme nõuetekohase paiknemise ruumis ja sõiduki suhtes, ning mis täidaksid ära ka etteantud nõuded.

Teises etapis uuritakse hetkel turul olevaid analoogseid süsteeme. Turu uuringu eesmärk on ammutada informatsiooni olemasolevate süsteemide toimimise kohta. Selle tulemusena tekib ettekujutus, milliseid komponente on vaja ja milliseid mitte. Autor uurib vähemalt kolme erineva tootja pakutavat toodet, mida tuleb omavahel võrrelda ning välja selgitada, kas on vajalik uue seadme projekteerimine, või on olemas turul pakutav seade, mis täidab kõik etteantud nõudmised. Toodete võrdlusel tekkinud andmete seast valitakse välja kõige olulisemad ning võrreldakse erinevaid ostutooteid samade parameetrite järgi, mis aitab välja selgitada kõige sobivama seadme ostutoodete seast.

Turu uurimise järgselt analüüsitakse tooteid ja tuuakse välja funktsioonid, mida toodete iga tähtsam komponent täidab. Funktsioonide kirja panemine ja määramine on väga oluline osa uue seadme projekteerimisel, kuna nende põhjal koostatakse morfoloogiline maatriks, kus on välja toodud erinevad lahenduse viisid eeltoodud funktsioonide täitmiseks. Morfoloogilisse maatriksisse koondatakse võimalikult palju erinevaid versioone, mille seast valitakse välja kõige potentsiaalsemad lahendused funktsioonidele, mille põhjal saab juba teha esimesed sammud lahenduskäigu poole.

Morfoloogilise maatriksi põhjal koostatakse kolm võimalikku lahenduskäiku, mille juures kirjeldatakse iga versiooni kohta nende tugevused ja nõrkused. Välja valitud variantidest koostatakse hiljem hindamismaatriks, mille tulemusena tuleb välja kõige sobilikum lahendus süsteemi koostamiseks.



Seejärel algab seadme koostamiseks vajalike komponentide põhjalikum otsimine. Igast detailist tuleb luua ka arvutimudel, mis võimaldab luua komponentidest koostu, mille põhjal on võimalik alustada mõõteseadme aluskonstruktsiooni loomist, mis fikseerib mõõteseadme ja võimaldab mõõdetavat sõidukit ühendada seadmega.

Autor kasutas töö tegemiseks kontoritarkvara Microsoft Office paketist Word ja Excel programme. Arvutimudelid ja joonised koostati Dassault Systeme tootja programmis Solidworks 2019. Tugevusanalüüsid koostati kasutades programmi Solidworks 2019 Simulations paketti.

## 2 TESTIMIST VAJAVA ROOMIKSÕIDUKI ANDMED

Milrem AS tegeleb mehitamata maismaasõidukite (UGV) arenduse, tootmise ja testimisega. Ettevõtte on tegutsenud oma valdkonnas alates 2013. aastast. Milrem AS loob sõidukeid turva ja militaar, kommerts ja põllumajanduslikele ettevõtetele. Sõiduk mida pakutakse, on nimega THeMIS (Sele 2.1), mis teisiti nimetades on modulaarne hübriidajamiga roomiksõiduk. Tegemist on esimese hübriidajamiga täismodulaarse mehitamata sõidukiga maailmas. Modulaarseks teeb sõiduki tema keskmine platvorm, kuhu on võimalik paigutada erinevaid konstruktsioone. Sõiduki riistvara ning tarkvara on paigutatud masina mõlematesse pooltesse, tänu millele on tagatud tühi keskplatvorm. Ühes sõiduki pooles paikneb akusüsteem ja teises diiselmootor, mis töötab generaatorina. Tänapäevaks on Milrem müünud sõidukeid laialdaselt üle maailma eri riikidesse ja erinevatele robotikaga tegelevatele ettevõtetele. Masina kandevõimeks on 750 kg, neto mass on 1400 – 1500 kg vahemikus.

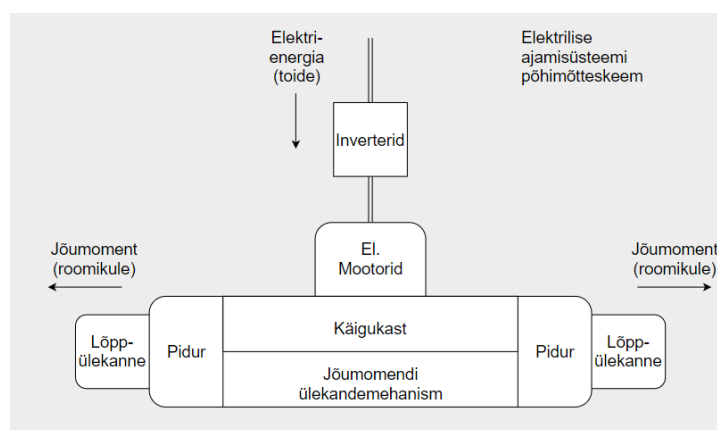
Sõiduk on pidevas arenduses nii mehaaniliste vigade parandamisel kui ka tarkvara optimeerimise osas. Päevast päeva muutub sõiduk paremaks, ökonoomsemaks ja samuti tehniliselt võimekamaks. UGV on testosakonna poolt ka põhjalikult testitud, nii takistusradadel kui ka Mali-s sõjaväeüksuse toetamisega.

Ettevõttes on hetkeseisuga ligi 120 inimest, ning see number näib iga kuuga kasvavat. Võib eeldada, et nõudlus toodetele on suur ning samuti töötajate huvi ettevõtte vastu. Otsitakse pidevalt juurde uusi ja andekaid kolleege, kes aitaksid kaasa ettevõtte arengule. Milrem on samuti osalenud edukalt paljudel kaitsetööstuse ja robotika alastel messidel.



Sele 2.1 THeMIS UGV [1]

Milremil on käsil uudse elektrilise ajami süsteemiga roomiksõiduki väljatöötamine, prototüüpimine ning samuti ka testimine. Peamisteks sõiduki veoajami komponentideks on inverterid, elektrimootorid, jõuülekanne mehhanism ja juhtelektroonika (Sele 2.2). Tegemist on hübriidajamiga sõidukiga, kuhu on paigaldatud nii diiselmootor kui ka elektrimootor. Sõiduki prototüüpimise ja testimise jaoks on vajalik ka seade, millega on võimalik jälgida ja seadistada elektrilise veoajami võimsust ja seda vastavalt seadistada, et tagada optimaalne ajami töö. Sõiduk on varustatud kokku viie elektrilise mootoriga, millest kahel on eesmärk sõidukit keerata, vastavalt siis ühe poole roomikut kiirendades või aeglustades. Selleks, et kõik mootorid töötaksid nii nagu vaja, tuleb need sellele vastavalt häälestada.



Sele 2.2 Sõiduki skeem

Roomiksõidukil on kolm veomootorit, mille maksimaalne kombineeritud võimsus on 450 kW. Sõiduk kuulub 12...15 t sõidukite kategooriasse. Lisaks kolmele veomootorile on sõidukil ka kaks mootorit mida kasutatakse sõiduki pööramiseks. Vastavalt siis ühte roomikut teise suhtes aeglustades või kiirendades.

Tabel 2.1 Sõiduki andmed

Parameeter	Väärtus
Laius (mm)	2900
Kõrgus (mm)	2200
Maksimum pöördemoment testiks (Nm)	2000
Väljundflantsi maksimum pöörded (p/min)	900
Väljundflantsi läbimõõt (mm)	200

### 3 SEADISTUSPINGI ALGANDMED

Milrem AS on arendamas uut tüüpi roomiksõidukit, mille planeeritud testimise plaani kohaselt, on vaja testida ja seadistada ka elektriliste veomootorite väljundkarakteristikuid. Testplaanist tulenevalt, anti töö autorile ülesandeks projekteerida ja valmistada seade, mida on võimalik kasutada suuregabariidilise roomiksõiduki kolme elektrimootori väljundvõimsuse määramiseks ja vajalike muudatuste tegemiseks. Sõidukil paiknevad mõlemal küljel diferentsiaalide väljundflantsid, kuhu on vaikimisi kinnitatud veotähik ja selle peale roomik, mida elektrimootor omakorda ringi ajab.

Roomiksõiduki testimise võimalikkuse tagamiseks on vaja masin pinki seada ilma veotähiku ja roomikuta, mis omakorda võimaldab luua väiksemate gabariitmõõtudega testseadet. Sõiduki ehitusest tulenevalt, on vaja täielikuks seadistuseks testseadet sõiduki mõlema külje peale samaaegselt.

Suur rõhk tuleb panna seadme ohutuse tagamiseks operaatorile ja ümbritsevatele isikutele. Ohutuse tagamiseks tuleb katta kõik liikuvad osad, vältimaks juhuslike lahtiste riidesemete haakumist seadme liikuvate osade vahele ning samuti ka tolmu ja muude õhus olevate osakeste laiali paiskumise vähendamiseks. Kuna sõiduki väljundi pöörded on kuni 900 p/min (Tabel 2.1) siis on nõutud ka reduktori kasutamist, et vähendada väljundi väändemomenti mõõteseadmele ja tõsta pöörlemissagedust, kuna kasutusel on väikse mõõtmeline elektrimootor, mis tulenevalt oma ehitusest töötab kõrgetel pööretel.

Tabel 3.1 Nõuded seadmele

<b>Nõuete loetelu:</b>
Väljundpöörded on vaja kiirendada 9...10x
Reduktor peab vastu võtma 900 p/min / 2000 Nm
Teistpidi töödotes peab reduktor vastu võtma 8000 p/min / 370 Nm
Lihtne ühendus testsõiduki ja seadme vahel
Valmistamise ja tootmise lihtsus
Kompaktne, vähese ruumikuluga
Statsionaarne seade
Ergonoomilisus – eelkõige seadme ühendamisel sõidukiga
Turvaline
Pidurdamise võimalus – simuleerida sõiduolukorda
Seadme maksimum kaugus sõidukist 1,5 m

## **3.1 Testseadme komponendid**

Seade koosneb kolmest põhikomponendist: raam, reduktor, mootor. Komponentide valikul tuleb arvestada sõiduki mootorite poolt tekitatud väändemomendiga. Tuleb projekteerida sobiv konstruktsioon, mis võimaldaks kõikide komponentide paigaldamise raamile ning peab vastu tekkivatele jõududele.

Seadme ettevalmistuseks sõiduki külge ühendamisel on vajalik testsõiduki paigaldamine platvormile. Sõiduki alusplatvorm on eraldi projekteeritud rakis, ning seda siin magistritöös ei käsitleta. Platvorm on vajalik selleks, et tõsta sõiduk maast lahti ja oleks võimalik eemaldada roomik ning veotähik, kuna mõõteseade kinnitub sõiduki diferentsiaali väljundflantsi külge.

### **3.1.1 Alusraam**

Raam peab olema võimalikult kerge ja lihtsasti koostatav, ning seejuures tagama ohutuse seadme kasutajale ja ümbritsevatele isikutele. Kuna koormus käib kahes suunas – sõidukilt testseadmele ning samuti peab testseade olema võimeline läbi elektrimootori mõju avaldama ka sõidukile endale. See seab raamile juba keerukamad tingimused töötamiseks ning lisaks tuleb projekteerida raam vastavalt, et see oleks võimalikult jäik ja võimeline vastu võtma jõumomenti mõlemasuunaliselt.

### **3.1.2 Reduktor**

Testseadme väga oluline komponent on reduktor. Mootori väljundvõllist on maksimaalne pöörlemissagedus 900 p/min, mis tuleb kiirendada 9...10 kordselt, et oleks võimalik mõõta mootorite poolt tekitavat väändemomenti. Reduktor tuleb leida sobiv ostutoode, mis antud tingimusi ka täidaks. Kuna jõumoment ulatub sellisel juhul pea 2000 Nm, siis seab see rasked tingimused nii reduktorile kui ka seadme raamile.

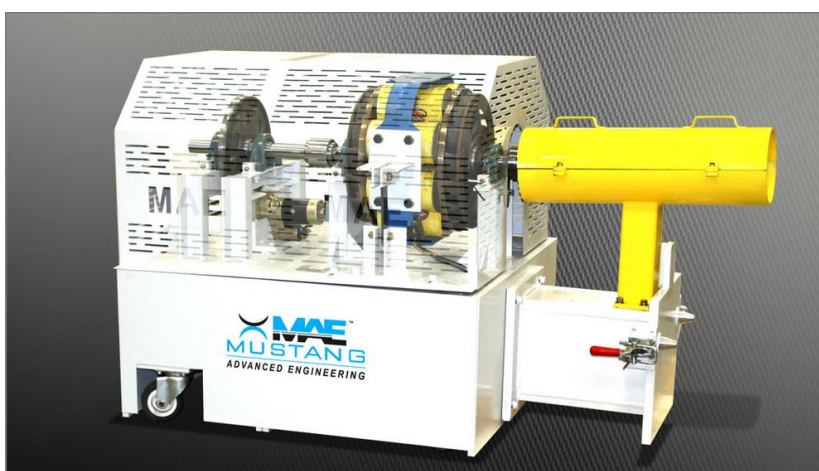
### **3.1.3 Mootor**

Mootori ülesandeks on sõiduki poolt avaldatud pöörlevale liikumisesele vastujõu avaldamine. Samuti lisab see ka erinevaid testivõimalusi, kus on võimalik avaldada koormust sõidukile, mis simuleeriks erinevaid sõidutingimusi. Sel viisil koormamine võimaldab ka sõiduki teiste sõlmede head katsetamist, näiteks jahutussüsteemi, mida on võimalus koormatud sõidukiga kontrollida.

## 4 TURU-UURING

Turu-uuringul võeti arvesse ülesandes püstitatud tingimusi (Tabel 3.1) ja püüti leida võimalikult sobilike lahendusi antud ülesande täitmiseks. Sõiduki gabariitide ja testimise tingimuste tõttu jäid kohe loetelust välja enamlevinud rullikutega dünamomeetrid. Turu-uuringut tehes leiti ligilähedasi variante, kust töö autor sai juurde nii mõnegi idee oma seadme projekteerimiseks.

### 4.1 Mustang ED-Seeria dünamomeeter



Sele 4.1 Mustang ED dünamomeeter [2]

Ettevõtte nimega Mustang Advanced Engineering, on USA-s asetsev ettevõtte, mis tegeleb peamiselt dünamomeetriliste seadmete tootmisega. Käesolevaks võrreldavaks seadmeks valiti Mustang ED seeria mootori dünamomeeter (Sele 4.1). Neil on väga lai tootevalik (Sele 4.2). Antud dünamomeetreid pakutakse 130 HP kuni 2250 HP mootorite testimiseks. Autorile jäi silma ED 70-10 mudeliga toode. Seda on olemas erinevates konfiguratsioonides. Seade on õhkjahutusega ja hooldevaba. Samuti on võimalik juurde osta kõiksugu erinevaid lisaseadmeid.

Model #	Brake HP	Brake Torque (lb-ft)	Max Speed (RPM)	Moment of Inertia (lb-ft <sup>2</sup> )	Hot Capacity* (%)	Continuous Capacity <sup>2</sup> (%)
ED40-10	130	284	10,000	7	50	30
ED40-20	260	568	10,000	14.5	50	30
ED70-10	250	570	9,500	14	50	30

Sele 4.1 Tootevalik [2]

Antud seadmel on jõuallikas ühendatud dünamomeetriga kardaanühendust kasutades.

Seadme komplekti kuuluvad lisaks [3]:

- EDtCell düno controller, tarkvara ja arvuti koos ekraaniga
- Andmeside moodul
- Testseadme rakis
- Kardaani
- Katmikud

## 4.2 Dyno Mite dünamomeeter

Tegemist on Dyno Mite nimelise ettevõttega, mis asub samuti USA-s. Antud ettevõtte tegeleb samuti dünomomeetrite seadmete tootmise ja arendamisega. Nendel on tootevaliks laialdaselt erinevaid seadmeid. Käesoleva ettevõtte tootevalikust valiti välja *Axle-hub dyno* (Sele 4.3), mis on mõeldud mõõtma jõudu sõiduki rattarummu pealt. Seade ühendatakse sõiduki külge adapteritega, millel on kiirliitmiku võimalus. Antud seade on võimeline mõõtma kuni 1000 hobujõulist jõuallikat [4].



Sele 4.3 Dyno Mite dünamomeeter [5]

Seadmete hinnavahemik on 30 000 – 225 000 USD [5]. Kui valida 2WD versioon, siis kuulub komplekti kaks mõõteseadet, kontrollier, termolülitiga jahutusventilaatorid, kiirliitega adapterid sõidukiga ühendamiseks, Dynamite-lite tarkvara koos arvutiga ning veel mõned lisaseadmed.

Võimalus osta ka rohkem seadmeid ja neid omavahel sünkroniseerida. Võimalik simuleerida sõidutingimusi

### 4.3 Mainline Prohub dünamomeeter

Tegemist on Austraalias tegutseva ettevõttega, kes on samuti keskendunud dünamomeetriliste stendide tootmisele. Ettevõtte Mainline tootevalikust valiti samuti variandi, mis on kinnitav rummu külge (Sele 4.4), antud kinnitusviis on kõige sobilikum seadme kinnitamiseks sõiduki külge. Rummu külge kinnitatavate seadmete tööväljad on 2000 – 5000 hp.

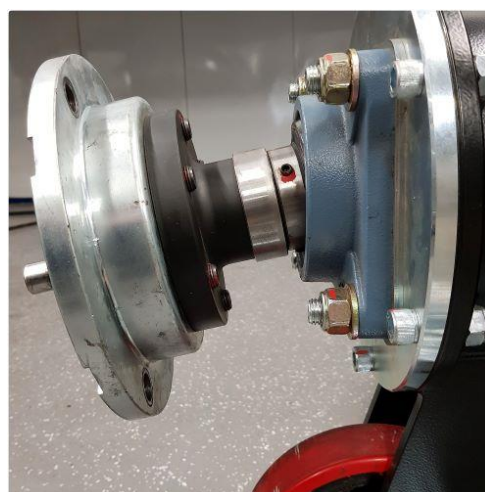
Stendid vajavad maa külge eelkinnitatud aluseid, tagamaks mõõteseadme stabiilsuse. Töösükli ajaks tõstetakse mõõteseadme aluse peale, kuhu ta kinnitatakse. Mõõtmise alustamiseks tuleb sõiduk paigutada mõõteseadme lähedusse ning seejärel ühendatakse seade sõiduki rattarummu külge (Sele 4.5).

Kõige odavam seade maksab 60 000eur [6]. Seade on eelkõige mõeldud kiirendusautode seadistamiseks.

Seadme kinnitamiseks tuleb rattapolte kasutades keerata rummu külge adapter, seejärel ühendatakse mõõteseadme liigendiga pea adapterflantsi külge.



Sele 4.4 Mainline dünamomeeter [7]



Sele 4.5 Dünamomeetri liigendiga flants [7]



## 4.4 Toodete võrdlus

Erinevate toodete võrdlusest (Tabel 4.1) tuleb välja, et ükski uuritud seade ei ole sobilik kasutamiseks käesoleva roomiksõiduki mootorite seadistamiseks. Peamiseks probleemiks on toodete hinnad ning kuna tegemist on peamiselt USA ettevõtetega, siis kulub tarnimise peale palju aega ja ressursi. Esimesed kaks vaadeldavat dünamomeetrit oleksid sobilikud just nende kerge teisaldatavuse tõttu, kuna need mõlemad mõõteseadmed on varustatud ratastega, mis annavad seadmele juurde mugavust selle liigutamisel. Viimane valitud seade vajab kindlat ja fikseeritud asukohta, mistõttu on sõiduki paigutamine seadmele sobivasse kohta keerukas ja raske, eelkõige sõiduki suure massi tõttu. Uuringu tulemusena tuli autor järeldusele, et majanduslikult otstarbekam on vajalik seade ise valmistada.

Tabel 4.1 Eelnimetatud toodete võrdlus

<b>Tootja</b>	<b>Mustang ED</b>	<b>Dynomite</b>	<b>Mainline Prohub</b>
Hind (eur)	-	35 000	60 000
Ühendusmeetod	Kardaan	Kiirühendus	kiirühendus
Võimsus (hp)	250	Kuni 1000	Kuni 5000
Piirangud sõiduki mõõtudele	Puuduvad	Puuduvad	Puuduvad
Teisaldatavus	Lihtne	Lihtne	Raskendatud

## 5 UUE LAHENDUSE VARIANDID

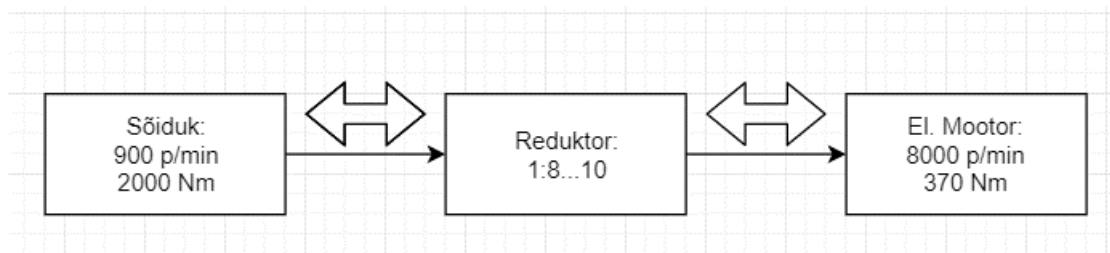
Püstitatud ülesande lahendusele lähemale jõudmiseks tuli kokku võtta kõik eelnevalt uuritud versioonid ning juurde mõelda ka võimalikke variante. Eelnevalt kogutud informatsioon koondati ning selle baasil loodi morfoloogiline maatriks (Tabel 5.1), mis sisaldab endas kõiki seadme tähtsaid sõlmi, koos erinevate võimalustega nende lahendamiseks. Kuna variante, mida kokku sobitada on palju, siis arutas töö autor võimalikke variante läbi peainseneridega ning samuti ka töö juhendajaga.

### 5.1 Funktsiooni struktuur

Lõpliku lahenduseni jõudmiseks on vajalik kirja panna kõik funktsioonid, mida seade peab kindlasti täitma. Hea ülevaate tagamiseks on soovituslik koondada kõik seadme tähtsamad ülesanded kokku, mille põhjal on võimalik juba edasi tegutseda ja hakata analüüsima erinevate seadme funktsioonidele erinevaid lahendusi, mis lihtsustab ja annab hea ülevaate projekteeritavast seadmest.

Funktsioonid:

- Jõuülekanne – jõuülekanne eesmärgiks on sõiduki poolt tekitava pöördemomendi ja kiiruse üle kandmine seadmesse, mis kiirendaks sõiduki väljundpöördeid 8...10 kordselt. Reduktori teise otsa on ühendatud ka elektrimootor, kuna vajalik on momendi kandmine sõiduki suhtes mõlemas suunas (Sele 5.1).



Sele 5.1 Testseadme skeem

- Raami konstruktsioon – Raam on antud seadme loomise juures tähtsal kohal. Raam peab olema võimeline kinnitama reduktori ja elektrimootori, olema piisavalt jäik, et ei puruneks kõrgema koormuse all. Raam peab olema piisavalt liigutatav / reguleeritav, et oleks võimeline tagada sõiduki väljundflantsi ja reduktori flantsi samateljelisus.

- Ohutus – oma kiirelt liikuvate osade tõttu tuleb panna rõhku ka ohutuse tagamiseks seadme operaatorile. Ohutuse tagamiseks tuleb kinni katta enamik või võimalusel kõik liikuvad osad, mis takistab õhus ja ümbruskonnas asuva prahi ringi paiskamise, välistab võimaluse, et mõni riideese või inimese käsi ei pääse töötava seadme liikuvate osade vahele ning samuti takistab näiteks purunenud poldi või muu detaili paiskamist seadmest kaugemale eemale.
- Sõiduki koormamine – sõiduki koormamine on vajalik element seadistamiseks, mis võimaldab näha kuidas käitub testsõiduk erinevate koormuste all, võimaldab hinnata nii veomootorite tööd kui ka jahutussüsteemi efektiivsust.
- Teisaldatavus – kuna ruumikulu on samuti kulu, siis peab olema võimalik seadet liigutada. Sõiduki liikumist lubav element tuleb valida nii, et see oleks võimalik teisaldada või fikseerida töötsükli ajaks, mil seade peab püsima omal kohal.
- Seadme kinnitus – seadme kinnitamisega töötsükli ajaks on võimalik muuta mõõteseademe ehitus kompaktsemaks ja kergemaks, kuid vähendada teisaldamise lihtsust. Samas, kui mõõteseadet on paigaldatud põrandale ja teda hoiab paigal vaid oma mass, muutub alusraami konstrueerimine oluliselt keerukamaks ja suurenevad ka gabariitmõõdud. Antud funktsiooniga tuleb leida optimaalne lahendus, mis tagab seadme tugeva paigutuse töötsükli hetkel kui ka lihtsa teisaldatavuse ajal, mil seadet ei kasutata.
- Väljundpöörete suurendamine – kuna sõiduki väljundmoment on kõrge ja seda mõõta raske, siis võeti vastus otsus pöörete kiirendamiseks, millest tulenevalt ka jõumoment langeb. Juhul kui pööreid ei kiirendata, siis tuleb kasutada mõõtmiseks elektrimootorit, mis on suure võimsusega ning madala pöörlemissagedusega, kuid seda tüüpi mootorid on oma gabariitide poolest oluliselt suuremad ja raskemad, millest tulenevalt tehti selline otsus.

## 5.2 Morfoloogiline maatriks

Peale seadme vajalike funktsioonide kindlaks tegemist on vaja alustada iga funktsiooni jaoks sobilike lahendusvariantide leidmist. Kirja pandi iga funktsiooni täitmise kohta neli kuni viis varianti. Autor koondas kõik funktsioonid koos võimalike lahendustega morfoloogiliseks maatriksiks (Tabel 5.1). Morfoloogiliseks maatriksiks nimetatakse ühedimensioonilist korrastusskeemi, mille ridadesse on kirjutatud lahendid, mis vastavad igas veerus olevatele funktsioonidele. Antud kujul maatriksi loomise eeliseks on kindlasti lahenduskäigu jälgimise lihtsuse tagamine ning samuti paljude lahendite leidmine.

Tabel 5.1 Morfoloogiline maatriks

Jõuülekanne	Kardaan	2 flantsiga kiirliide	Püsikiirusliigendiga veovõll	Poltühendus	Hammas ülekanne
Raami materjal	Teras	Alumiinium	Alu.Profiil (minitec)	Komposiit	
Ohutus	Liikuvate osade katmine	Ohunupp	Inimene seadmest kaugemale	Terve seade kinni katta	
Sõiduki koormamine	Elektrimootor	Lisa pidur	Mehaaniline pidur	Koormamata	
Teisaldatavus	Ratastel raam	Rokla võimalus	Kahveltõstuk	Statsionaarne	
Seadme kinnitus	Sõiduki kere külge	Ankurdatud töökoja pörandasse	Piduritega rattad	Raam pörandapinnal	
Pöörete vähendamine	Reduktor	Rihmarataste ülekanne	Käigukast		

## 5.3 Variant 1

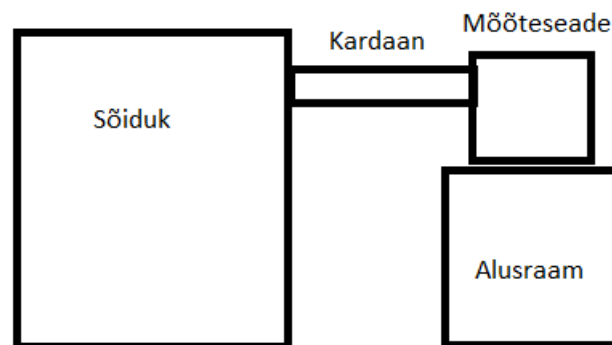
Sõiduk on paigaldatud platvormile, roomik on eemaldatud. Sõiduki väljundflantsi külge ühendatakse veokardaan, mis kannab sõiduki väljundvõimsuse edasi mõõteseadmesse. Mõõtesead on ankurdatud töökoja põrandale külge, fikseerimaks ta paigale töötükli käiguks.

Eelised [8]:

- Lihtsus
- Seade ei pea olema täpselt kohakuti sõidukiga
- Töökindel
- Vaikne

Puudused [8]:

- Ruumikulu keskmine
- Koostamismugavus madal
- Ülekande kadu keskmine
- Suurem mass



Sele 5.2 Eestvaade

## 5.4 Variant 2

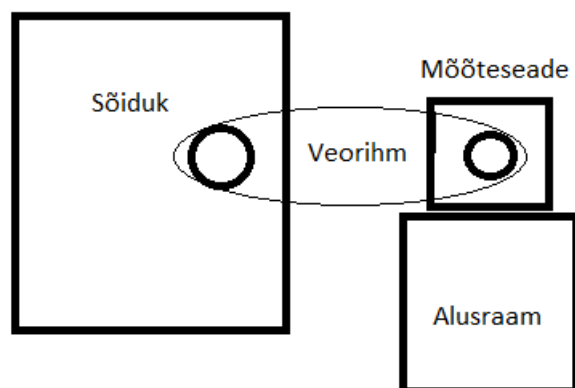
Sõiduk on paigaldatud platvormile, roomik on eemaldatud. Sõiduki väljundflantsi ja reduktori flantsi külge tuleb kinnitada rihmarattad. Mõõteseade on fikseeritud töökoja põranda külge. Kuna tegemist on rihmülekandega, on vajalik ka rihma pingutamise seade, mis tuleb kas eraldi rullik, või toimub pingutamine seadme eemale viimisega sõidukist.

Eelised [9]:

- Odav
- Võimalik hoida rohkem ruumi kokku kui kardaanil korral
- Rihm kergesti vahetatav kuluosa
- Lihtne ehitus ja kasutatavus
- Vaikne
- Ei vaja määrimist
- Võime läbilibisemisega kaitsta ülekoormuse eest

Puudused [9]:

- Vajab lisakomponente – pingutamise mehhanism, rihmaratta paigaldus jms
- Rihma libisemise oht ja lühike tööiga
- Rihma libisemise korral muutuv ülekandearv
- Rihma rattad peavad olema asetsetud sama-teljeliselt, et vältida intensiivset kulumist
- Seade peab asetsema sõidukist taga pool, võib tekkida ruumipuudus



Sele 5.3 Külgvaade

## 5.5 Variant 3

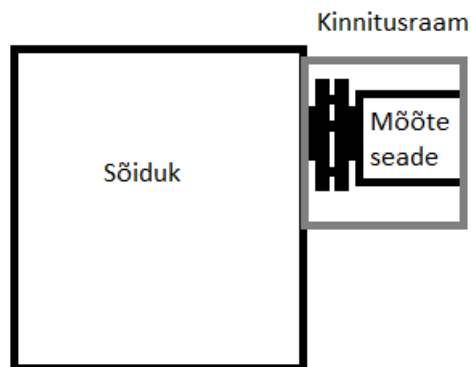
Sõiduk on paigaldatud platvormile, roomik on eemaldatud. Sõiduki väljundflantsi külge kinnitatakse polditav adapter, mille külge ühendatakse mõõtesead. Mõõteseadme poolne flants on liigendiga, et vähendada samateljelisuse vajadust. Mõõteseadme raam kinnitatakse sõiduki kere külge. Tänu liigendiga flantsi otsale, on lubatud ka kerge ebatäpsus.

Eelised:

- Kompaktne
- Väike ülekande kadu
- Lihtne üles seada

Puudused:

- Sõiduki külge kinnitamiseks ja ohutuse tagamiseks on vaja kasutada tõstukit
- Freesitud adapter flants võib olla kulukas
- Vajab jäigemal kinnitusraami



Sele 5.4 Eestvaade

## 5.6 Hindamismaatriks

Sobiva variandi valikuks koostas autor hindamismaatriksi (Tabel 5.2), kus anti igale nõudele oma kordaja ning erinevaid variante võrreldi 5 punkti skaalas. Tabeli tulemusena, variant mille punktisumma on kõige kõrgem, see on ka kõige otstarbekam lahendus antud ülesandele. Antud olukorras sai kõige parema punktisumma esimene variant (Sele 5.2), eelkõige oma süsteemi minimaalse lõtku ja lihtsuse tõttu. Kuna jõud liiguvad seadmes mõlemas suunas, siis rihmülekanne muutuks liiga keerukaks, ning sõiduki külge kinnitamise variant samuti ei ole kõige parem, kuna sõiduki külge kinnitamiseks puuduvad vajalikud kinnituskohad, mis võimaldaksid seadme piisava jõuga kinnitamist testsõiduki külge.

Tabel 5.2 Hindamismaatriks

<b>Nõue</b>	<b>Osatähtsus</b>	<b>Variant 1</b>	<b>Variant 2</b>	<b>Variant 3</b>
Ülesseadmise aeg	0,07	4	5	5
Koormuse simuleerimine	0,07	5	3	5
Mõõdetav võimsusevahemik	0,11	5	5	5
Maksumus	0,11	4	5	3
Teisaldatavus	0,04	5	5	4
Mass	0,07	3	4	5
Universaalsus	0,07	4	5	4
Ohutus	0,11	5	3	5
Töökindlus	0,11	5	3	5
Täpsus	0,11	5	3	5
Projekteerimise lihtsus	0,11	5	5	3
Tulemus:	1,00	4,59	4,11	4,44



## **6 KOMPONENTIDE VALIK**

Peale nõuete selginemist ja toodete võrdluse tulemusi, alustati seadmete otsimise ja valimisega, mis oleksid võimelised täitma nõutud tingimusi. Komponentide valik põhineb eri ettevõtete ja kolleegidega konsulteerimisel ning lisaks erinevate otsingumootorite kasutamise tulemusena. Detailide valikul eeliseks, lisaks nõuete täitmisele, oli CAD mudelite olemasolu, mis lihtsustab oluliselt järgnevate protsesside kulgu. Käesolev peatükk koosneb valitud elektrimootori, reduktori, kardaaani ja ülejäänud osade valikust ja lühituvustusest.

### **6.1 Elektrimootor**

Elektrimootori peamine ülesanne käesolevas lõputöös on sõiduki koormamine. Mootor avaldab pidurdusjõudu sõiduki väljundile läbi neid ühendava reduktori. Mootori valikul on tähtis, et tema dimensioonid oleksid võimalikud väikesed ja ta sobiks kokku nii reduktori ülekande arvuga kui ka sõiduki poolt tekitavate väljundvõlli pööretega ja pöördemomendiga. Elektrimootor on otse ühenduses reduktoriga läbi võlli. Peale reduktori ja elektrimootori valikut on võimalik hakata projekteerima nende komponentide jaoks alusraami ning võlli nende komponentide ühendamiseks.

#### **6.1.1 Yasa P400**

Antud mootor valiti tänu tema sobivuse eeltoodud tingimustega ning samuti on mootor ettevõttel olemas ja võimalik antud seadme jaoks rakendada. Tegemist on püsimagnet elektrimootoriga. Yasa elektrimootorid on oma võimsusklassis kõige väiksemad ja kergemad, mis teevad antud mootori väga hästi sobivaks testseadmes kasutamiseks. Antud mootorit kasutatakse laialdaselt erinevates valdkondades, näiteks:

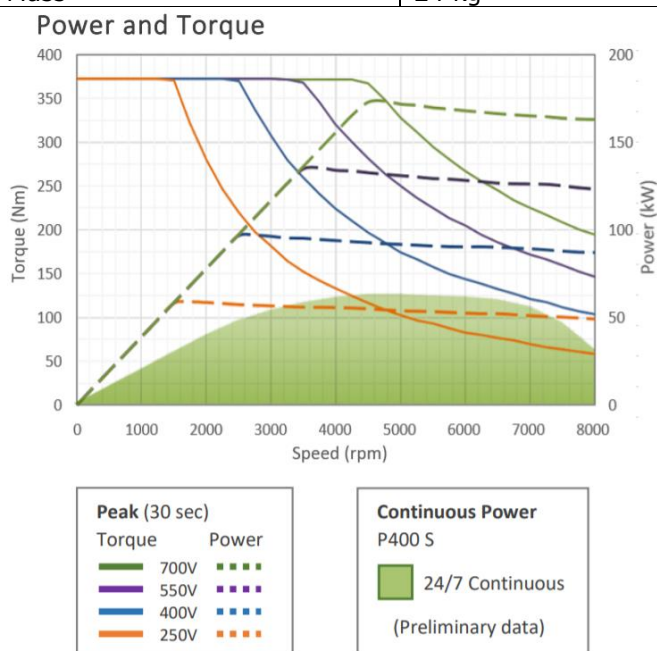
- Raudteetehnikas, merelaevadel nii hübriid kui ka täiselektrilistes süsteemides,
- Generaatorites, eelkõige tingimustes, kus on vajalik väikeste mõõtmetega ja kerge seade
- Hüdraulikas, kompaktne ja efektiivne alternatiiv hüdraulilistele mootoritele.



Sele 6.1 Yasa P400 mootor [11]

Tabel 6.1 Elektrimootori andmed

Mõõtmed (diameeter x paksus)	305 mm x 80,4 mm
Võimsus	160 kW
Pöördemoment	370 Nm
Pööretevahemik	0 – 8000 p/min
Mass	24 kg



Sele 6.2 Elektrimootori karakteristik [11]

## 6.2 Reduktor

Kõige keerukam koostu osa on reduktor. Reduktori ülesandeks on tõsta sõiduki väljundvõlli pööreid ja vähendada pöördmomenti, et viia need sobivusse elektrimootori näitajatega. Reduktorit on vaja eelkõige elektrimootori tõttu, kuna levinumad võimsad elektrimootorid, mis oleksid võimelised sõiduki poolt tekitavat pöörlemissagedust ja

momenti vastu võtma on oma gabariitide poolest väga suured, siis on vaja muuta sõidukist väljuvad jõud sobivaks väiksemate gabariitidega elektrimootori jaoks, mis vajab võimsuse tootmiseks kõrgemaid pöördeid. Seetõttu on vajalik sõiduki pöördeid kiirendada, et oleks võimalik kasutada väiksemamõõtmelist elektrimootorit. Väiksem elektrimootor lisaks oma väiksematele gabariitmõõtudele on ka oluliselt kergem, mis võimaldab antud hetkel mõõteseadet projekteerida madalama massiga, mis avaldavad oma mõju seadme teiseldamises, ohutuses ja kasutusmugavuses.

Reduktori valikul kontakteerus töö autor väga paljude erinevate ettevõtetega. Valikus oli ettevõtteid kes tegelevad vaid reduktoritega kui ka neid kes tegelevad laialdasemalt tööstustehnika valdkonnas. Ettevõtted asuvad peamiselt Eestis:

- ABB – tegeleb tööstusautomaatika, ajamitega, robotika jpm.
- Venten – tegeleb rasketööstuses kasutatavate kulutarvikutega
- Alas-kuul – tegeleb tööstusseadmete ja komponentide müügi ja hooldusega
- Stokker – tegelevad tööriistade, masinate ja muu tehnikaga

Samuti saatis autor päringuid ka välismaa ettevõtetesse, kes tegelevad erinevate käigukastide ja reduktorite tootmise ja müümisega, näiteks:

- Eiemaskin – tegemist on Rootsi ettevõttega, kes tegeleb jõuülekanne komponentide ja lineaarsüsteemide edasimüügiga.
- Dana – tegemist on Itaalia ettevõttega, mis tegeleb jõuallikate ja jõuülekanne komponentide tehnoloogiate arendusega.
- Wittenstein – Saksamaa ettevõtte, tegeleb tööstuslike seadmete, tootmise, müügiga.

### **6.2.1 Wittenstein TP+ 110 Standard**

Kuna ei leitud täpselt nõutud tingimusi tagav reduktorit, siis autor valis kõige võimekama reduktori müügil olevate seast. Wittensteini puhul on tegemist Saksamaa ettevõttega, mis tegeleb servo käigukastide, mootorite, regulaatorite, aktuaatorite jpm. selle laadsete seadmete projekteerimise, valmistamise ja müügiga. Ettevõtte asustati 1949. aastal Igersheimis, Saksamaal.

TP+110 reduktor (Sele 6.3) valiti, kuna tegemist on kompaktse seadmega, mida on võimalik paigaldada mõõtmise süsteemi, tehes mõned üldisemad muudatused. Reduktori valikul peamised piirangud seadis Yasa elektrimootori kõrged maksimum pöörded. Tulenevalt reduktori ülekandearvust (Sele 6.4), on võimalik elektrimootori pöörded viia kuni 4500 p/min.



Sele 6.3 Reduktor TP+110 Standard [10]

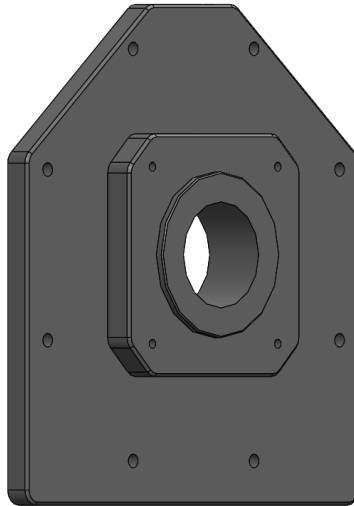
Product characteristics		Performance data	
Designation: TP110S-MF1-5-0K1-2S		Max. torque $T_{2a}$	2,560 Nm
Product type	TP+	Emergency stop torque	3,075 Nm
Size	110	Max. input speed	4,500 min <sup>-1</sup>
Characteristic	Standard	Permitted average input speed	1,500 min <sup>-1</sup>
Gearbox model	STANDARD	Max. tilting moment	3,280 Nm
Stages	1	Max. axial force	10,050 N
Ratio	5	Max. lateral force	0 N
Output shape	Flange	Moment of inertia	34.63 kgcm <sup>2</sup>
Clamping hub diameter	38 mm	Weight	30 kg
Max. backlash	Standard ≤ 3 arcmin	Lubrication	Lubricated for life
Gearbox material number	20032167	Max. permitted housing temperature	90 °C
<b>Motor mounting parts</b>		Protection class	IP 65
		Operating noise	68 dB(A)
		Paint	Innovation blue
Adapter plate material number	20032661		

Sele 6.4 Reduktori andmeleht [10]

## 6.3 Reduktori ja elektrimootori ühendusflants

Reduktor ja elektrimootor on ühendatud omavahel läbi võlli. Antud lahenduse korral on vajalik, et ühendusvõlli ei tekiks liigseid võlliga ristisuunas jõudusid, mistõttu tuli välja mõelda lahendus, mis võimaldab nii mootori kui ka reduktori paigaldada nii, et võlli ühenduspunktid mõlemas seadmes asuvad samal teljel.

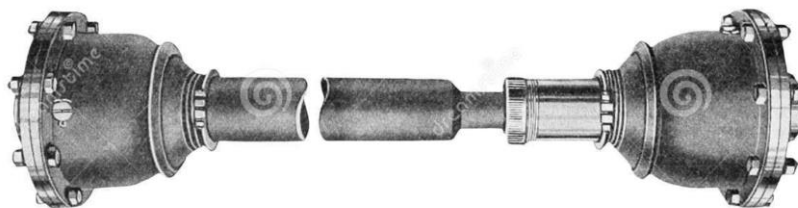
Selle saavutamiseks projekteeris autor kahe komponendi vahele ühendusflantsi (Sele 6.5), mille külge on kinnitatud jäigalt mõlemad komponendid. Detailil on paigutatud seadmete ühendamise avad nii, et nende võlli kinnitused asuvad samal teljel. Seadmete ühendamiseks kasutatakse poltühendust. Reduktori paika seadmiseks on flantsile projekteeritud äärik, mis tsentreerib reduktori.



Sele 6.5 Autori loodud flantsi CAD mudel

## 6.4 Kardaani

Jõudu ülekandvaks komponendiks on laialdaselt kasutatav kardaanvõll (Sele 6.6). Kardaani valikul uuris autor saadaolevaid lahendusi, nii Eestis kui ka välismaal. Valmis olevat kardaan oleks kiirem ja lihtsam hankida ning on odavam variant, kui valmistada eritellimuse põhjal uus kardaan. Juhul kui sobivat ostutoodet ei õnnestu leida, siis tuleb lasta kardaanvõll koostatada sisend ja väljundflantsidele sobivate otsadega, et ei oleks vajalik kasutada adaptoreid. Flantside STEP failide ja jooniste põhjal koostatakse CNC pingis sobivad detailid, mida kinnitada sõiduki ja reduktori külge. Koostatav kardaan koosneb kahest osast, mis on omavahel nuutühenduses. Antud meetod tagab kardaanipikkuse reguleeritavuse ning omakorda muudab sõiduki ja mõõteseadme ühendamist lihtsustada. Kardaani eraldi analüüsi autor eraldi läbi ei vii, kuna tellitakse teenus sisse või ostetakse sobivate parameetritega olemasolev lahendus.

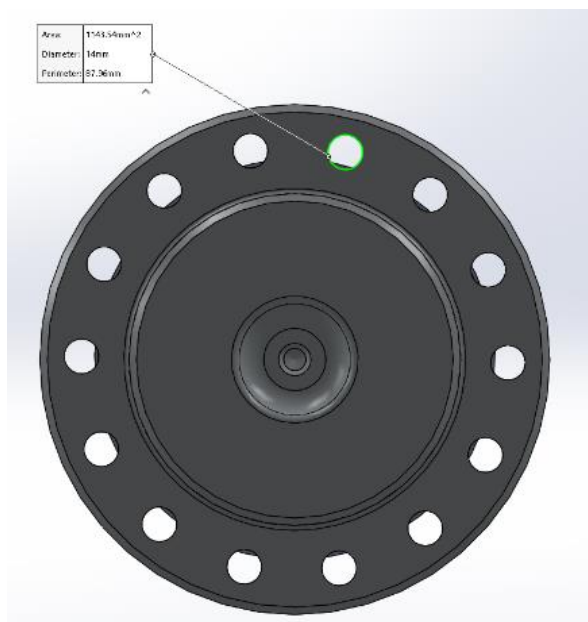


Sele 6.6 Kardaanvõll [12]

### 6.4.1 Nõuded kardaanvõllile

Kardaan peab täitma nõudeid, mis tagavad ühendusflantside sobivuse nii sõiduki kui ka mõõteseadme ühendamiseks. Kardaan peab olema võimeline vastu võtma sõiduki poolt tekitatavat jõumomenti ning tagama selle juures ohutuse, ehk kardaan ei tohi puruneda

ega järgi anda töö käigus. Kardaani sõiduki väljundflantsi küljes on M14 keermestatud avad, mida on kokku 14 tk (Sele 6.7).



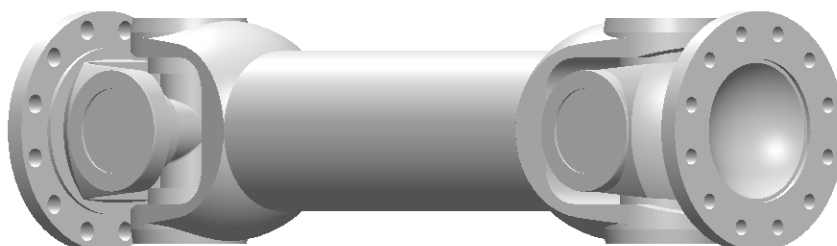
Sele 6.7 Väljundflantsi CAD mudel

Tabel 2.2 Nõuded kardaanhõllile

Võimsus	160 kW
Pöördemoment	2000 Nm
Pöörlemissagedus	800 p / min
Reguleeritav pikkus	490...510 mm
Kinnitus	M14 poldid

### 6.4.2 Valitud kardaanhõll

Autor leidis ostutoodete seast sobiva kardaani, mille kinnitus sobib reduktori külge, kuid elastse elemendi külge ühendamiseks on vajalik teha ühte kardaani otsa adapter. Tegemist on EIE maskin kardaanhõlliga (Sele 6.8), mille flantsi tüübiks on määratud „standard“ ja mille kogupikkuseks on 590 mm (Tabel 6.3).



Sele 6.8 Kardaani mudel

Tabel 6.3 Kardaani andmed [13]

Tootekood	0.117.200-0590
Flants	Standard
Poldivalem	12x130
Nurk	20
Pikkus (mm)	590
Maksimum Vääne (Nm)	2500

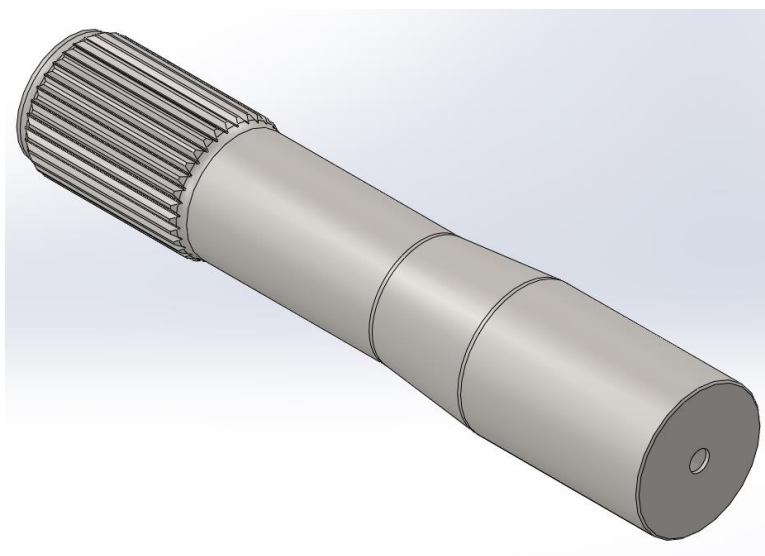
## 6.5 Võll elektrimootori ja reduktori ühendamiseks

Antud kahe komponendi ühendamiseks tuleb autoril projekteerida sobiv võll, mis on võimeline üle kandma nii reduktori poolse väändemomendi kui ka elektrimootori maksimaalse momendi.

Tabel 6.4 Nõuded võllile

Elektrimootori ühendus	ANSI B92.1
Reduktori ühendus	38h6
Võlli pikkus	190...195 mm
Elektrimootori maksimaalne moment	370 Nm
Reduktori poolne maksimaalne moment	400 Nm

Tabelis 6.4 toodud andmete põhjal valmistati sobivate mõõtmetega võlli mudel (Sele 6.9) ja valmistamise joonis. Võlli materjaliks valiti 41CrMo4, mis on levinud materjal võllide valmistamiseks [14].



Sele 6.9 Projekteeritud võll

Võlli vastavuse kontrollimiseks viidi läbi lihtne arvutus võlli sobivuse kontrollimiseks.

Tabel 6.5 Võlli andmed

Võlli materjal	41CrMo4 380 – 780 MPa [14]
Võlli läbimõõt (m)	0,032
Väändemoment (Nm)	400

Võlli arvutamiseks kasutatakse ümarvõlli suurima väändepinge arvutuse valemit [16].

$$\tau_{max} = \frac{T}{I_0} = 62,2 \text{ MPa}, \quad (6.1)$$

kus  $\tau$  – väändepinge, MPa,  
 $T$  – väändemoment, Nm,  
 $I_0$  – inertsmoment, Nm.

Inertsmomenti arvutamine

$$I_0 = \frac{\pi \cdot D^4}{32} = 1,03E - 07, \quad (6.2)$$

kus  $D$  – võlli diameeter, m.

Varuteguri arvutamine

$$k = \frac{R}{\sigma} = \frac{380 \text{ MPa}}{62,2 \text{ MPa}} = 6, \quad (6.3)$$

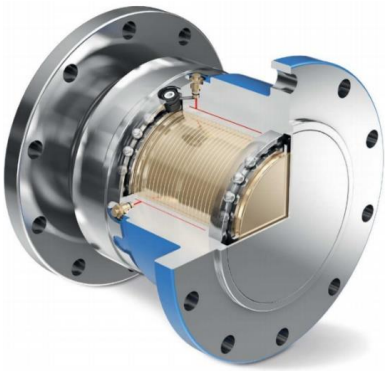
kus  $R$  – materjali voolavuspiir, MPa

Projekteeritud võll on kuue kordse varuteguriga ning on võimeline töötama etteantud seadmes.

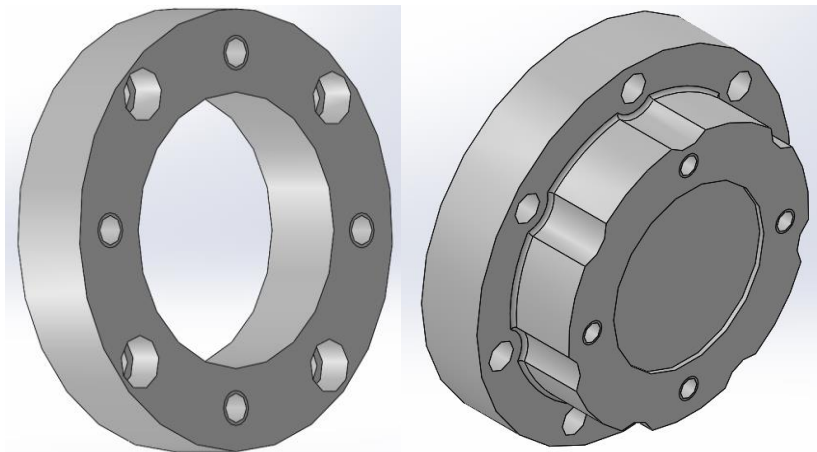


## 6.6 Muud komponendid

Süsteemi kaitseks paigaldas autor kardaan ja sõiduki vahele elastse elemendi (Sele 6.10). Tegemist on ettevõtte Voith SafeSet seeria adapteriga, mis on mõeldud ühendamiseks kahe flantsi vahele. Tegemist on antud seeria kõige väiksema mudeliga, mis võimaldab veosüsteemi lahtiühendamist 1,6...3,2kNm [17] vahemikus, mis on sobilik käesoleva süsteemi integreerimiseks, mille väljundi väändemoment on kuni 2kNm.



Sele 6.10 Voith SR-P elastne element



Sele 6.11 Adapter mõõteseadme kinnitamiseks

Eelnevate komponentide ühendamise tagamiseks nii sõiduki kui ka elastse elemendi külge on vajalik kasutada adaptereid (Sele 6.11), kuna komponentide poldivalemid ei kattu. Tegemist on teras S355 materjalist freesitud detailidega. Autor koostas vastavalt mõõtmestatud joonised ja STEP failid toodete valmistamiseks.

### 6.6.1 Poltliite arvutus kardaaani kinnitamiseks adapteri külge

Võttes arvesse sõiduki ühendamiseks kasutatavate adapterite mõõte, koostas autor poltliite arvutuse, kuna adapterite ja poldivalemite kattuvuse tõttu, on võimalik kasutada nende ühendamiseks vaid nelja M12 polti. Mõlema adapteri ühendused on samade mõõtmetega, seega kehtib see arvutus mõlemale adapterile. Arvutamisel on kasutatud järgnevaid valemeid [18]:

$$T = K * d * F, \quad (6.4)$$

kus  $K$  - hõõrdetegur kardaaani flantsi ja sõiduki väljundflantsi vahel,  
 $d$  - poldi läbimõõt, m,  
 $F$  - poldi kinnitusjõud, N  
 $T$  - poldi pingutusmoment, Nm.

Arvutuskäik viiakse läbi M12 poldiga mille tugevusklass on 8.8 ja mille pingutusmoment on standardi järgi 128 Nm [19].

Antud valemist tuleb avaldada poldi kinnitusjõud

$$F = \frac{T}{d * K} = \frac{128}{0,012 * 0,2} = 56666,6 \text{ N}, \quad (6.5)$$

Seejärel arvutatakse poldi kinni tõmbamisega tekkiv hõõrdejõud kahe pinna vahel

$$Fh = F * K = 56666,6 * 0,2 = 11333 \text{ N}, \quad (6.6)$$

kus  $Fh$  - hõõrdejõud, N,  
 $F$  - poldi kinnitusjõud, N,  
 $K$  = hõõrdetegur.

Veel on vajalik kindlaks teha löikejõud, mis tekib sõiduki ja kardaanvõlli kinnituse vahel

$$Fl = \frac{M}{l} = \frac{2000}{0,061} = 32786,9 \text{ N}, \quad (6.7)$$

kus  $Fl$  - löikejõud, N,  
 $M$  - moment, Nm,

$l$  - jõuõlg poldi tsentri ja võlli tsentri vahel, m.

Selleks, et poldid töotaksid tõmbele mitte lõikele, on vaja tekitada olukord, kus poltide kinnitõmbel tekkiv kahe pinna vaheline hõõrdejõud ületaks lõikepinge. Teades M12 12.9 poldi kinni pingutamisel tekkivat jõudu, saame arvutada vajaliku poltide arvu.

$$n = \frac{Fl}{Fh} = \frac{32786,9}{11333} = 2,9, \quad (6.8)$$

Kus  $n$  - poltide arv, tk,

$Fl$  - lõikejõud, N,

$Fh$  - hõõrdejõud, N.

Arvutusest tulenevalt on vajalik minimaalselt kasutada kolme polti. Kuna tegemist on ideaalsetel tingimustel tehtud arvutusega mis ei pruugi olla alati tõene, tuleb poltide valikul arvestada varutegurit. Kuna polte on võimalik paigaldada vaid 4 tükki, siis on võimalik arvutada kui suur on varutegur poltliites.

$$k = \frac{n}{Fl:Fh} = \frac{4}{2,9} = 1,3, \quad (6.9)$$

kus  $n$  - poltide arv, tk,

$Fl$  - lõikejõud, N,

$Fh$  - hõõrdejõud, N,

$k$  - varutegur.

Kuna poltide kasutamise arv on piiratud, siis on maksimaalne varutegur 1,3 juhul kui kasutada M12 polte tugevusega 12.9. Kuna mõõteseadme jõuülekanne on varustatud ka elastse elemendiga, siis sellisel juhul peavad poldid vastu.

## 7 ALUSRAAMI PROJEKTEERIMINE JA ANALÜÜS

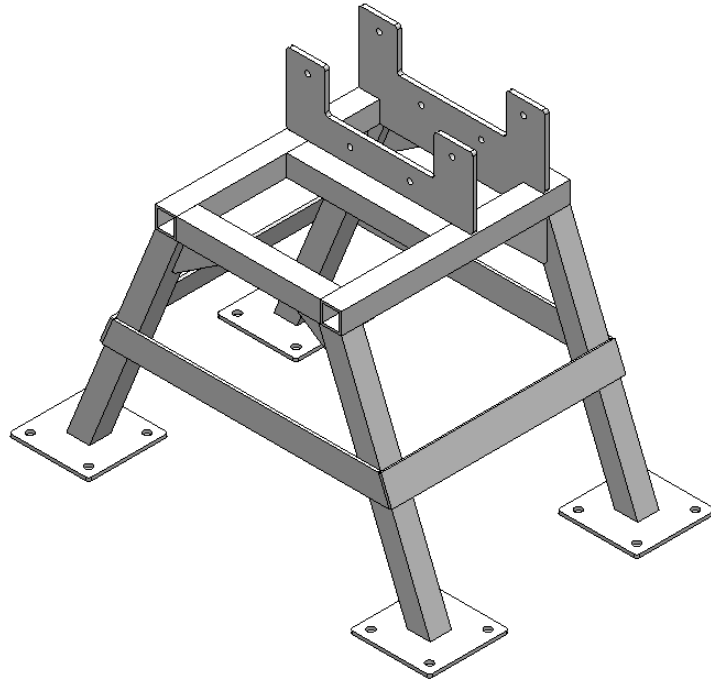
Alusraami peamiseks ülesandeks antud koostus on tagada kõikidele komponentidele kinnitusvõimalus ning võimaldada seadme teisaldatavuse mugavus ja fikseerimine töökoja põranda külge. Raam peab tagama töökindluse ja komponentide paigalpüsimise testseadme töösüklite ajaks, ning hoidma komponente sõiduki suhtes paigal. Konstruktsioon peab olema võimalikult jäik ja kerge, tagamaks seadme töö kvaliteedi. Raami koostamiseks kasutatakse peamiselt terasprofiile ja lehtmetail detaile, mis on omavahel ühendatud keevisliidetega. Samuti analüüsis autor, kas seade on võimeline ka töötada juhul, kui seade ei ole kinnitatud põranda külge, vaid seisab paigal vaid oma raskuse abil.

### 7.1 Raami mudeli koostamine

Alusraam on keeviskoost, mis koosneb laserlõigatud lehtmetail detailidest ja nelikant terastorudest. Autor kasutas võimalikult lihtsat ehitust raami koostamiseks, mis tagab koostamislihtsuse ning samuti ka odavama hinna, kuna koostamine tehakse majasiseselt. Koostule on valmistatud detailijoonised ja keeviskoostu joonis.

Tabel 7.1 Alusraami andmed

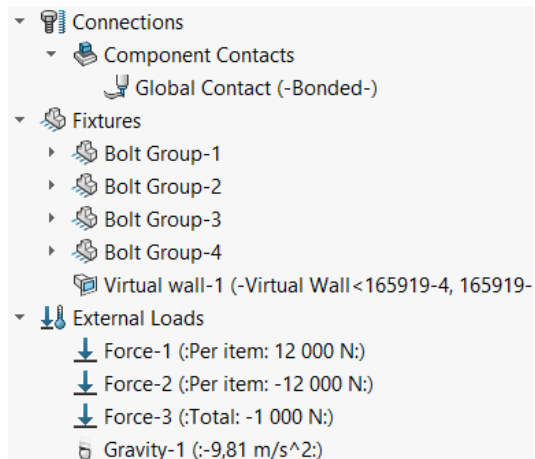
Parameeter	Väärtus
Veokardaani tsentri kõrgus maapinnast (mm)	620
Raami pikkus (mm)	540
Raami laius (mm)	790
Raami kõrgus (mm)	595
Mass (kg)	29,6
Materjal	S355



Sele 7.1 Seadme alusraami koostu mudel

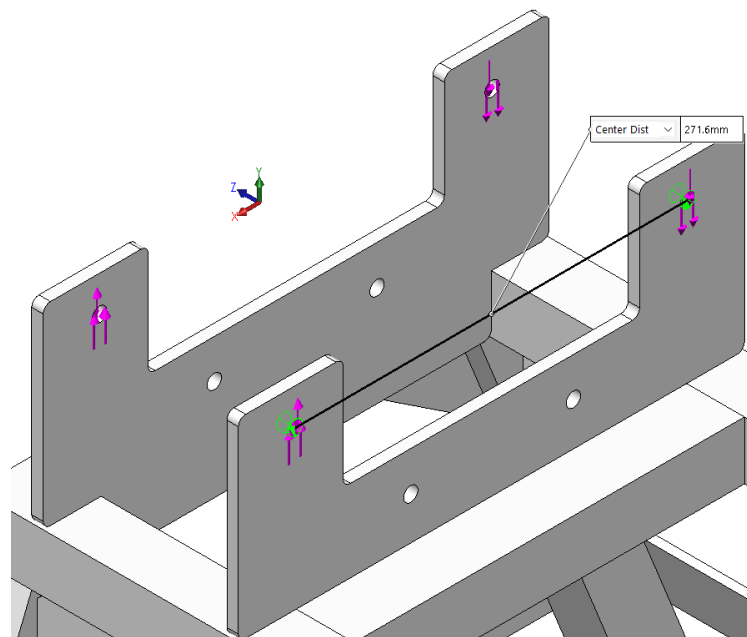
## 7.2 Raami tugevusanalüüsi ülesseadmine

Raami analüüsimiseks kasutas autor Solidworks 2019 SP5 simulatsiooni tarkvarapaketti. Koostu kokku panemise järel ja simulatsiooni alustamiseks on vajalik paika panna simulatsiooni rajatingimused, mille põhjal hakkab tarkvara läbi viima simulatsiooni koostule. Raamile teostati analüüs selle tugevuse hindamiseks, rakendades sellele koormust (Sele 7.2) mis on võrdeline olukorraga, kus mõõteseadmele mõjub 3000 Nm suurune väändemoment. Raam on fikseeritud virtuaalse põranda külge ja kinnitatud M12 poltidega, nagu ta seda on kinnitatuna töökoja põranda külge. Raami koormati komponentide endi kaaluga võrdelise jõuga, väändemomendist tuleneva jõuga ning gravitatsiooniga.



Sele 7.2 Rajatingimused Solidworks analüüsis

Raamile rakendatakse ühele poolele jõud mis suunatud Y- telje positiivses suunas ja teisele raami poolele jõud mis on rakendatud Y- telje negatiivses suunas, et tekitada moment jõuõla vahel. Antud viisil on võimalik analüüsida hetke, mil seadme komponentidele mõjub 3000 Nm suurune väändemoment. Arvutus viidi läbi avadele, mis ühendab kõik komponendid alusraami külge.



Sele 7.3 Koormatud avad (4tk) ja jõuõlg

Kui on teada mõjuv moment ja jõuõlg (Sele 7.3), siis arvutatakse autor välja jõu, mis peab mõlemale poolele mõjuma.

$$F = \frac{M}{l}$$

,kus

M – seadmele mõjuv väändemoment (Nm)

l – jõuõla pikkus (m)

$$F = \frac{3000}{0,2716} = 11045 \text{ N}$$

Saadud tulemust suurendati ja simulatsioonid viidi läbi 12 000 N jõudude korral. Lisaks pandi juurde lisa koormust, mis on komponentide enda raskuse vääriline. Samuti määrati üldine kontakt erinevate komponentide vahel „bonded“ mis annab simulatsioonile sisendi, et detailid on omavahel kokku keevitatud. Simulatsiooni käigus simuleeriti kõiki komponente kui tahkeid elemente.

Mesh Details	
Study name	Analüüs (-Default-)
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Standard mesh
Automatic Transition	Off
Include Mesh Auto Loops	Off
Jacobian points	16 points
Element size	10 mm
Tolerance	0,5 mm
Mesh quality	High
Total nodes	101638
Total elements	50834
Maximum Aspect Ratio	18,13
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	91,1
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0,122
% of distorted elements (Jacobian)	0
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:10
Computer name	PC-512

Sele 7.4 Võrgustik

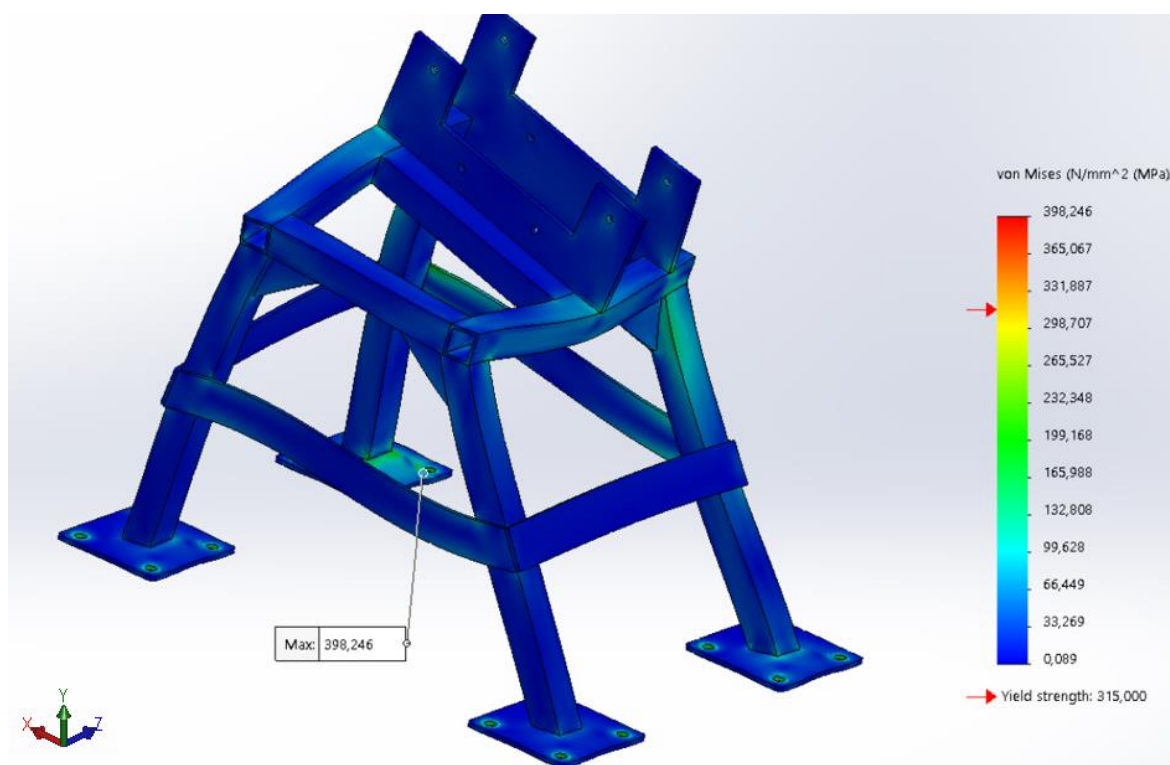
Veel oluline osa simulatsiooni ülesseadmisest on võrgustiku loomine. Analüüsimiseks kasutatakse kõrgema kvaliteediga võrgustikku, mis tagab parema tulemuste täpsuse. Elemendi suuruseks on määratud 10 mm (Sele 7.4). Elementide suuruse vähendamine pikendab oluliselt simulatsiooni aega, kuna kasvab elementide koguarv. Analüüsimist

alustati 20 mm elementidega. Seejärel viidi analüüs läbi 15mm ja 10 mm elementide korral, kuid analüüsi tulemused enam oluliselt ei muutunud, mistõttu ei pidanud autor otstarbekaks elementide suurust veelgi vähendada.

### 7.3 Analüüsi tulemus

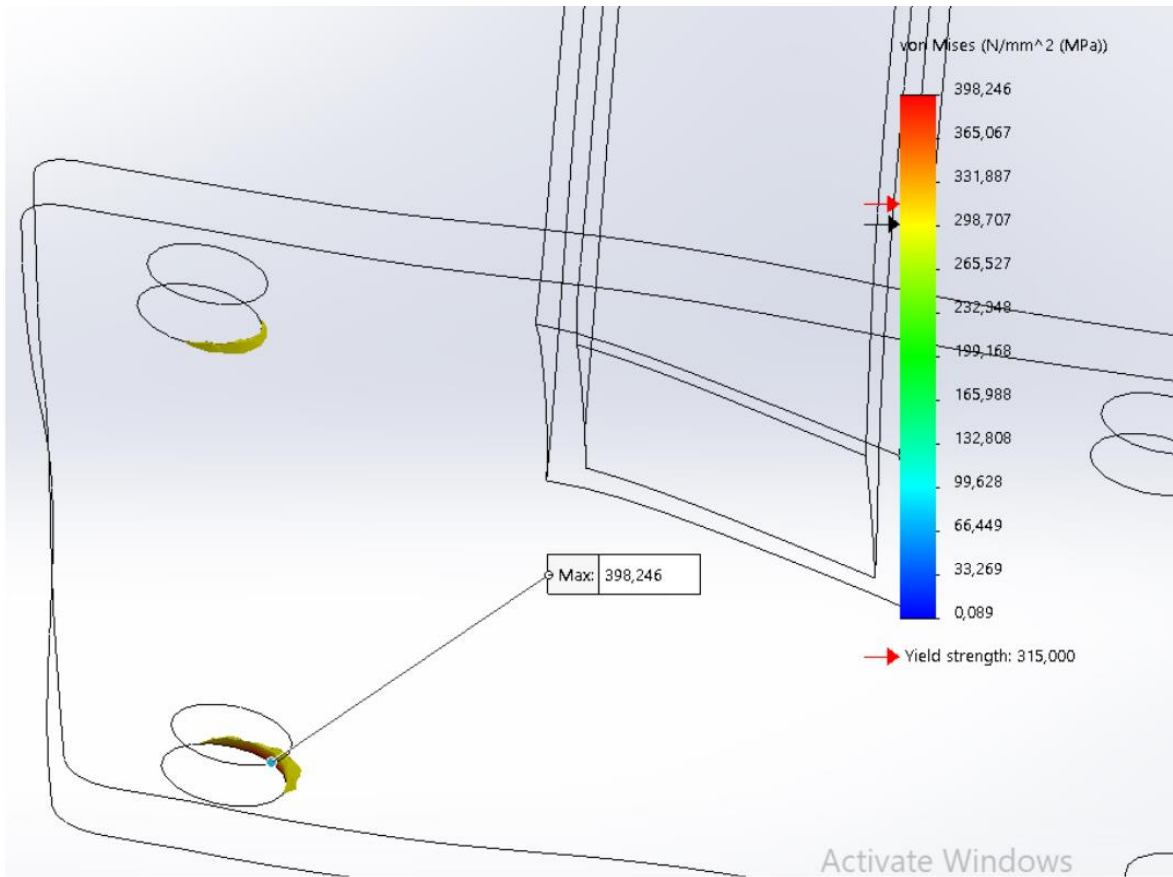
Analüüsi tulemuse saamine võttis aega 6 m 30s. Lõpliku versiooni tulemuste põhjal selgus, et raam peab vastu probleemivabalt 3000 Nm suurusele väändemomendile. Analüüs sai läbitud kahes versioonis, nii poldituna põranda külge, kui ka versiooni, kus seade seisab vabalt põranda peal.

Esimese versiooniga simulatsiooni korral peab raam vastu probleemideta ja lahendus on sobilik lõpptulemuse saavutamiseks. Ühe jala kinnituspoldi avale tekib väga väikese mahuline pingekontsentraator (Sele 7.6), kuid kuna seade kinnitub ankurpoldi otsa seibi ja mutriga, siis ei ole põhjust muretsemiseks. Ülejäänud seadmes jäävad suurimad pinged kõik alla teras S355 voolepiiri (Sele 7.5). Tulenevalt antud tulemusest, võib eeldada, et modelleeritud alusraam tagab mõõteseadme ohutu ja nõuetekohase töö. Valitud koormuse korral on raami deformatsioonid samuti minimaalsed (Sele 7.7).

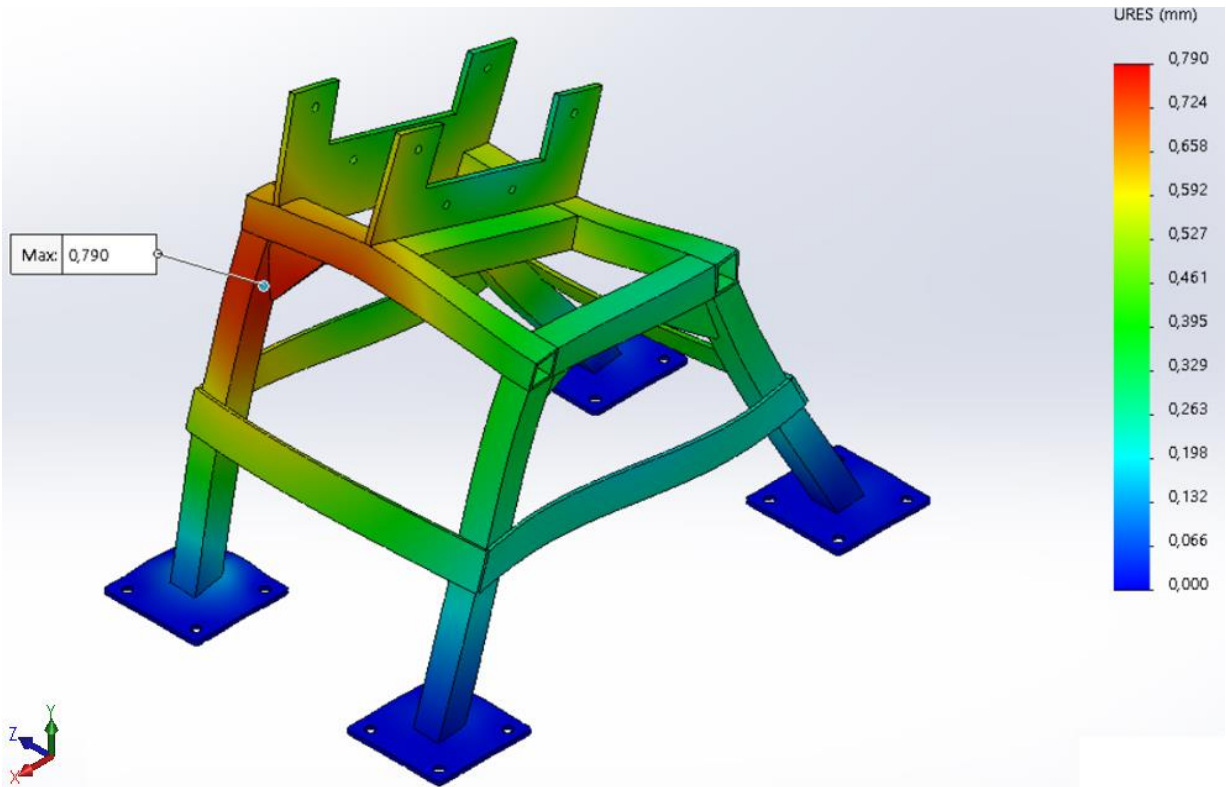


Sele 7.5 FEM analüüs raamile





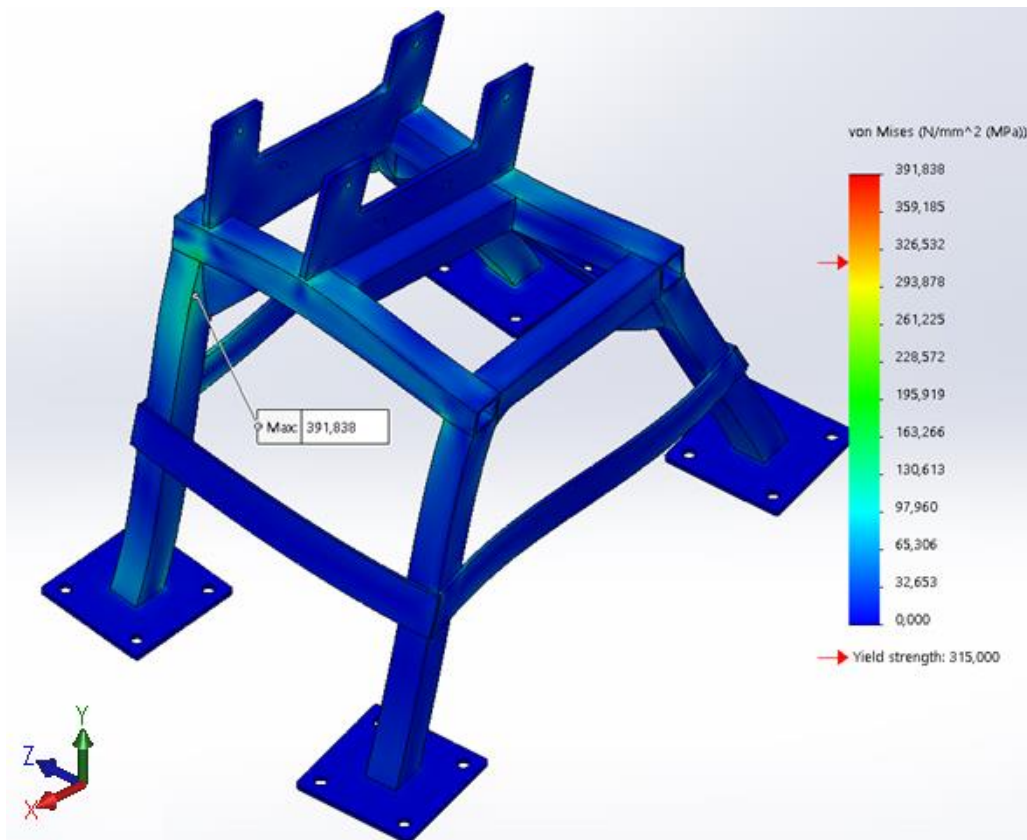
Sele 7.6 Pingekontsentraator



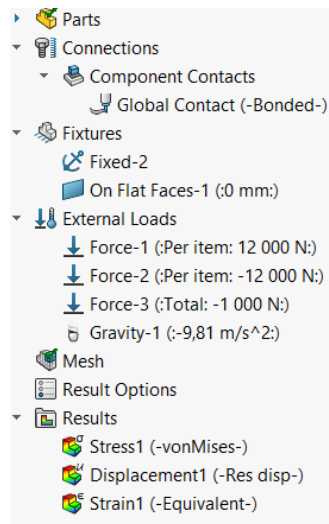
Sele 7.7 Raami deformatsioonid

## 7.4 Analüüs fikseerimata raami korral

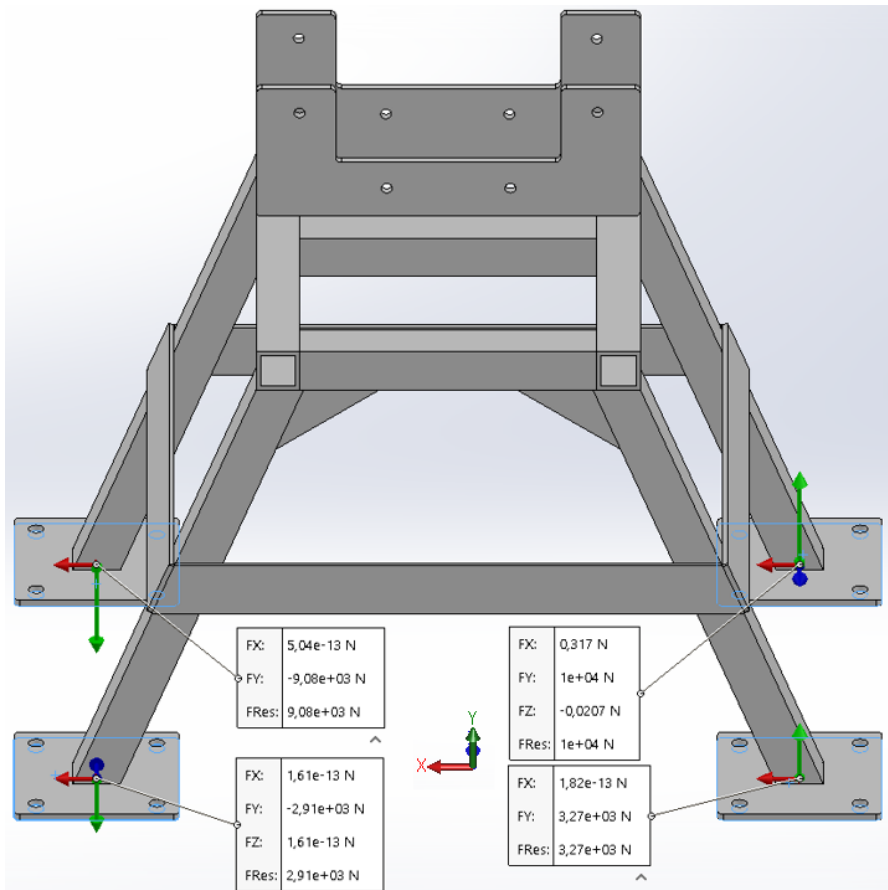
Fikseerimata raami analüüsimise korral on kasutusel samad parameetrid mis fikseeritud pingi korral (Sele 7.2), kuid poltliite asemel on kasutatud kinnitusmeetodit, kus on lubatud raamil liikuda igas suunas v.a Y- teljel, ehk raami jalad hoitakse vastu maad, mis võimaldab avaldada reaktsioonjõu, mis tahab tõsta raami tugijalgu, mille kaudu on võimalik näha, kas raam püüab ennast tõsta ühele küljele või mitte. Üldised pinged on võrdlemisi madalad võrreldes versiooniga kus on alusraam kinnitatud (Sele 7.5). Tekkinud on üks pingekontsentraator väärtusega 391 MPa, kuid üldised pinged on võrdlemisi madalad, kuna raam ei reageeri neile oma liikumisvabaduse tõttu.



Sele 7.8 Kinnitamata raami tugevusanalüüs



Sele 7.9 Rajatingimused fikseerimata raami korral



Sele 7.10 Reaktsioonijõud

Raamis tekkinud reaktsioonijõudude tulemusena (Sele 7.10) ei ole võimalik kasutada seadet, ilma, et ta oleks fikseeritud põranda külge, kuna reaktsioonjõu suunad (roheline nool Seel) on erinevad, mis tähendab omakorda, et vasakpoolsetele tugijalgadele mõjub neid tõstev jõud. Kuna analüüs ei arvesta sõiduki enda massiga, siis on võimalus, et seade töötaks ka kinnitamata viisil, kuid ohutuse tagamiseks kinnitatakse seade siiski jäigalt põranda külge.

## 8 KOMPONENTIDE MAKSUMUS

Kõikidele koostus olevatele komponentidele koostati ka hinnakalkulatsioon. Arvestatakse kõikide ostutoodetega, mille hind oli autorile kättesaadav. Hinnakalkulatsioon ei sisalda autori enda ajakulu ja olemasolevat elektrimootorit.

Tabel 8.1 Eeldatavad komponentide hinnad

<b>Nimetus</b>	<b>Kogus</b>	<b>Hind ~ (eur)</b>
Nelikant toru	3,5 m	35
Freesdetailid	3 tk	1000
Lehtmetalldetailid	6 tk	150
Kardaan	1 tk	400
Elektrimootor	1 tk	0
Reduktor	1 tk	2000
<b>Kokku:</b>		<b>3585</b>

## KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli projekteerida, analüüsida ja valmistada seade, millega on võimalik mõõta ja seadistada roomiksõiduki veoajamit. Seade on vajalik uude roomiksõiduki prototüübi arendamiseks ja testimiseks.

Töö esimeses osas pandi paika nõudmised, mida mõõteseade peab olema võimeline täitma ning jõud mida peab olema suuteline vastu võtma. Ennem projekti sisse süvenemist, tehti turu uuring, otsimaks erinevaid valmistooteid, mida oleks võimalik kasutada ja mis täidaksid ülesandes püstitatud nõudmisi. Kuna sobivat seadet ostutoodete seast ei leitud, hakati välja mõtlema uudset lahendust probleemi lahendamiseks. Kuna otsustati luua mõõteseade ise, siis alustati selleks vajalike nõuete üles märkimisega. Seejärel alustati põhjalikumalt uurima olemasolevaid tooteid, kogumaks ideid, mida rakendada ka käesolevast projektis. Seejärel koostati tabel, kus võrreldi kolme erinevat ligilähedast seadet ja nende funktsioone teabeinfo suurendamiseks.

Peale turu uuringu läbiviimist hakati fikseerima nõudeid, mida peab täitma valmistatav seade. Peale funktsioonide lahti kirjutamist ja mõtlemist, koostati nende põhjal morfoloogiline maatriks, kus jaotati tabelisse funktsioonid ja nende järele hakati genereerima kõike ideid mis olid sobilikud ja oleksid võimelised lahendama etteantud funktsiooni. Morfoloogilise maatriksi põhjal genereeriti esimesed ideed, milline võiks projekteeritav seade välja näha. Eelnevalt genereeritud ideede põhjal pandi kirja kolm lahenduskäiku koos kujutatavate joonistega. Seejärel märgiti iga variandi juurde tema tugevad küljed ja nõrgad küljed, mille puhul sai otsustada milliseid omadusi uude seadmesse üle kanda ja milliseid mitte.

Kui kõik eelnevad etapid läbitud, koostati olemasoleva teabe põhjal hindamismaatriks. Hindamismaatriksis võrreldakse kolme välja mõeldud lahendusvariante funktsioonides kirjeldatud nõuete järgi. Igale funktsioonile anti oma osatähtsus, ning võrreldi kõiki lahendi variante samade parameetrite järgi. Variant mis sai kõige suurema punktide summa osutus valituks, ning alustati vaja minevate komponentide otsimisega.

Mõõteseadme koost koosneb kolmest peamisest komponendist. Seadme töö tagamiseks on tuli välja valida sobiv kardaanvõll, reduktor ning elektrimootor. Kuna elektrimootor oli eelnevalt paika määratud, tuli välja valida sobiv reduktor ja kardaanvõll, et tagada ühendus sõiduki ja seadme vahel. Kõige keerukamaks osutus sobiva reduktori leidmine, kuna nõutud pöörlemissagedus (8000 p/min) osutus liiga kõrgeks ning ei olnud võimalik leida reduktorit mis nõutud pööretevahemikku ja väändemomenti kannataksid. Suheldi paljude Eesti ettevõtetega ning ka mitme välismaa ettevõttega. Valitud reduktoriks osutus Wittensteini toode. Peale reduktori välja valimist sai alustada seadme alusraami koostamisega, et kinnitada vajalikule kõrgusele antud komponendid. Elektrimootori ja

reduktori ühendamiseks projekteeriti vaheplaat detailide omavaheliseks ühenduseks ning ka veovõll, mis kannab üle pöörlevat liikumist elektrimootorilt reduktorile ja vastupidi. Peale alusraami valmistamist tuli veel otsida sobiv kardaan ning elastne element veoajami kaitseks ülekoormuse vastu. Valitud kardaanile projekteeriti kaks adapterit, mille ülesandeks on tagada ühendus kardaaniga ühendamiseks elastse elemendiga ja elastse elemendi ühendamine omakorda sõiduki väljundflantsi külge. Viimases etapis, kui komponendid valitud ja koost valmis projekteeritud, alustati olemasolevate komponentide analüüsimisega ja arvutamisega, veendumaks, et komponendid peavad seadmele ettenähtud jõududele vastu. Viimaks koostati hinna arvutus ja projekteeritud detailide tööjoonised ja koostude keevisjoonised.

## SUMMARY

The topic of this thesis was to design, analyze and create a device that is capable of measuring and configuring a drive system of a tracked vehicle. The device is needed to develop and test a new model of tracked vehicle prototype.

The first paragraph focuses on the basic parameters that the device must be able to handle and which forces it must be able to receive. Before focusing on building a new device, author made a market research to find any similar products that would be suitable for the task. Since the market search did not provide a suitable solution, author started doing research for creating completely new device. First task was to prioritize and write down the requirements for device. Since it was a new design, there was an opportunity to fulfill all desired needs for the project. After the basic requirements were clear, then author started to do more research to find out how other similar products work and what components they use. It was a good way to gather ideas to use in the new device. Based on the knowledge from research, author created a table to compare different products.

After the market search was done, author started to assign functions that the new device must be able to fulfill. Based on the functions list, a matrix was formed, to help categorize functions with their possible solutions. Based on those functions and solutions, the first ideas were created, to illustrate how the device would look and work like. Three different sketches for different solutions were made, and their strengths and weaknesses were written down.

After that, a cost matrix was created. In the matrix, those three solutions that author came up with, were once again put into table, where every function was given their own value, so that it would be possible to compare them between each other. From that table, the highest scoring solutions for named functions was chosen. Based on these results, there now was enough information to start searching for the needed components.

The measuring device consist of three main components. Those are propeller shaft, reducer and electrical motor. Since the company already owns a suitable el.motor, then it was necessary to find components that would work with that motor. Reducer was the hardest component to find, since it had to be able to handle up to 8000 rpm and 2000 Nm of torque. Author had discussions about the components with different companies in Estonia and also some foreign country companies. After a long time of researching, finally a suitable reducer was found by the company of Wittenstein. Since author had an el.motor and reducer CAD models, then it was possible to start making a

bench for the components to attach on. Also a adapter plate was created between the motor and reducer, to ensure their concentricity, so that it would be able to connect those components with a drive shaft. There was also a need for an elastic coupling, to reduce the torque peaks and protect the device from too high loads.

After the components were chosen and assembly done, author started to create drawings for every detail and assembly there was. After that, FEM simulations were done to ensure the safety and strength of the assembly, so it would not break under the load.

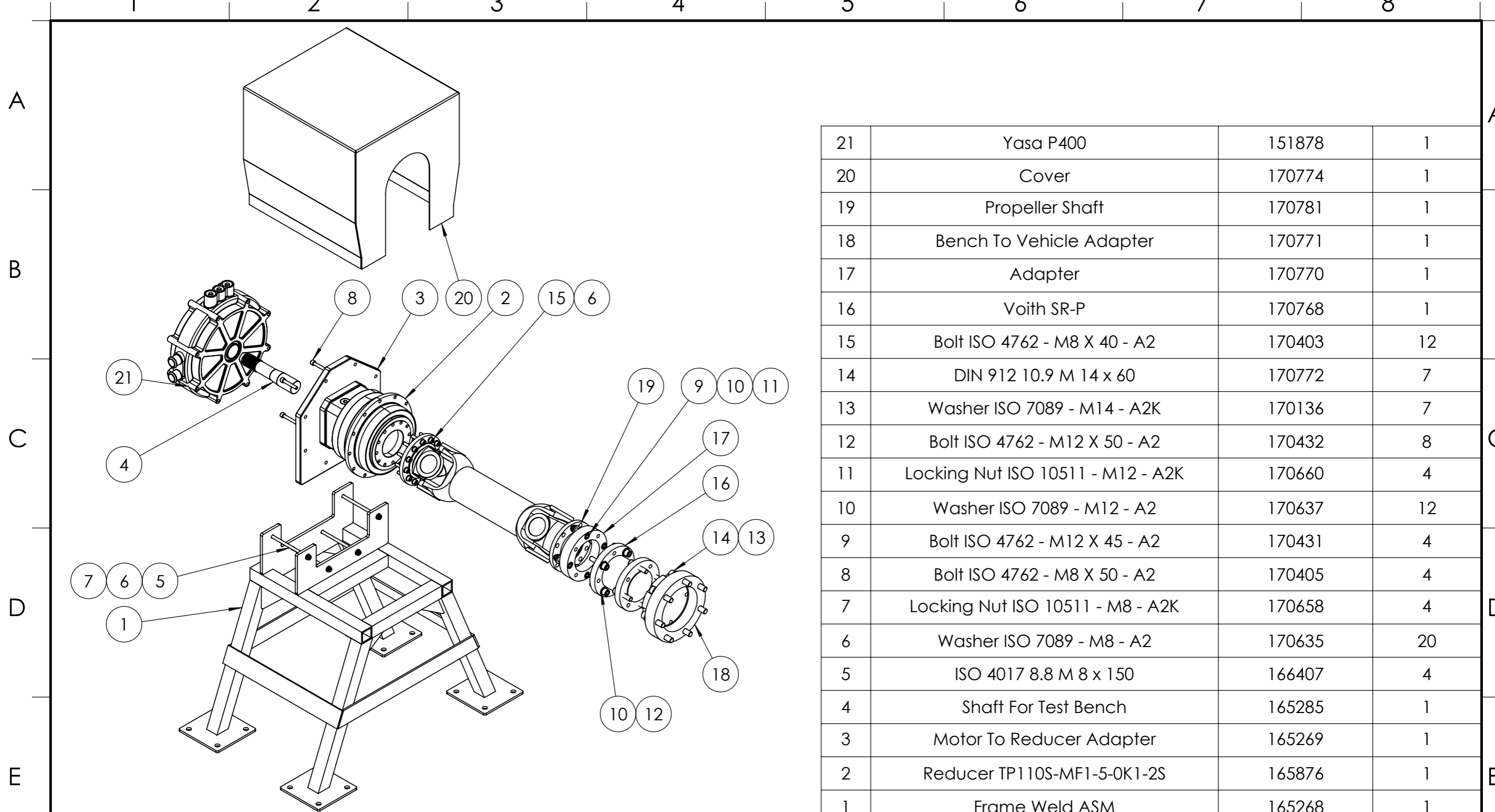


## KASUTATUD KIRJANDUS

1. Milrem, „Milrem.com,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://milremrobotics.com/themis/>. [Kasutatud 26 November 2019].
2. Mustangae, Mustangae, [Võrgumaterjal]. Available: [https://mustangae.com/products-and-services/product\\_info/9085\\_ED-Series-Dynamometers](https://mustangae.com/products-and-services/product_info/9085_ED-Series-Dynamometers). [Kasutatud 20 November 2019].
3. Rodauthority, „Rodauthority,” 8 December 2011. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.rodauthority.com/features/pri-2011-all-in-one-mustang-dyno-saves-time-and-space/>. [Kasutatud 20 November 2019].
4. Saengvith2000, „Saengvith2000.com,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.saengvith2000.com/3.DYNO%20mite-%20Axle-Hub%20Dynamometer.pdf>. [Kasutatud 20 November 2019].
5. Dynamitedynamometer, „DYNO mite Dynamometer,” [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.dynamitedynamometer.com/axle-hub\\_dyno/axle-hub-dyno-price.htm](https://www.dynamitedynamometer.com/axle-hub_dyno/axle-hub-dyno-price.htm). [Kasutatud 20 November 2019].
6. Mainlinedyno, „<https://www.mainlinedyno.com.au>,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mainlinedyno.com.au/index.php/media1/news-articles/mainline-prohub-dynos>. [Kasutatud 20 November 2019].
7. Mainlinedyno#2, „Mainlinedyno.com,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mainlinedyno.com.au/index.php/dynamometers/pro-hub-axle-shaft/portable-prohub-dynamometers>. [Kasutatud 20 November 2019].
8. Toyotamark2, „Cardan Joint,” 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://toyotamark2.ru/cardan-joint-characteristics-description-and-device-cardan-gear-operating-principle-advantages-and-disadvantages.html>. [Kasutatud 21 November 2019].
9. Hariduskeskus, „Rihmülekanded,” 2019. [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.hariduskeskus.ee/opiobjektid/masinaelemendid/?KURSUSE\\_TEEMAD\\_\\_\\_MEHAANILISTE\\_%C3%9CLEKANNETE\\_T%C3%9C%C3%9CBID\\_\\_\\_Rihm%C3%BClekanded\\_%28rihmade\\_ja\\_rihmarataste\\_konstruktsioon%2C\\_rihm%C3%BCIekande\\_kinemaatika%2C\\_rihmade\\_pingutusmoodused%2C\\_rihm%C3](https://www.hariduskeskus.ee/opiobjektid/masinaelemendid/?KURSUSE_TEEMAD___MEHAANILISTE_%C3%9CLEKANNETE_T%C3%9C%C3%9CBID___Rihm%C3%BClekanded_%28rihmade_ja_rihmarataste_konstruktsioon%2C_rihm%C3%BCIekande_kinemaatika%2C_rihmade_pingutusmoodused%2C_rihm%C3). [Kasutatud 21 11 2019].
10. Wittenstein, „Wittenstein.com,” Wittenstein Group, [Võrgumaterjal]. Available: <https://cad-point.wittenstein-group.com/en/GearDetails/TP110S-MF1-8-0K1-2S>. [Kasutatud 14 12 2019].

11. Yasa, Yasa, [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.yasa.com/wp-content/uploads/2018/01/YASA\\_P400\\_Product\\_Sheet.pdf](https://www.yasa.com/wp-content/uploads/2018/01/YASA_P400_Product_Sheet.pdf). [Kasutatud 5 1 2020].
12. „Dreamstine.com,“ Dreamstine, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.dreamstime.com/stock-photo-industrial-metal-part-isolated-over-white-propeller-drive-shaft-retro-car-background-image93101417>. [Kasutatud 9 12 2019].
13. Solidcomponents, „Solidcomponents,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.solidcomponents.com/?company=SCCJO72EC&office=484&page=22652>. [Kasutatud 5 1 2020].
14. O. L. P. Dunajev, *%1 Masinaelementide projekteerimine*, Valgus, 1989, p. 132.
15. „makeitfrom,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/EN-1.7233-42CrMo5-6-Chromium-Molybdenum-Steel>. [Kasutatud 5 1 2020].
16. „data.vk.edu.ee,“ [Võrgumaterjal]. Available: [http://data.vk.edu.ee/KAUGOPE/Kaugope\\_RDER\\_2.kursus/Tugevusopetus\\_I\\_1/Kaugoppe/Tugevusanaluusi%20alused/10\\_Detailide\\_vaandedeformatsioonid.pdf](http://data.vk.edu.ee/KAUGOPE/Kaugope_RDER_2.kursus/Tugevusopetus_I_1/Kaugoppe/Tugevusanaluusi%20alused/10_Detailide_vaandedeformatsioonid.pdf). [Kasutatud 1 1 2020].
17. „Voith,“ [Võrgumaterjal]. Available: [https://voith.com/ita-it/1831\\_e\\_cr421en\\_torque\\_limiting.pdf](https://voith.com/ita-it/1831_e_cr421en_torque_limiting.pdf). [Kasutatud 5 1 2020].
18. Tohnichi. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.tohnichi.com/pdf/02-bolt-tightening.pdf>. [Kasutatud 5 1 2020].
19. Würth. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.wuerth.ee/kataloog/219/index.html#zoom=z>. [Kasutatud 5 1 2020].

## **GRAAFILINE OSA**



21	Yasa P400	151878	1
20	Cover	170774	1
19	Propeller Shaft	170781	1
18	Bench To Vehicle Adapter	170771	1
17	Adapter	170770	1
16	Voith SR-P	170768	1
15	Bolt ISO 4762 - M8 X 40 - A2	170403	12
14	DIN 912 10.9 M 14 x 60	170772	7
13	Washer ISO 7089 - M14 - A2K	170136	7
12	Bolt ISO 4762 - M12 X 50 - A2	170432	8
11	Locking Nut ISO 10511 - M12 - A2K	170660	4
10	Washer ISO 7089 - M12 - A2	170637	12
9	Bolt ISO 4762 - M12 X 45 - A2	170431	4
8	Bolt ISO 4762 - M8 X 50 - A2	170405	4
7	Locking Nut ISO 10511 - M8 - A2K	170658	4
6	Washer ISO 7089 - M8 - A2	170635	20
5	ISO 4017 8.8 M 8 x 150	166407	4
4	Shaft For Test Bench	165285	1
3	Motor To Reducer Adapter	165269	1
2	Reducer TP110S-MF1-5-0K1-2S	165876	1
1	Frame Weld ASM	165268	1
ITEM NO.	Description	Number	QTY.

	Material:	Unspecified dimensions:		Mass: 123.9	Scale: 1:10
Modeled:	Martin Migur	10.12.2019	Name: <b>Test Bench ASM</b>		
Drawn:	Martin Migur	07.01.2020			
Checked:	Sander Viitak	07.01.2020			
		Sheet: 1 OF 2	Format: A3	Drawing number: 165087	Rev:

THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF MILREM AS. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF MILREM AS IS PROHIBITED.

1 2 3 4 5 6 7 8

A

A

B

B

C

C

D

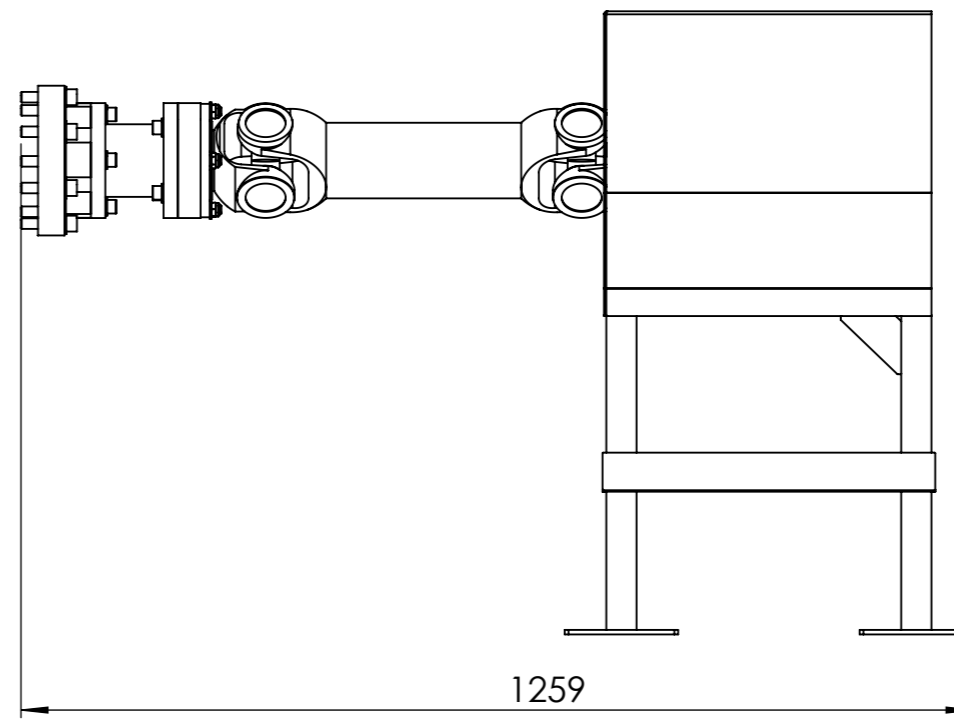
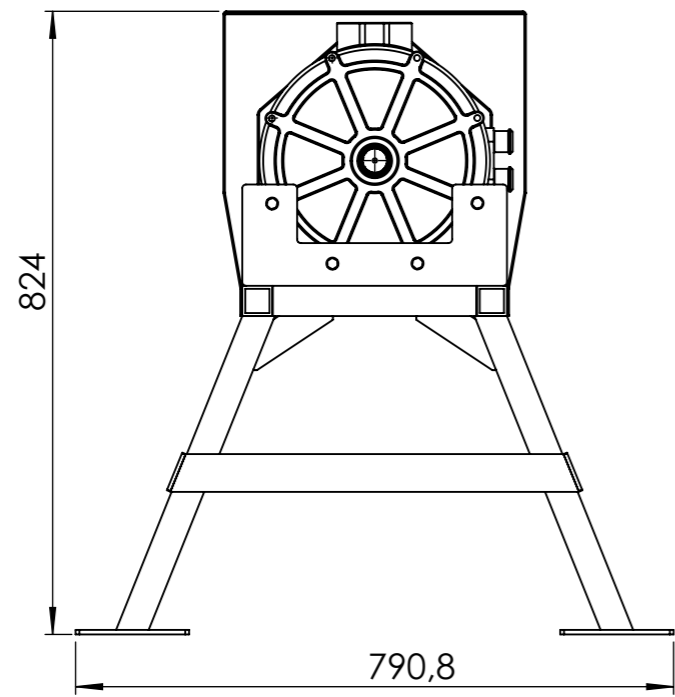
D

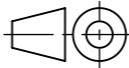
E

E

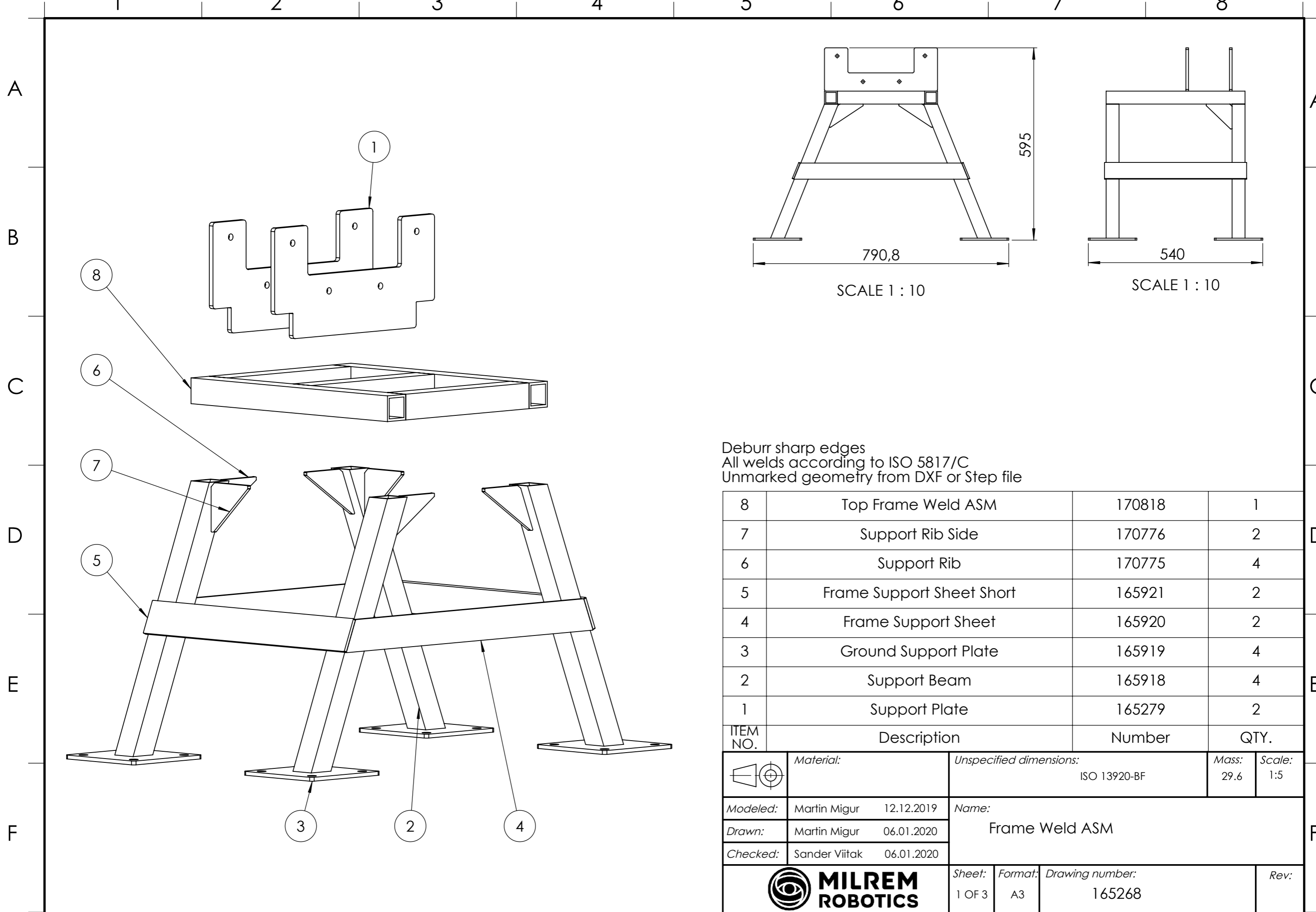
F

F



	<i>Material:</i>		<i>Unspecified dimensions:</i>		<i>Mass:</i> 123.9	<i>Scale:</i> 1:10
	<i>Modeled:</i>	Martin Migur 10.12.2019	<i>Name:</i> Test Bench ASM			
	<i>Drawn:</i>	Martin Migur 07.01.2020				
<i>Checked:</i>	Sander Viitak 07.01.2020	<i>Sheet:</i> 2 OF 2	<i>Format:</i> A3	<i>Drawing number:</i> 165087		<i>Rev:</i>





Deburr sharp edges  
 All welds according to ISO 5817/C  
 Unmarked geometry from DXF or Step file

8	Top Frame Weld ASM	170818	1
7	Support Rib Side	170776	2
6	Support Rib	170775	4
5	Frame Support Sheet Short	165921	2
4	Frame Support Sheet	165920	2
3	Ground Support Plate	165919	4
2	Support Beam	165918	4
1	Support Plate	165279	2
ITEM NO.	Description	Number	QTY.

	Material:		Unspecified dimensions:		Mass:	Scale:
			ISO 13920-BF		29.6	1:5
Modeled:	Martin Migur	12.12.2019	Name: Frame Weld ASM			
Drawn:	Martin Migur	06.01.2020				
Checked:	Sander Viitak	06.01.2020				
			Sheet:	Format:	Drawing number:	Rev:
			1 OF 3	A3	165268	

1 2 3 4 5 6 7 8

A

B

C

D

E

F

A

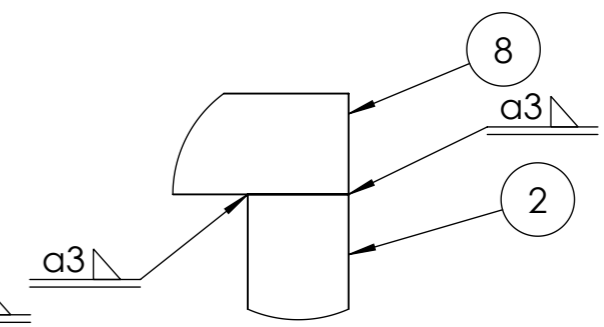
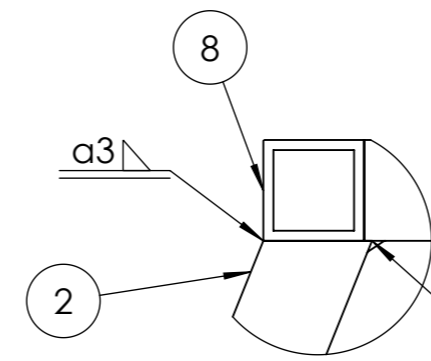
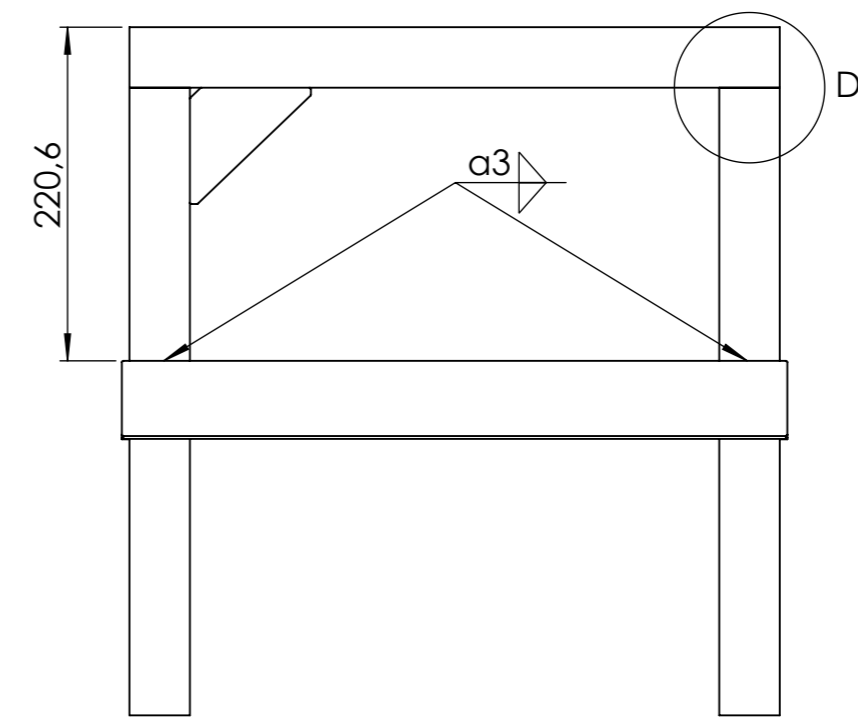
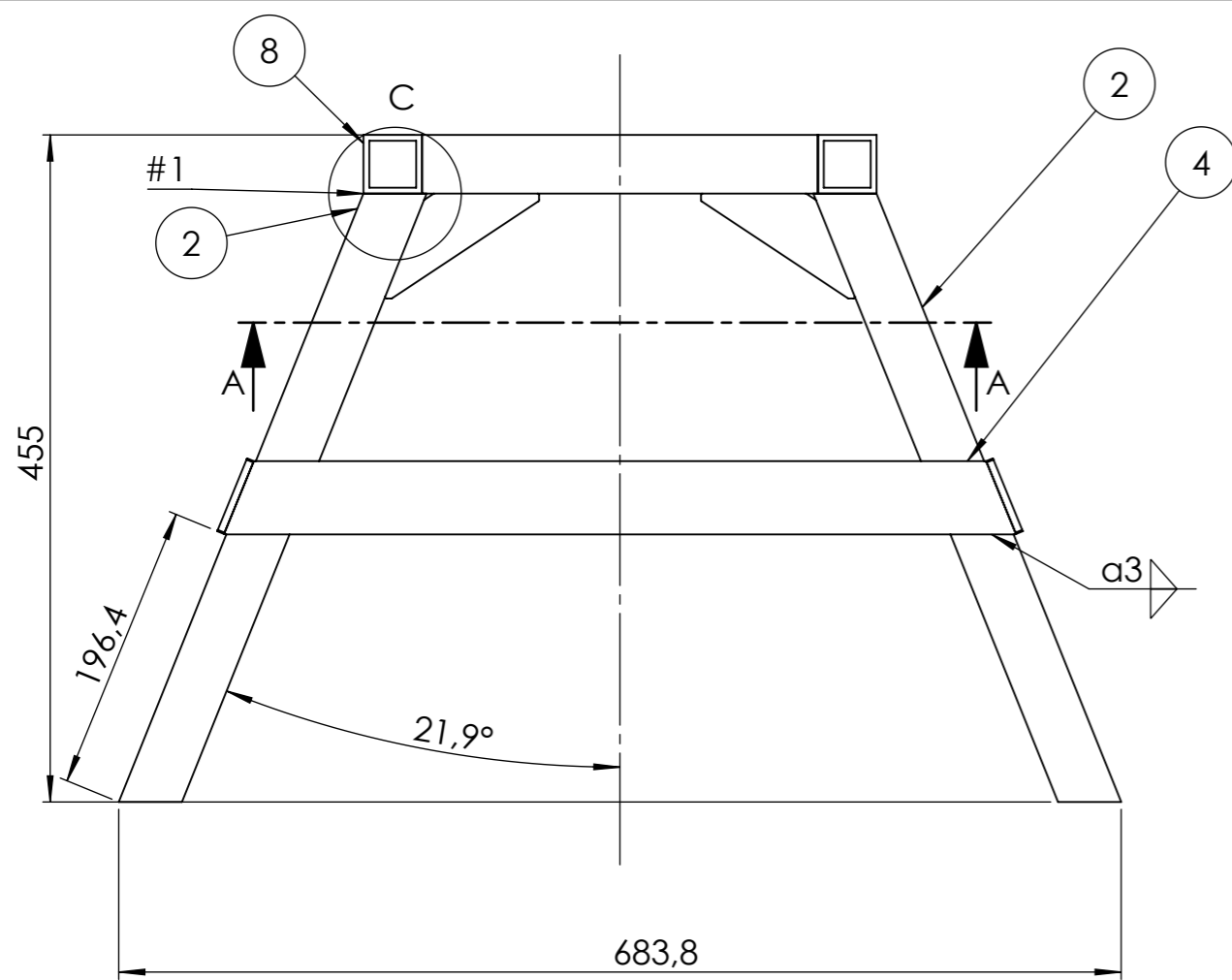
B

C

D

E

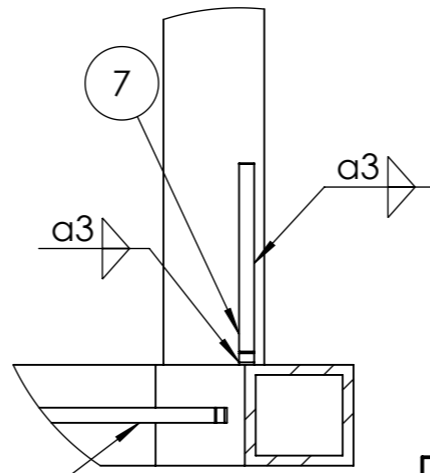
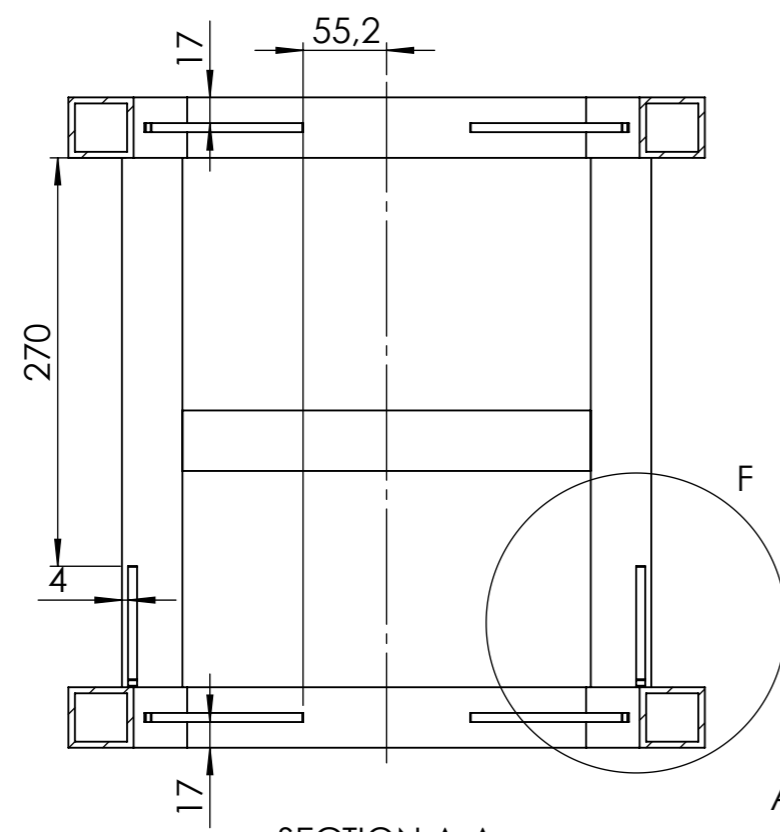
F



DETAIL C  
SCALE 1 : 3

DETAIL D  
SCALE 1 : 3

All support beams (2) are welded the same way

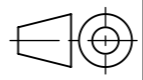



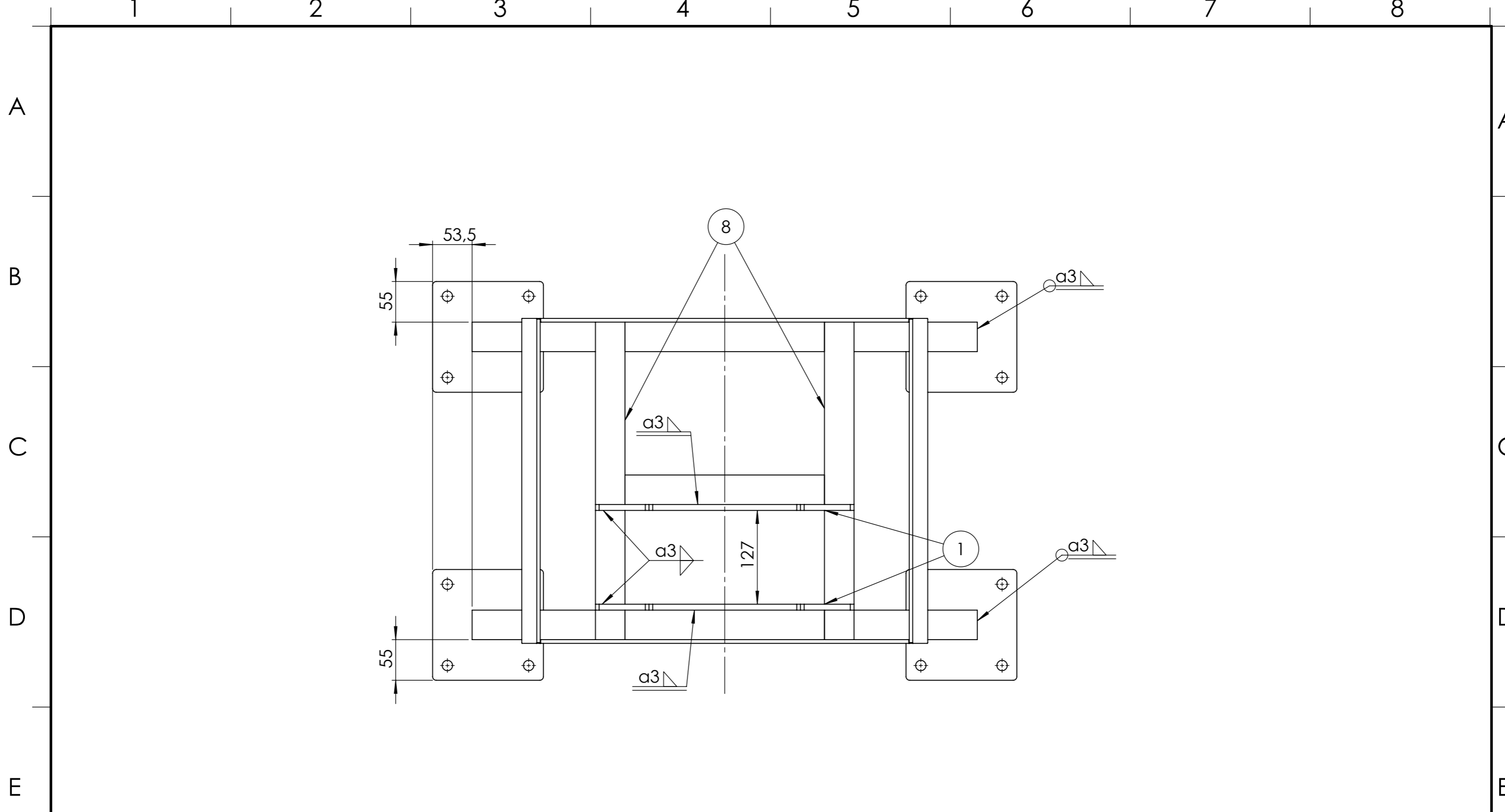
DETAIL F  
SCALE 1 : 3

All support ribs (6), (7) are welded the same way

SECTION A-A

#1 - Part (2) and part (8) edges are aligned  
Parts (3) and (1) are hidden on this sheet

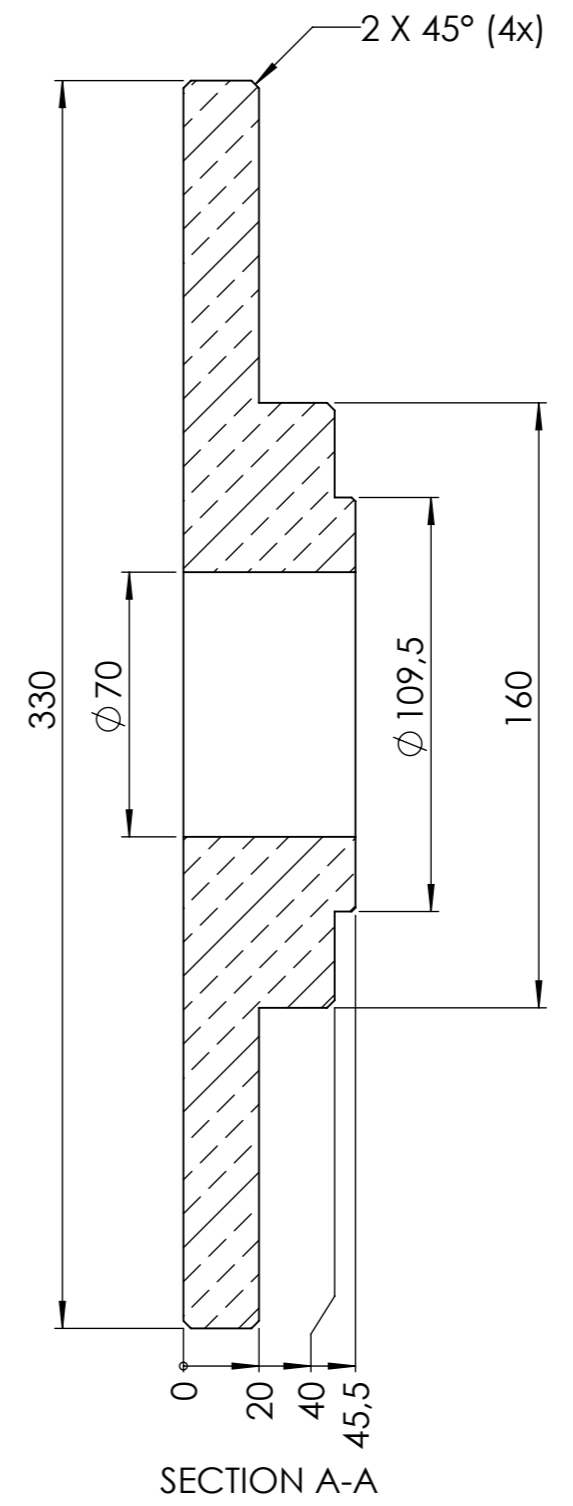
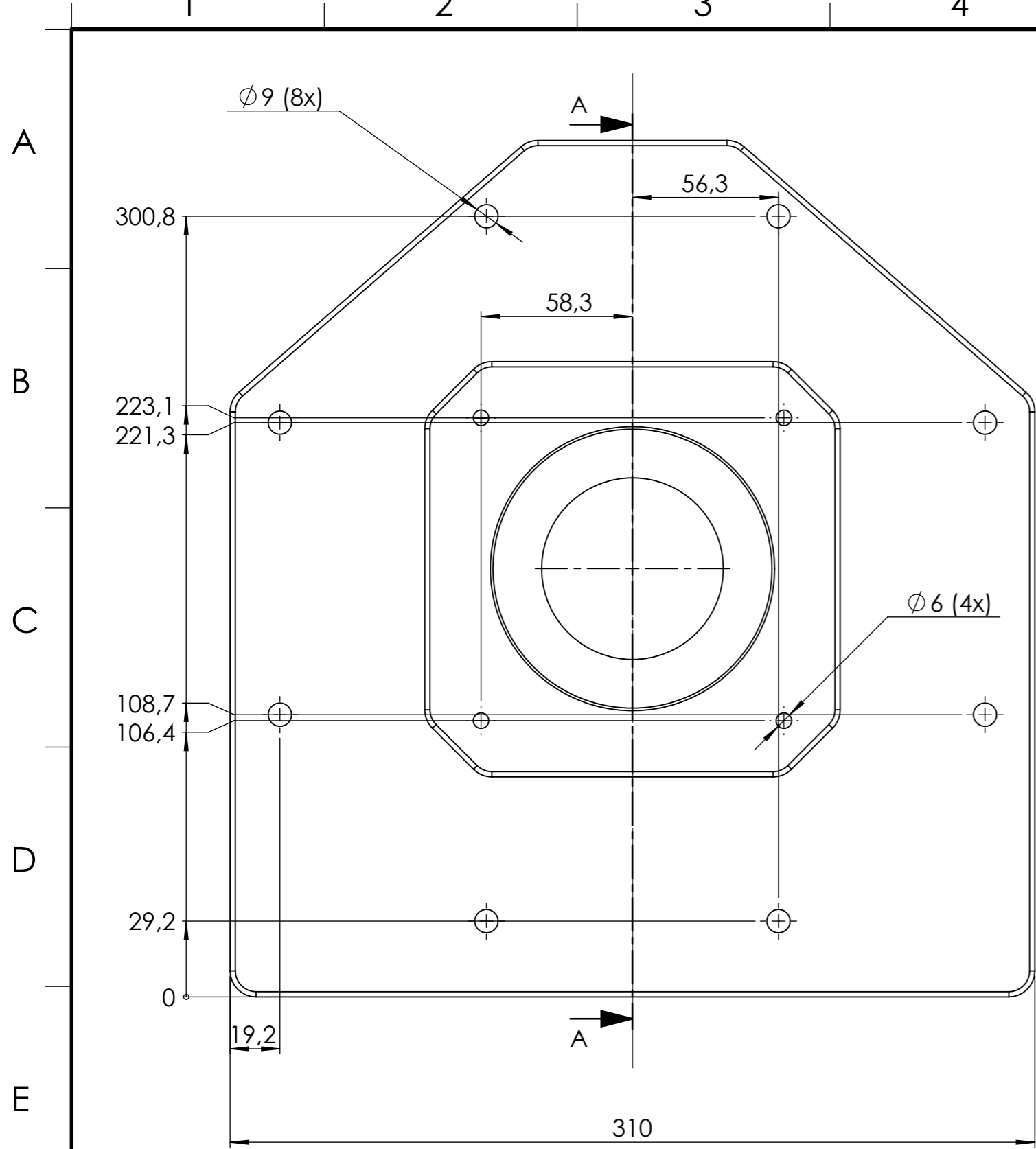
	Material:	Unspecified dimensions:	Mass:	Scale:
		ISO 13920-BF	29.6	1:5
Modeled:	Martin Migur 12.12.2019	Name:		
Drawn:	Sander Viitak 06.01.2020	Frame Weld ASM		
Checked:	Sander Viitak 06.01.2020			
		Sheet:	Format:	Drawing number:
		2 OF 3	A3	165268
				Rev:



	<i>Material:</i>	<i>Unspecified dimensions:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Scale:</i>
		ISO 13920-BF	29.6	1:5
<i>Modeled:</i>	Martin Migur 12.12.2019	<i>Name:</i>		
<i>Drawn:</i>	Sander.Viitak 06.01.2020	Frame Weld ASM		
<i>Checked:</i>	Sander Viitak 06.01.2020			
		<i>Sheet:</i>	<i>Format:</i>	<i>Drawing number:</i>
		3 OF 3	A3	165268
				<i>Rev:</i>

THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF MILREM AS. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF MILREM AS IS PROHIBITED.





Unmarked geometry from DXF or Step file  
 Deburr sharp edges

	<i>Material:</i> 3.3535 (EN-AW 5754)		<i>Unspecified dimensions:</i> ISO 2768-mK		<i>Mass:</i> 5.7	<i>Scale:</i> 1:2
	<i>Modeled:</i> Martin Migur 12.12.2019	<i>Name:</i> Motor To Reducer Adapter				
	<i>Drawn:</i> Martin Migur 06.01.2020					
	<i>Checked:</i> Sander Viitak 06.01.2020					
			<i>Sheet:</i> 1 OF 1	<i>Format:</i> A3	<i>Drawing number:</i> 165269	<i>Rev:</i> 

1 2 3 4 5 6 7 8

A

B

C

D

E

F

A

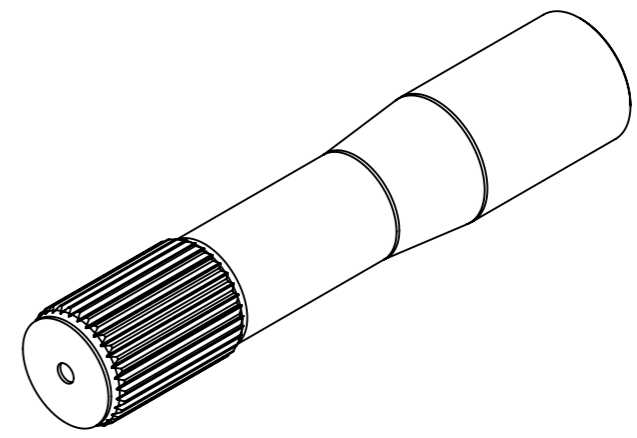
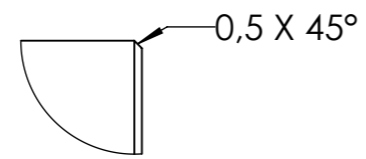
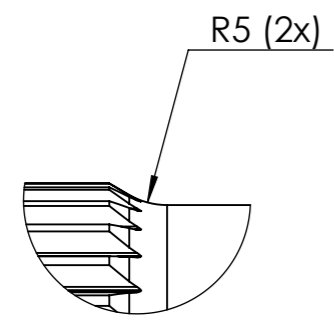
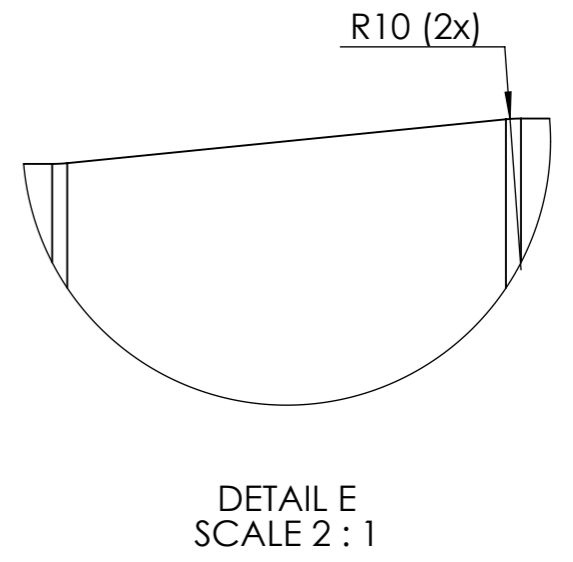
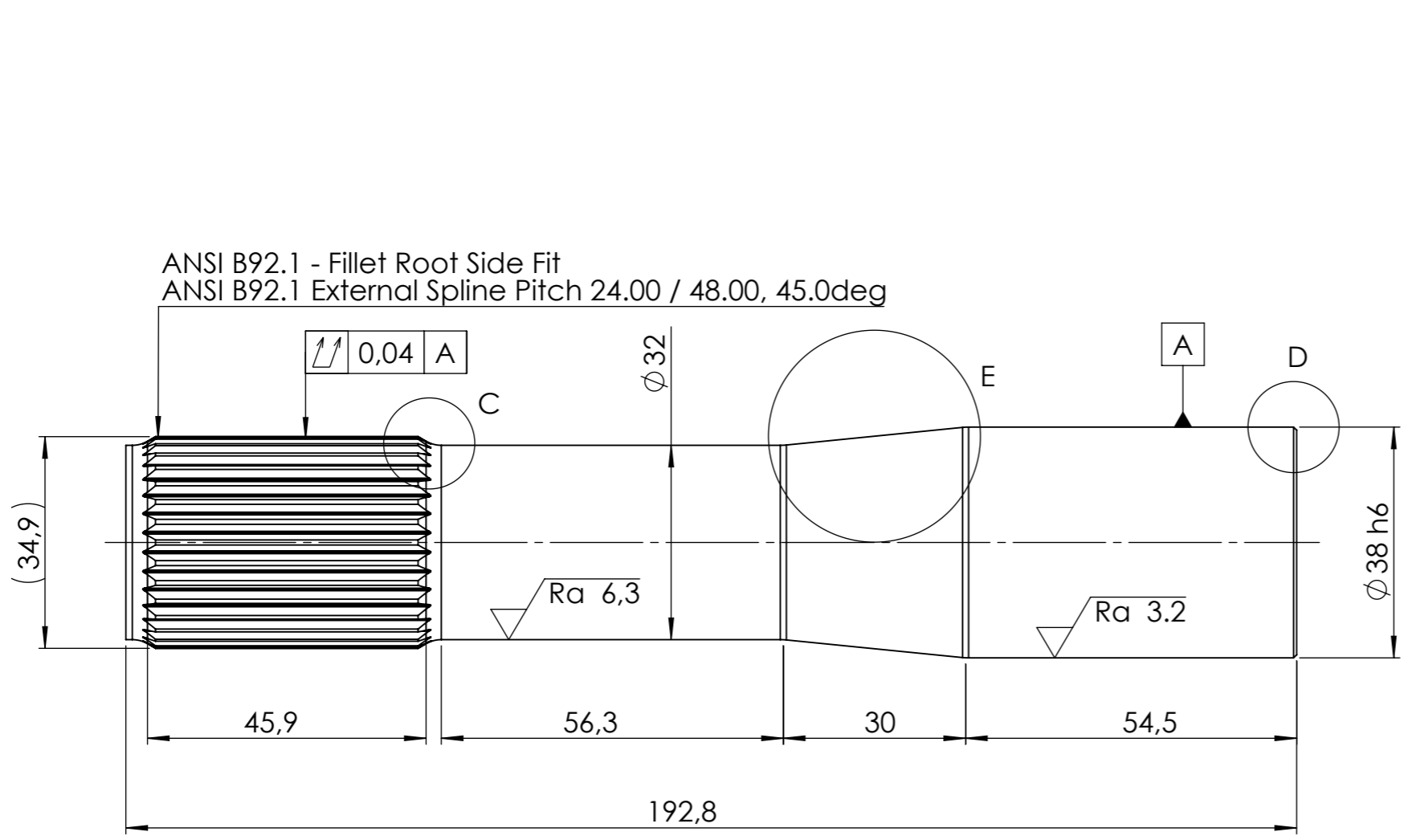
B

C

D

E

F



Center holes according to ISO 6411. Design and size according to the manufacturing needs

	<i>Material:</i> 1.7223 (41CrMo4)	<i>Unspecified dimensions:</i> ISO 2768-mK	<i>Mass:</i> 1.4	<i>Scale:</i> 1:1	
	<i>Modeled:</i> Martin Migur 25.06.2019	<i>Name:</i> Shaft For Test Bench			
	<i>Drawn:</i> Martin Migur 10.01.2020				
	<i>Checked:</i> Sander Viitak 10.01.2020				
		<i>Sheet:</i> 1 OF 1	<i>Format:</i> A3	<i>Drawing number:</i> 165285	<i>Rev:</i>

A

B

C

D

E

F

A

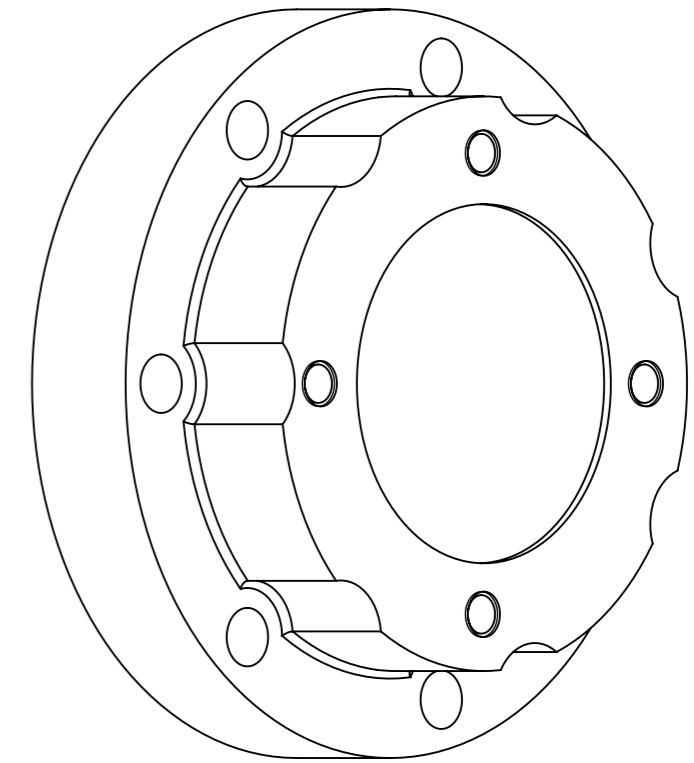
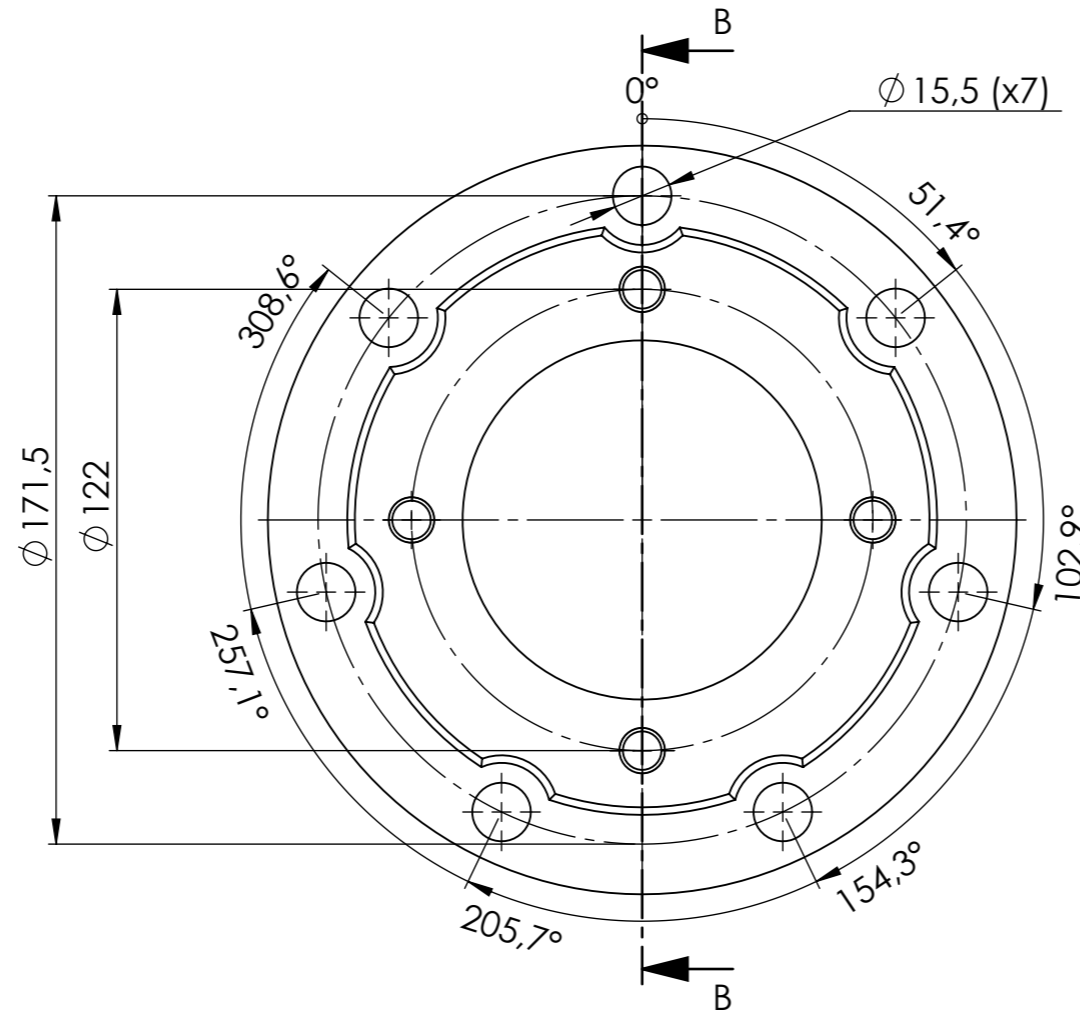
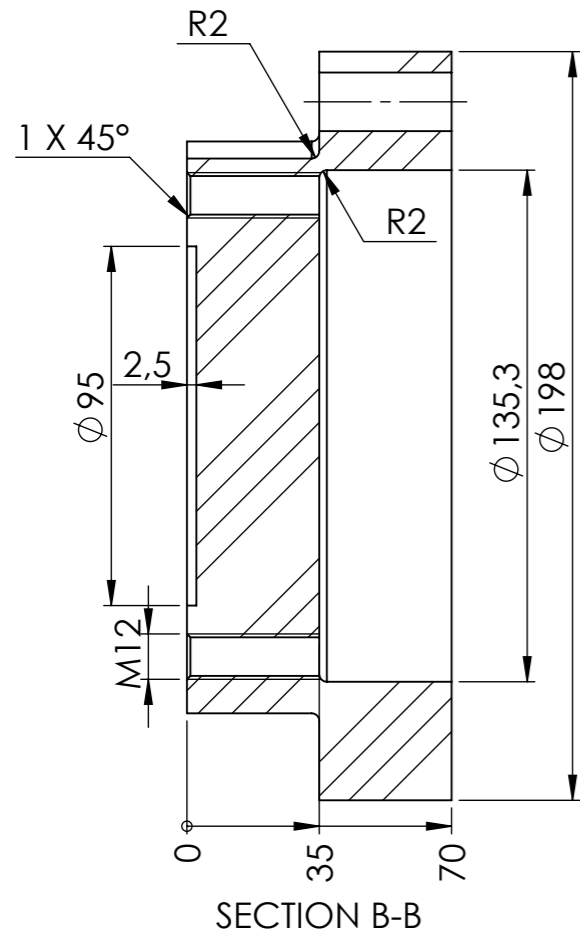
B

C

D

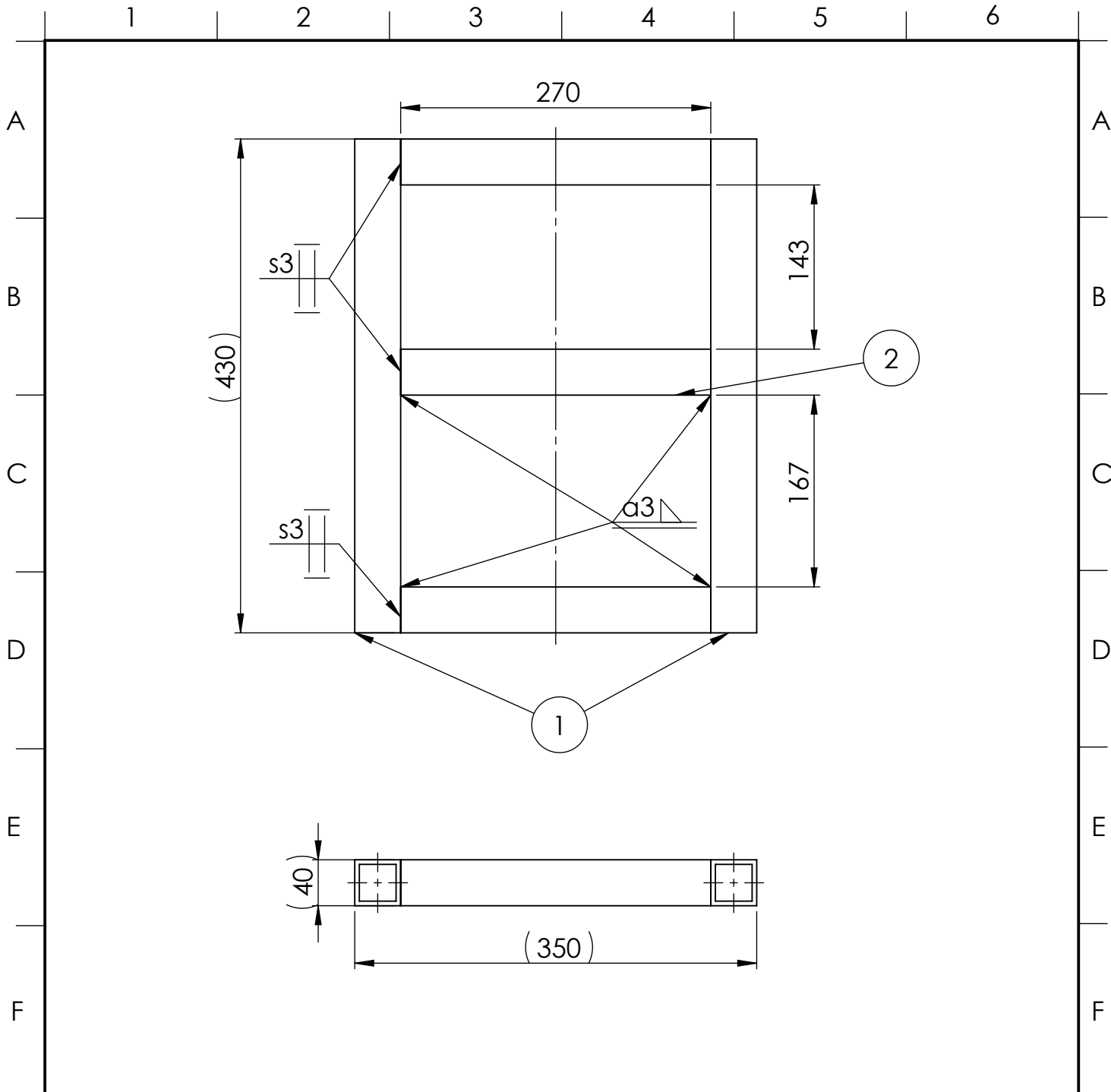
E

F



Unmarked geometry from DXF or Step file  
 Deburr sharp edges

	<i>Material:</i> 1.0570 (S355J2G3)	<i>Unspecified dimensions:</i> ISO 2768-mK	<i>Mass:</i> 8.7	<i>Scale:</i> 1:2
	<i>Modeled:</i> Martin Migur 04.01.2020	<i>Name:</i> Bench To Vehicle Adapter		
<i>Drawn:</i> Martin Migur 06.01.2020				
<i>Checked:</i> Sander Viitak 06.01.2020				
	<i>Sheet:</i> 1 OF 1	<i>Format:</i> A3	<i>Drawing number:</i> 170771	<i>Rev:</i>



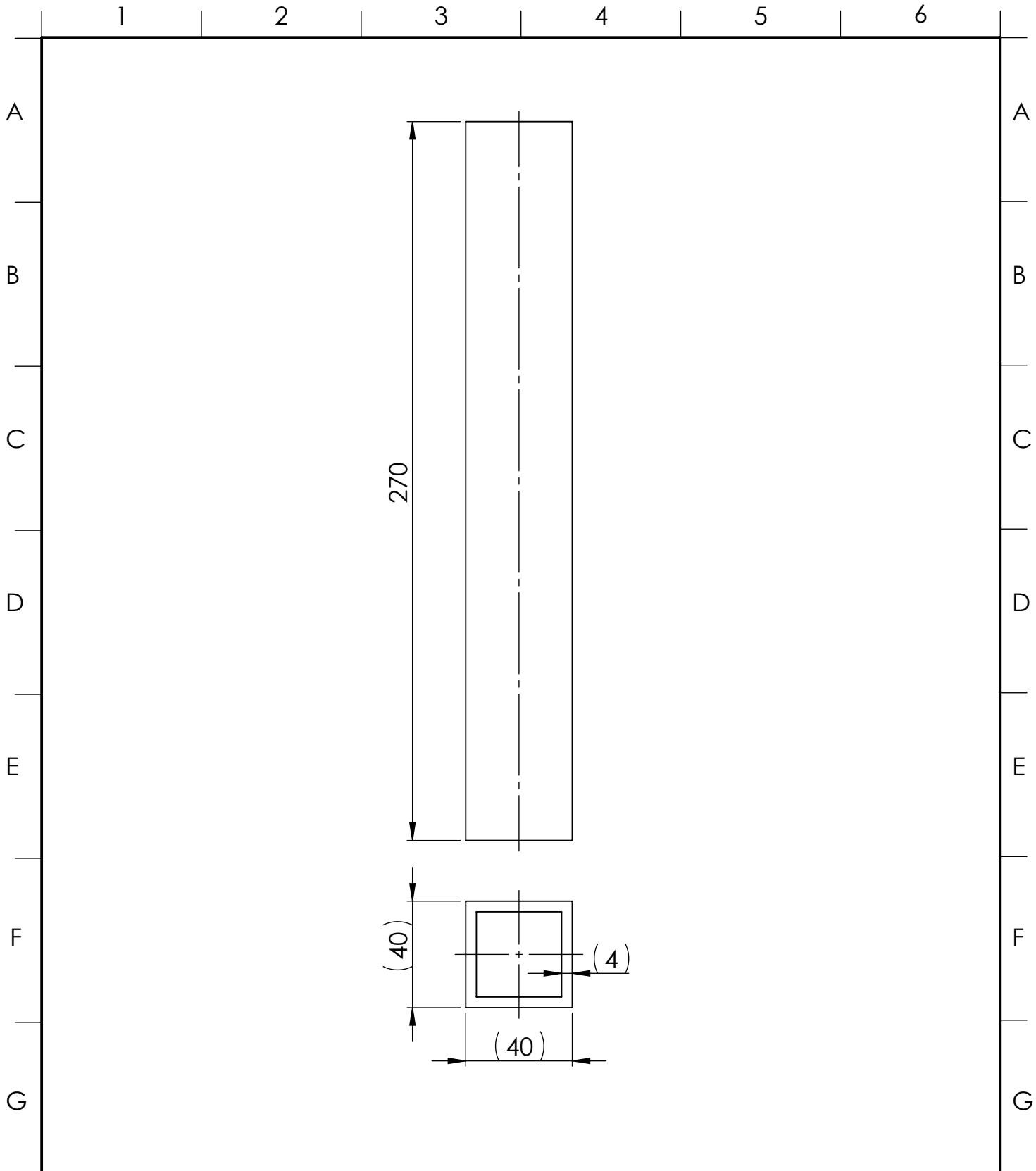
Deburr sharp edges  
 All welds according to ISO 5817/C  
 Unmarked geometry from DXF or Step file

2	Top Support Short 40x40x4	165337	3
1	Top Support 40x40x4	165320	2
ITEM NO.	Description	Number	QTY.

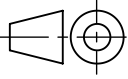

	<i>Material:</i>	<i>Unspecified dimensions:</i> ISO 2768-mK	<i>Mass:</i> 7.5	<i>Scale:</i> 1:5
--	------------------	--	---------------------	----------------------

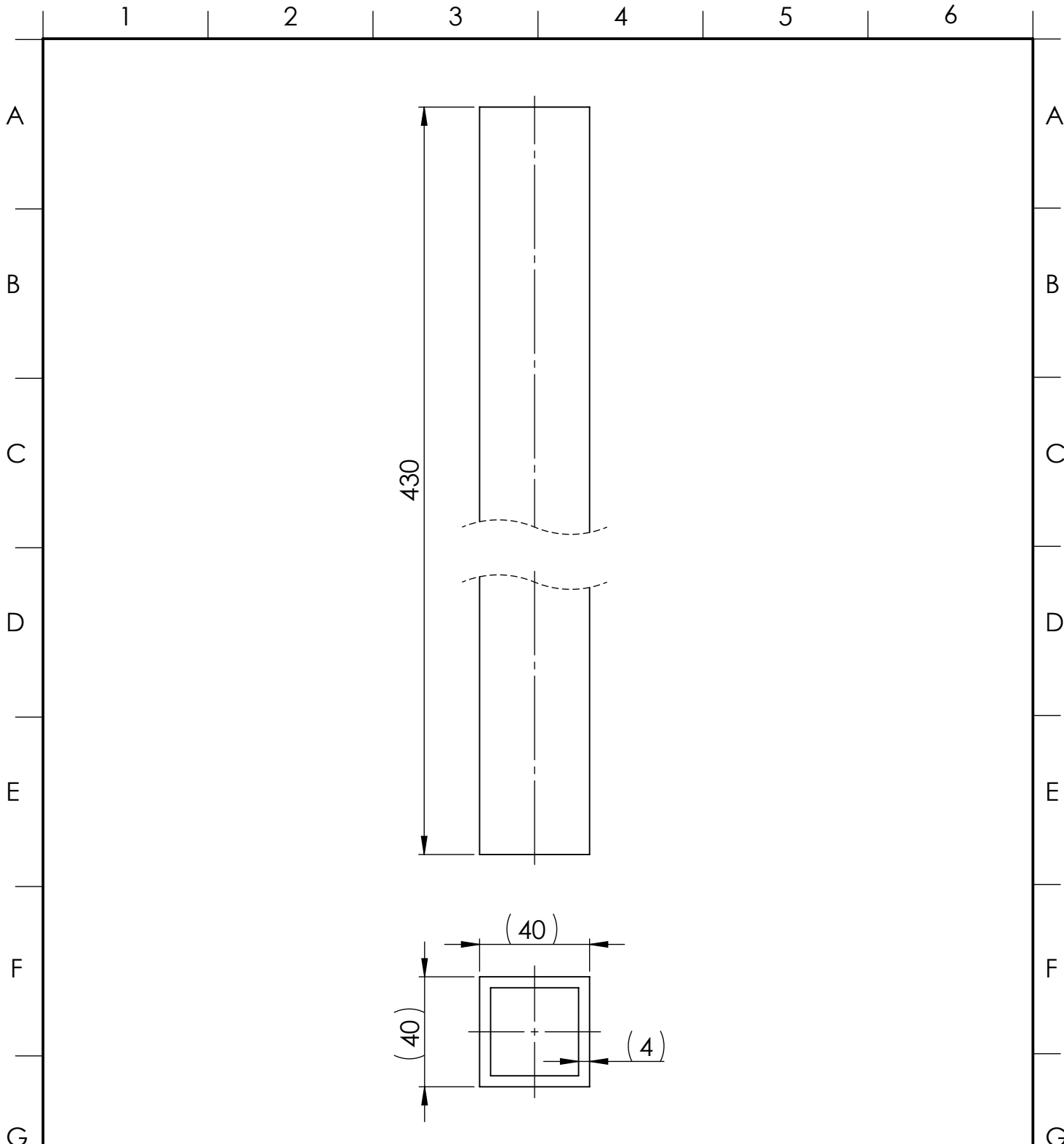
<i>Modeled:</i>	Martin Migur 06.01.2020	<i>Name:</i> <b>Top Frame Weld ASM</b>
<i>Drawn:</i>	Martin Migur 06.01.2020	
<i>Checked:</i>	Sander Viitak 06.01.2020	

	<i>Sheet:</i> 1 OF 1	<i>Format:</i> A4	<i>Drawing number:</i> 170818	<i>Rev:</i>
--	-------------------------	----------------------	----------------------------------	-------------



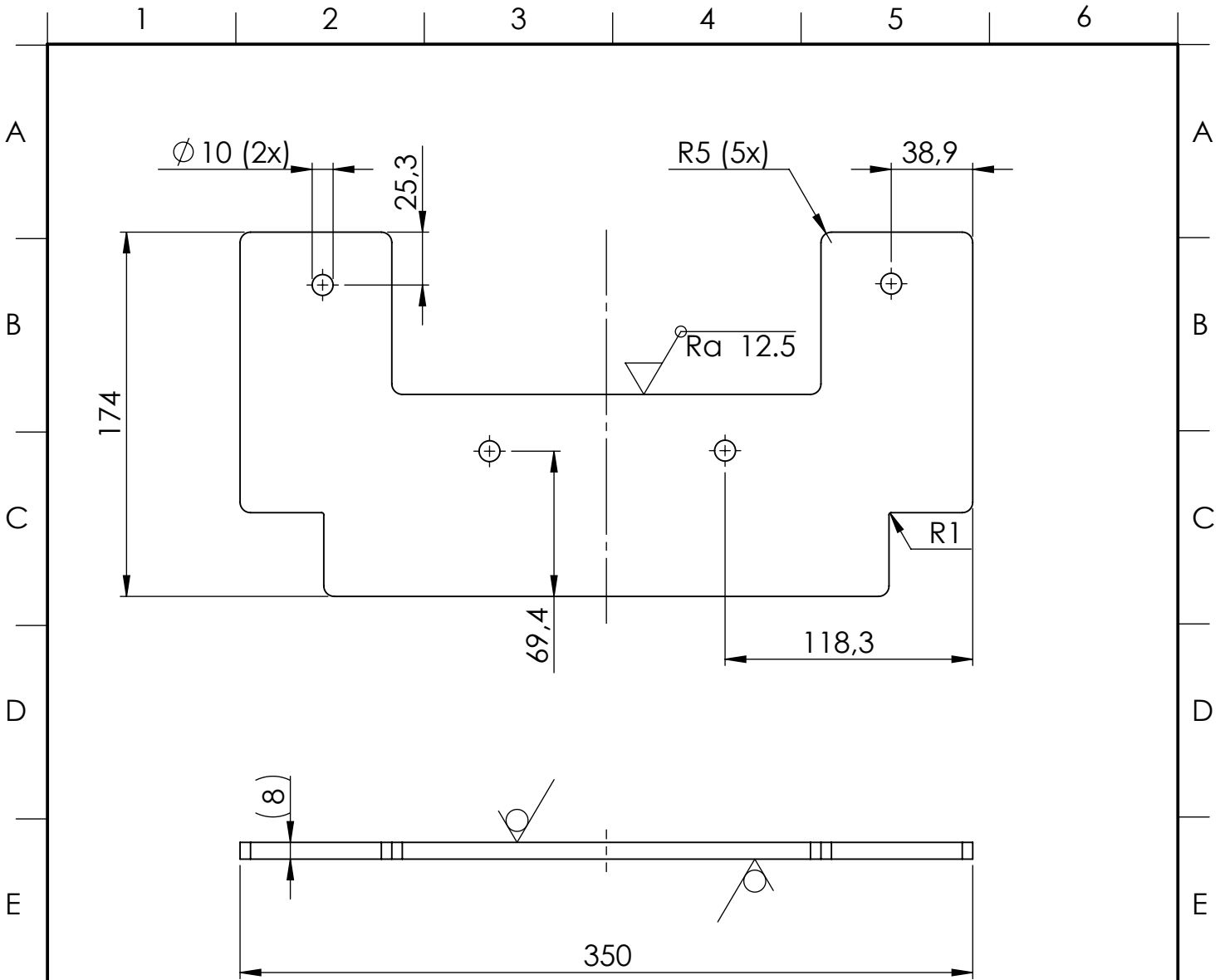
Unmarked geometry from DXF or Step file  
 Deburr sharp edges

	<i>Material:</i> 1.0570 (S355J2G3)		<i>Unspecified dimensions:</i> ISO 2768-mK		<i>Mass:</i> 1.2	<i>Scale:</i> 1:2
	<i>Modeled:</i> Martin Migur 10.12.2019		<i>Name:</i> <b>Top Support Short 40x40x4</b>			
	<i>Drawn:</i> Martin Migur 06.01.2020					
	<i>Checked:</i> Sander Viitak 06.01.2020					
			<i>Sheet:</i> 1 OF 1	<i>Format:</i> A4	<i>Drawing number:</i> 165337	<i>Rev:</i>



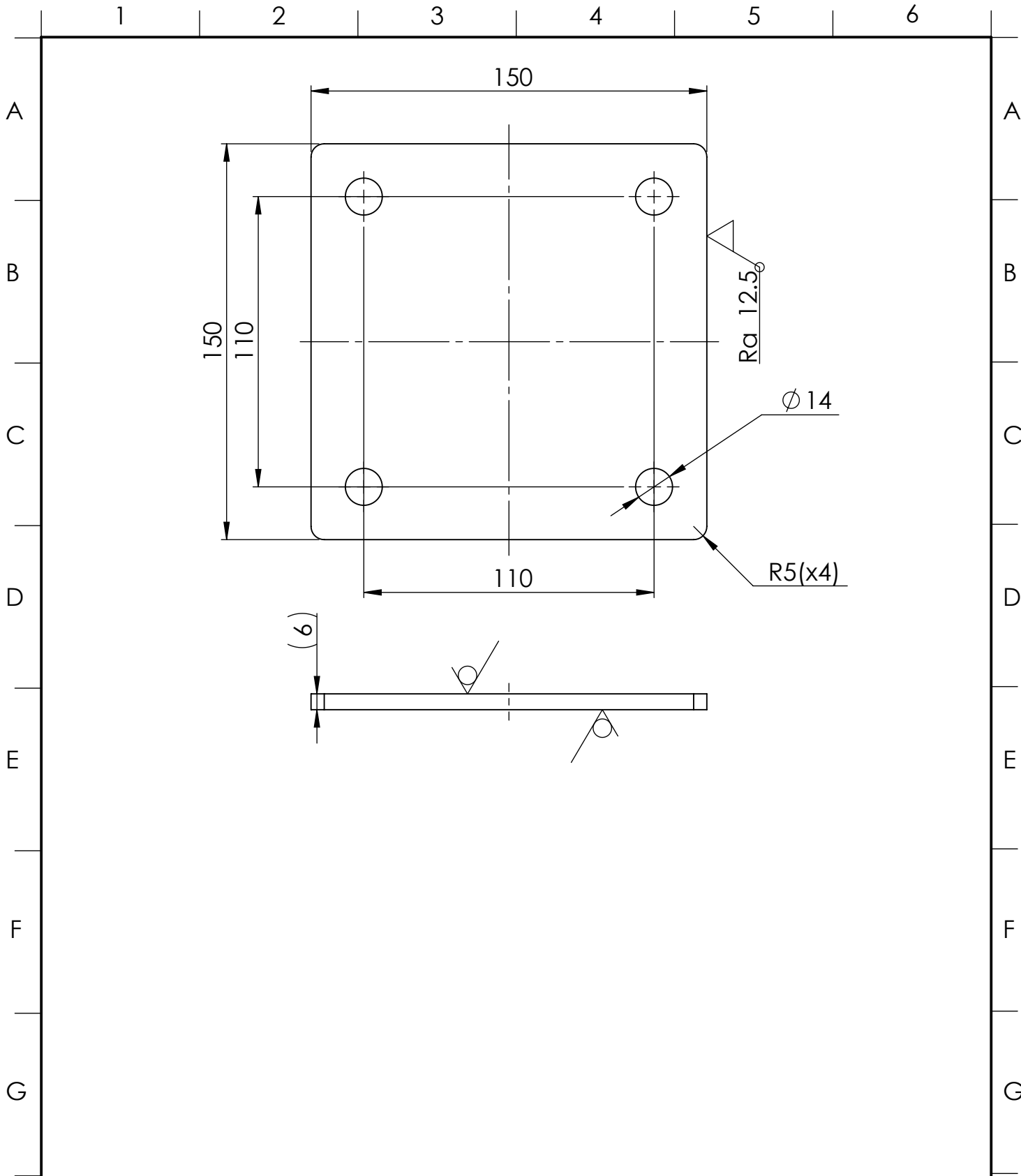
Unmarked geometry from DXF or Step file  
 Deburr sharp edges

	<i>Material:</i> 1.0570 (S355J2G3)	<i>Unspecified dimensions:</i> ISO 2768-mK	<i>Mass:</i> 1.9	<i>Scale:</i> 1:2	
<i>Modeled:</i>	Martin Migur 10.12.2019	<i>Name:</i> <b>Top Support 40x40x4</b>			
<i>Drawn:</i>	Martin Migur 06.01.2020				
<i>Checked:</i>	Sander Viitak 06.01.2020				
		<i>Sheet:</i> 1 OF 1	<i>Format:</i> A4	<i>Drawing number:</i> 165320	<i>Rev:</i>

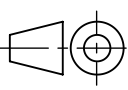



Unmarked geometry from DXF or Step file  
 Deburr sharp edges

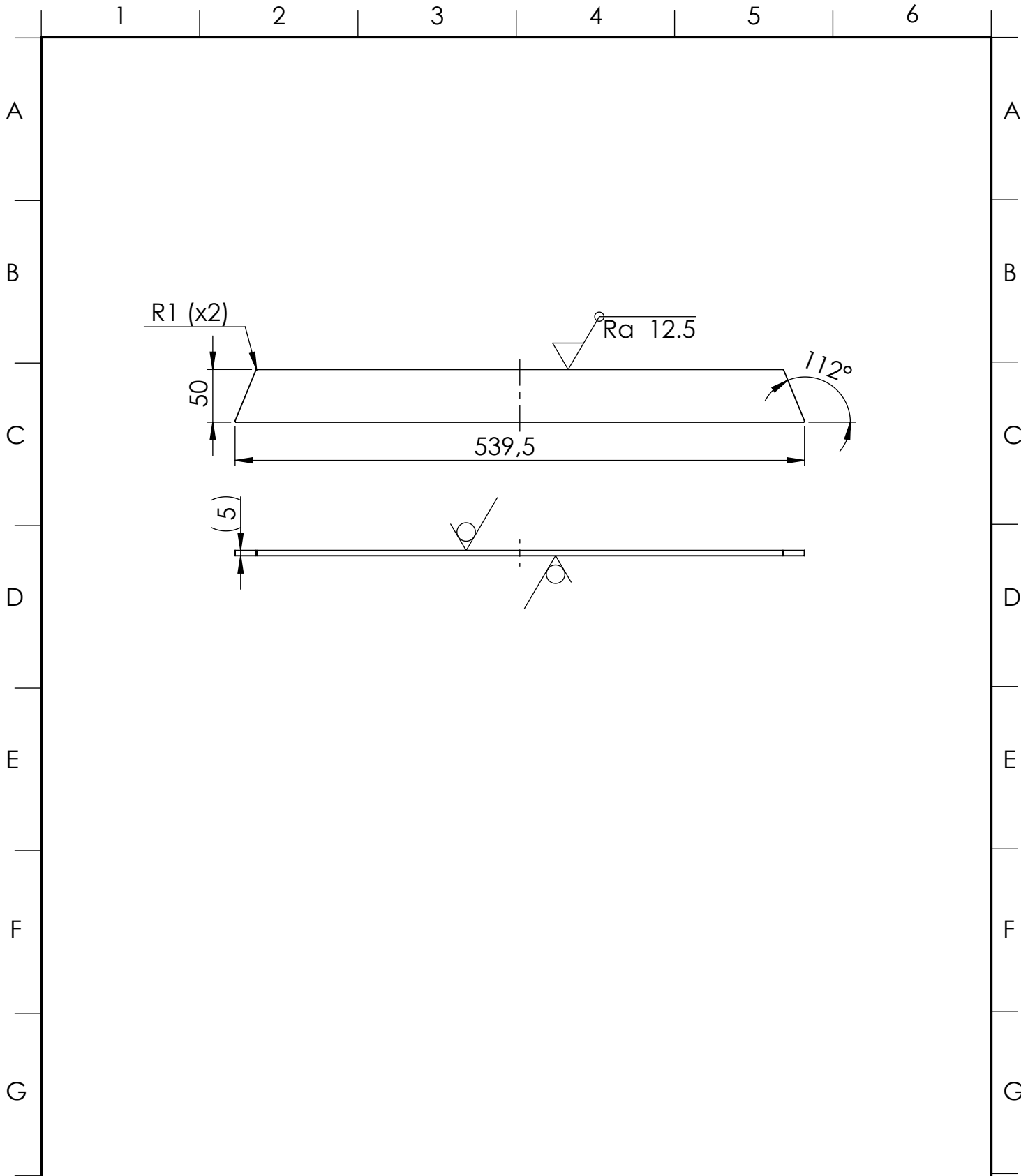
	<i>Material:</i> 1.0570 (S355J2G3)	<i>Unspecified dimensions:</i> ISO 2768-mK	<i>Mass:</i> 2.6	<i>Scale:</i> 1:3	
<i>Modeled:</i>	Martin Migur 12.12.2019	<i>Name:</i> <b>Support Plate</b>			
<i>Drawn:</i>	Martin Migur 06.01.2020				
<i>Checked:</i>	Sander Viitak 06.01.2020				
		<i>Sheet:</i> 1 OF 1	<i>Format:</i> A4	<i>Drawing number:</i> 165279	<i>Rev:</i>



Deburr sharp edges

	<i>Material:</i> 1.0570 (S355J2G3)		<i>Unspecified dimensions:</i> ISO 2768-mK		<i>Mass:</i> 1.0	<i>Scale:</i> 1:2
	<i>Modeled:</i> Martin Migur 19.12.2019		<i>Name:</i>  <b>Ground Support Plate</b>			
	<i>Drawn:</i> Martin Migur 06.01.2020					
	<i>Checked:</i> Sander Viitak 06.01.2020					
			<i>Sheet:</i> 1 OF 1	<i>Format:</i> A4	<i>Drawing number:</i> 165919	<i>Rev:</i>

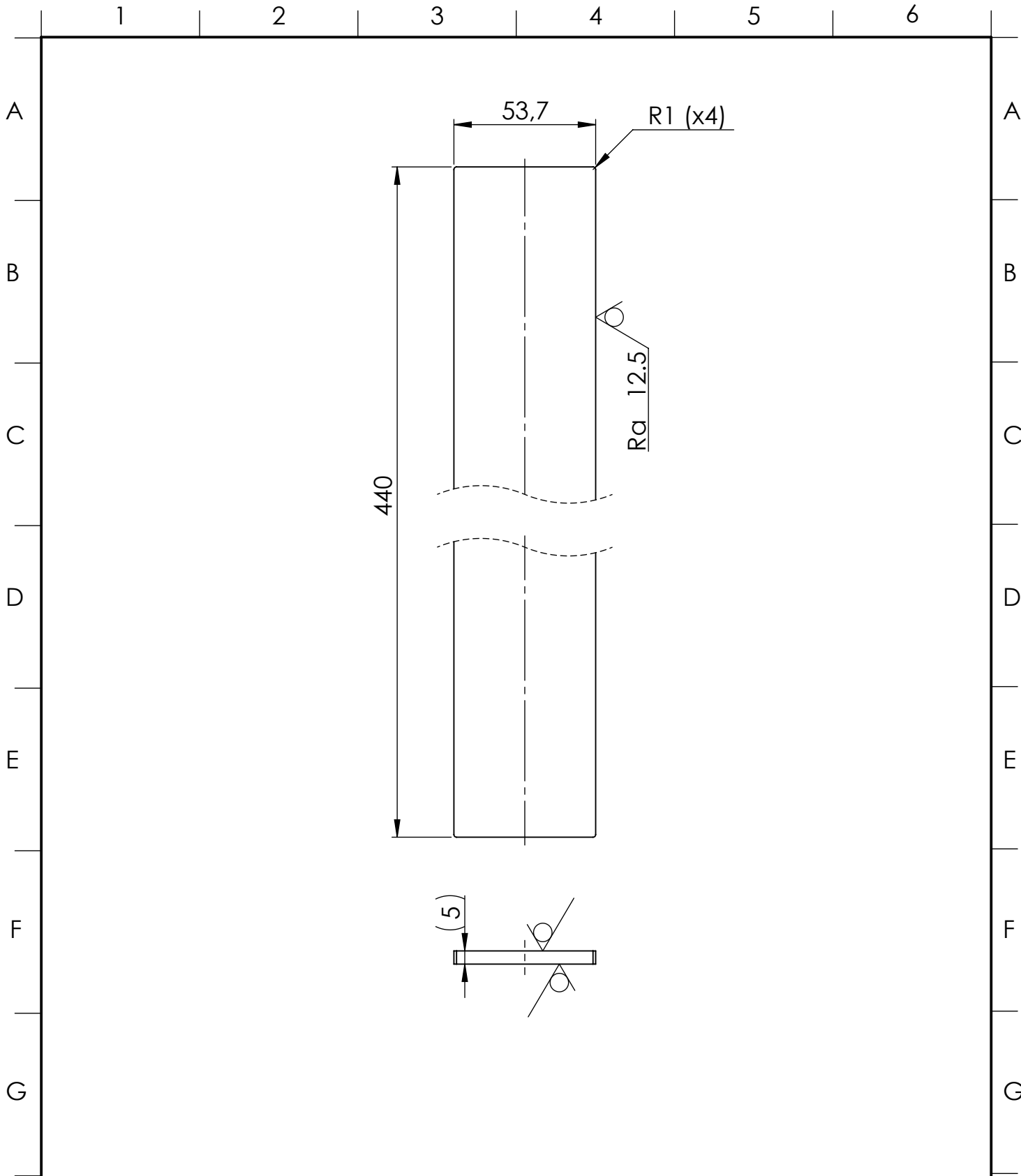




Deburr sharp edges

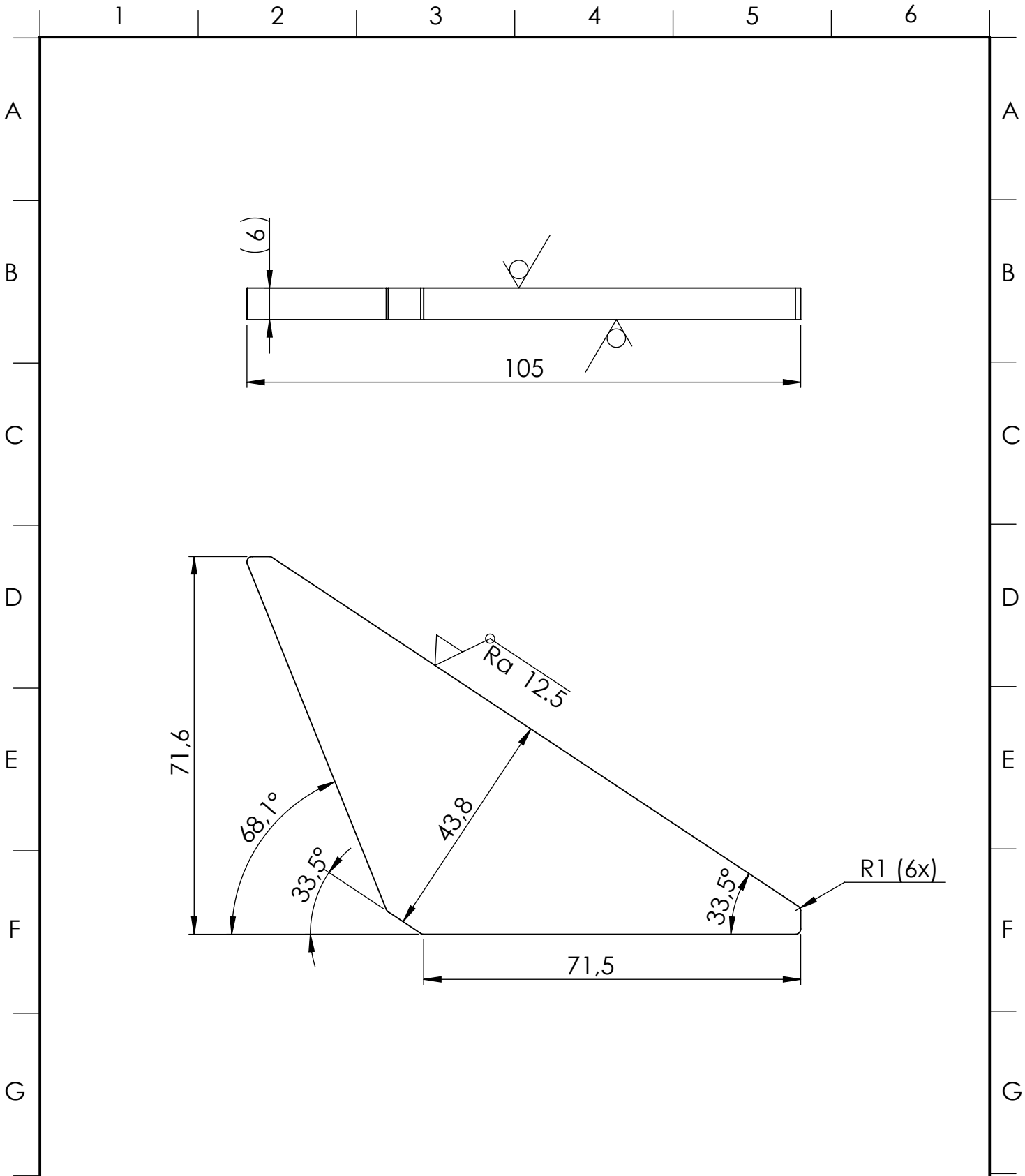
	<i>Material:</i> 1.0570 (S355J2G3)	<i>Unspecified dimensions:</i> ISO 2768-mK	<i>Mass:</i> 1.0	<i>Scale:</i> 1:5	
<i>Modeled:</i>	Martin Migur 21.12.2019	<i>Name:</i> <b>Frame Support Sheet</b>			
<i>Drawn:</i>	Martin Migur 06.01.2020				
<i>Checked:</i>	Sander Viitak 06.01.2020				
		<i>Sheet:</i> 1 OF 1	<i>Format:</i> A4	<i>Drawing number:</i> 165920	<i>Rev:</i>

THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF MILREM AS.  
 ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF MILREM AS IS PROHIBITED.



Deburr sharp edges

H		<i>Material:</i> 1.0570 (S355J2G3)	<i>Unspecified dimensions:</i> ISO 2768-mK	<i>Mass:</i> 0.9	<i>Scale:</i> 1:2	H	
		<i>Modeled:</i> Martin Migur 21.12.2019	<i>Name:</i> <b>Frame Support Sheet Short</b>				
<i>Drawn:</i> Martin Migur 06.01.2020							
<i>Checked:</i> Sander Viitak 06.01.2020							
J			<i>Sheet:</i> 1 OF 1	<i>Format:</i> A4	<i>Drawing number:</i> 165921	<i>Rev:</i>	J



Deburr sharp edges

	<b>Material:</b> 1.0570 (S355J2G3)	<b>Unspecified dimensions:</b> ISO 2768-mK	<b>Mass:</b> 0.1	<b>Scale:</b> 1:1	
<b>Modeled:</b>	Martin Migur 04.01.2020	<b>Name:</b> <i>Support Rib</i>			
<b>Drawn:</b>	Martin Migur 06.01.2020				
<b>Checked:</b>	Sander Viitak 06.01.2020				
		<b>Sheet:</b> 1 OF 1	<b>Format:</b> A4	<b>Drawing number:</b> 170775	<b>Rev:</b>

1

2

3

4

5

6

A

A

B

B

C

C

D

D

E

E

F

F

G

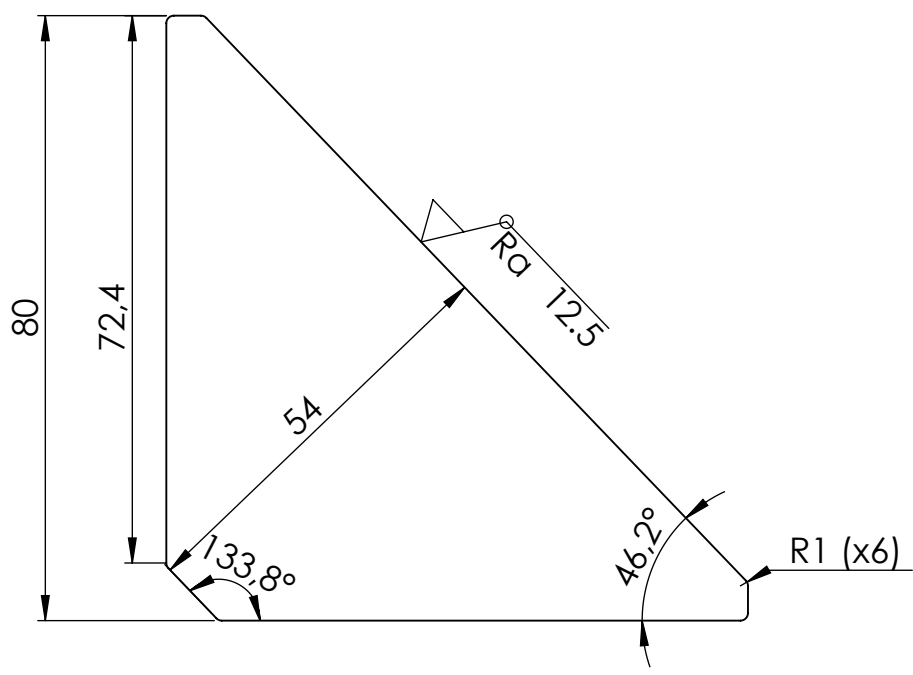
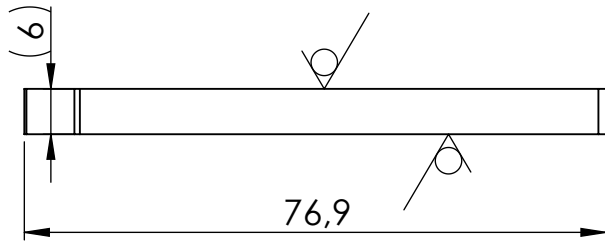
G

H

H

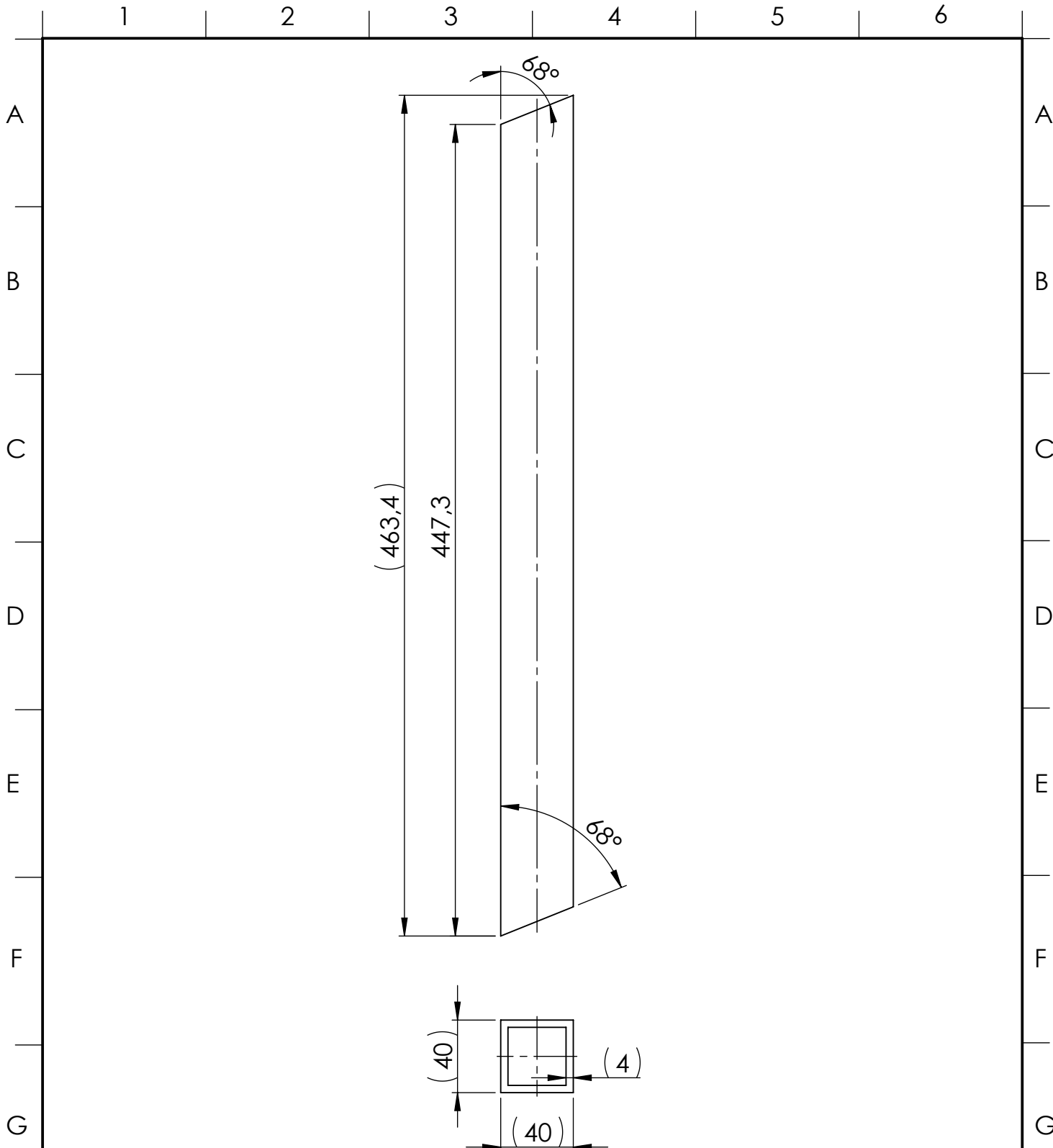
J

J



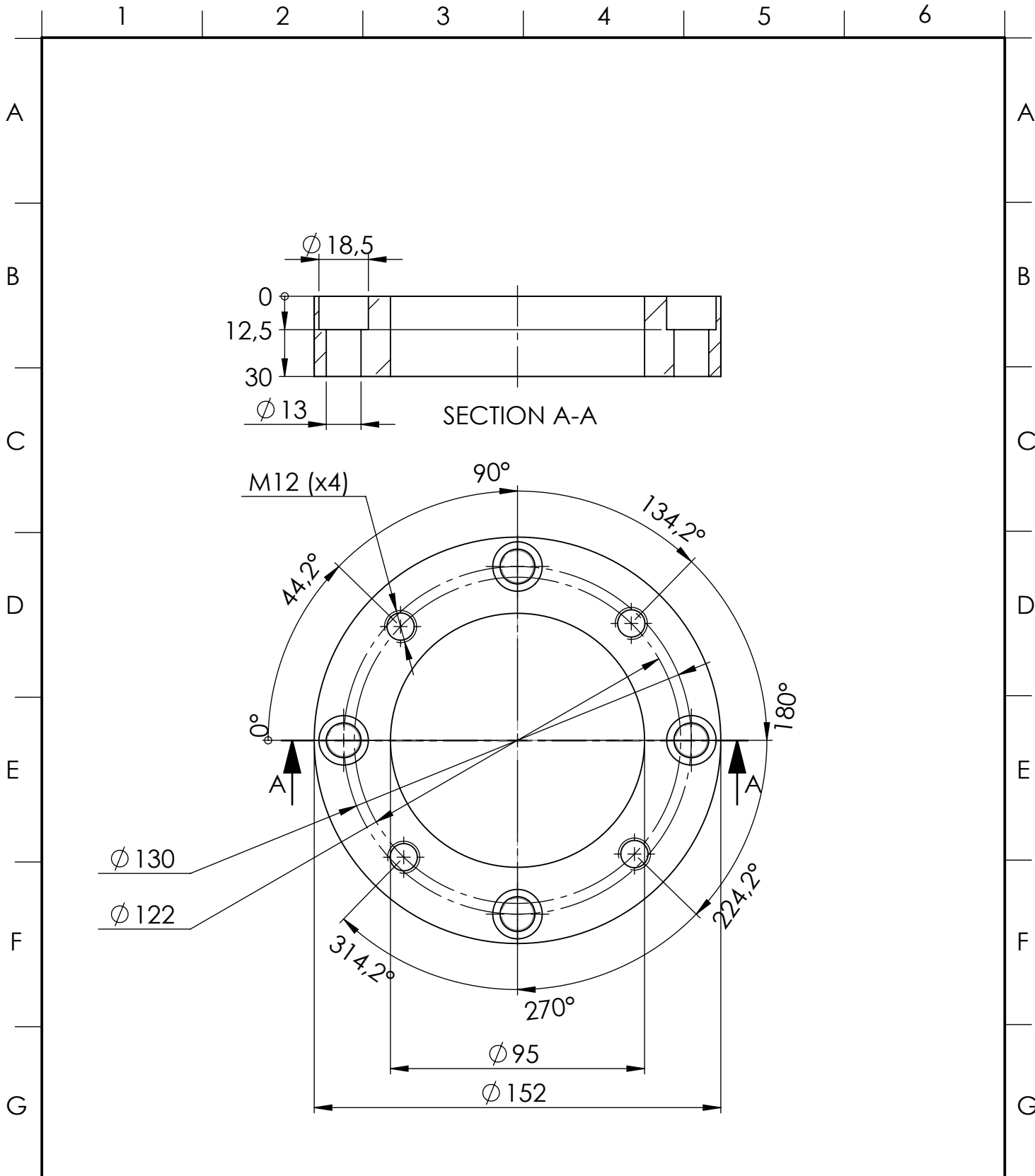
Deburr sharp edges

	<i>Material:</i> 1.0570 (S355J2G3)	<i>Unspecified dimensions:</i> ISO 2768-mK	<i>Mass:</i> 0.2	<i>Scale:</i> 1:1	
<i>Modeled:</i>	Martin Migur 04.01.2020	<i>Name:</i> <b>Support Rib Side</b>			
<i>Drawn:</i>	Martin Migur 06.01.2020				
<i>Checked:</i>	Sander Viitak 06.01.2020				
		<i>Sheet:</i> 1 OF 1	<i>Format:</i> A4	<i>Drawing number:</i> 170776	<i>Rev:</i>



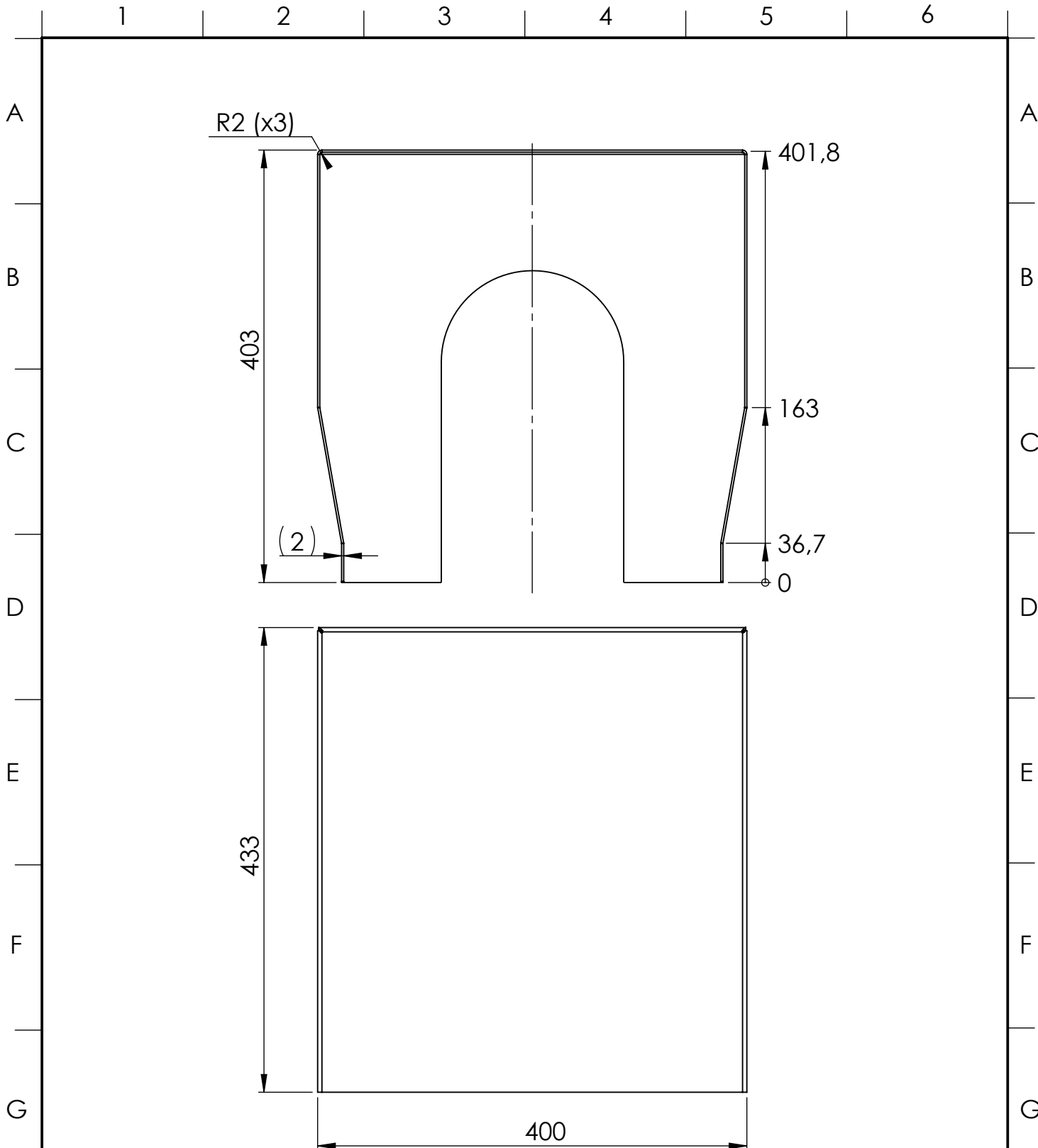
Unmarked geometry from DXF or Step file  
 Deburr sharp edges

H		<i>Material:</i> 1.0570 (S355J2G3)	<i>Unspecified dimensions:</i> ISO 2768-mK	<i>Mass:</i> 2.0	<i>Scale:</i> 1:3	H	
	<i>Modeled:</i>	Martin Migur 19.12.2019	<i>Name:</i> <b>Support Beam</b>				
	<i>Drawn:</i>	Martin Migur 06.01.2020					
<i>Checked:</i>	Sander Viitak 06.01.2020						
J			<i>Sheet:</i> 1 OF 1	<i>Format:</i> A4	<i>Drawing number:</i> 165918	<i>Rev:</i>	J



Unmarked geometry from DXF or Step file  
 Deburr sharp edges

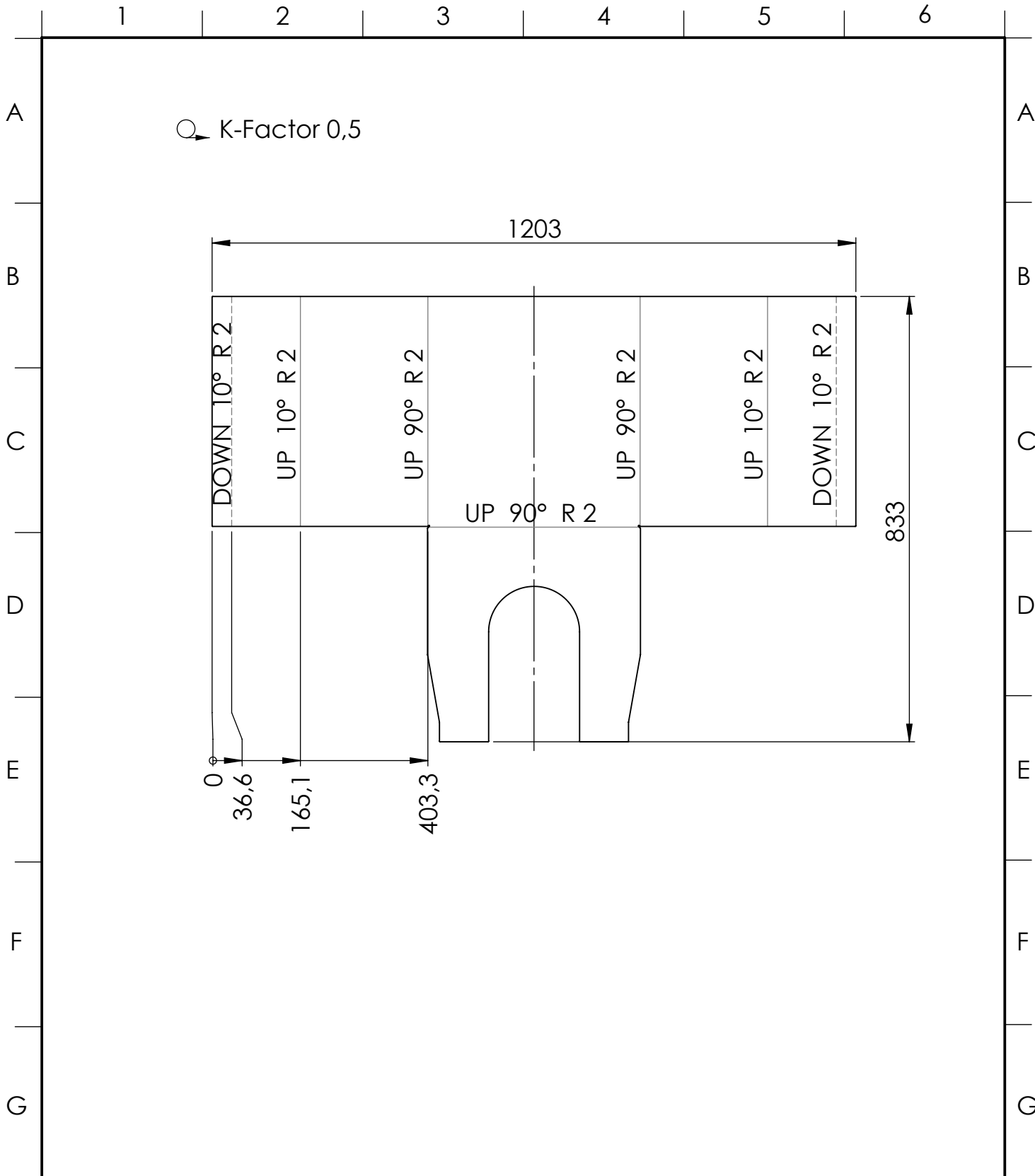
	<i>Material:</i> 1.0570 (S355J2G3)	<i>Unspecified dimensions:</i> ISO 2768-mK	<i>Mass:</i> 2.3	<i>Scale:</i> 1:2	
<i>Modeled:</i>	Martin Migur 03.01.2020	<i>Name:</i> <b>Adapter</b>			
<i>Drawn:</i>	Martin Migur 06.01.2020				
<i>Checked:</i>	Sander Viitak 06.01.2020				
		<i>Sheet:</i> 1 OF 1	<i>Format:</i> A4	<i>Drawing number:</i> 170770	<i>Rev:</i>



Deburr sharp edges  
 Unmarked geometry from DXF or Step file

H		<i>Material:</i> 1.0570 (S355J2G3)	<i>Unspecified dimensions:</i> ISO 2768-mK	<i>Mass:</i> 9.8	<i>Scale:</i> 1:5	H	
		<i>Modeled:</i> Martin Migur 04.01.2020	<i>Name:</i> <b>Cover</b>				
		<i>Drawn:</i> Martin Migur 07.01.2020					
J		<i>Checked:</i> Sander Viitak 07.01.2020	<i>Sheet:</i> 1 OF 2	<i>Format:</i> A4	<i>Drawing number:</i> 170774	<i>Rev:</i>	J





Deburr sharp edges  
 Unmarked geometry from DXF or Step file

	<i>Material:</i> 1.0570 (S355J2G3)		<i>Unspecified dimensions:</i> ISO 2768-mK		<i>Mass:</i> 9.8	<i>Scale:</i> 1:10
	<i>Modeled:</i> Martin Migur 04.01.2020		<i>Name:</i> <b>Cover</b>			
	<i>Drawn:</i> Martin Migur 07.01.2020					
	<i>Checked:</i> Sander Viitak 07.01.2020					
			<i>Sheet:</i> 2 OF 2	<i>Format:</i> A4	<i>Drawing number:</i> 170774	
						<i>Rev:</i>