

Aleksei Rusmanov

LÄMMASTIKU ANALÜSAATORI KORPUSE JA USTE PROJEKTEERIMINE

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut
Masinaehituse eriala

Tallinn 2021

Autori deklaratsioon ja lihtlitsents

Mina,

Aleksei Rusmanov,

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

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

Juhendaja (nimi, allkiri) Peter Šverns

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Aleksei Rusmanov

(*autori nimi*)

sünnikuupäev: 11.09.1994

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

Lämmastiku analüsaatori korpuse ja uste projekteerimine

(*lõputöö pealkiri*)

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

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

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

Tallinnas, kuupäev digiallkirjas.

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	4
1. TEHNILINE ÜLESANNE.....	5
2. KORPUSE PROJEKTEERIMINE	6
2.1. Projekteerimise vajadus.....	6
2.2. Projekteeritava korpuse ülevaade.....	7
3. UKSE SÜSTEEMI PROJEKTEERIMINE.....	9
3.1. Uste projekteerimine	9
3.1.1. Lahenduse väljatöötlemine.....	9
3.1.2. Prototüübi valmistamise jaoks vajalik varustus	10
3.1.3. Prototüübi katsed ja ülevaade.....	10
3.1.4. Disaini arendus.....	12
3.2. Hingede projekteerimine	14
3.2.1. Turuanalüüs	14
3.2.2. Lahenduse väljatöötlemine.....	15
4. TUGEVUSARVUTUSED	20
4.1. Korpuse analüüs	20
4.2. Hingede analüüs	22
KOKKUVÖTTE	27
SUMMARY	28
VIIDATUD ALLIKAD.....	29
LISAD	30

SISSEJUHATUS

Lõputöö teemaks on lämmastiku analüsaatori Turbo N uste ja korpuse projekteerimine. Selle põhjuseks on asjaolu, et vanad ukSED ja korpus olid moraalselt vananenud ja ei pakkunud klientidele mugavust analüsaatoriga töötamisel. Eesmärgiks oli leida parem, kaasaegsem lahendus mis oleks samal ajal vahetatav vana korpuse süsteemiga.

Lõputöö teema pärineb Costech Microanalytical OÜ'st mis tegeleb keemiatööstuse mõõteriistade ja nende tarvikute valmistamisega. Ettevõtte oli asutatud 1999. aastal endise Teaduste Akadeemia SKB töötajate baasil, kes tegelesid kromatograafia alal. 2014. aastal kolis ettevõtte oma hoonesse, mis asub Rahumäe teel. Peamine mudel mida Costech toodab praegu, on Turbo N. See seade võimaldab teha valgu ja lämmastiku ekspressanalüüsi kolme minuti jooksul $\pm 0,3\%$ täpsusega. Turbo N võib analüüsida erinevaid toitaineid: teravili, liha, piimatooteid, õlletööstuse vajalikke lähteaineid.

Lõputöö on jagatud neljaks osaks. Esimeses osas määratakse projekti tehniline ülesanne, millele peavad korpus ja ukSED vastama ning mis on kogu käsitleva projekti alus. Teises osas kirjeldatakse korpuse projekteerimist ja selle konstruktsiooni iseärasusi. Kolmas osa on jaotatud pooleks, esimene pool kirjeldab uste projekteerimist ning nende prototüübi valmistamist. Saadud kogemuste põhjal sai uste disain seeriatootmiseks optimeeritud. Teine pool kirjeldab hingede projekteerimist, mille vajadus tuli sellest, et alternatiivsed lahendused ei rahuldanud püstitatud ülesande nõudlust. Neljandas osas tehakse tugevusarvutused FEM-keskkonnas mõlema projekteeritud konstruktsioonide jaoks.

Võib öelda, et antud seadme puhul räägime keerulisest väikeseeria tootmisest. Ettevõttes on masinaehituse poolest erinevad seadmed: manuaalsed trei-, frees-, ja puurpingid ning lisaks presspink ja takistuskeevitus. Eelpool nimetatud seadmeid kasutatakse väikeses koguses toodangu tootmiseks ja prototüüpide valmistamiseks. Enamik detaile saadakse allhanke teel, pooltooted viimistletakse kohapeal. Kõik see mõjutas projekteerimise käigus tehtud otsuseid.

1. TEHNILINE ÜLESANNE

Projekti algusel sai ettevõtte poolt formuleeritud tehniline ülesanne, millele pidid uued ukSED ja korpus vastama:

- Uksed ja korpus peavad omandama hea tööstusdisaini kuju.
- Olla võimalikult odavad.
- Korpuse jäikus peab olema suurendatud.
- Korpuse tootmistehnoloogia on parendatud.
- Korpuse järeltöötlemise töömahu vähendamine.
- Korpuse konstruktsiooni lubatud varutegur on 2.2.
- Korpus peab vastama Euroopa Parlamendi ja Nõukogu Direktiivile 2014/30/EL.
- Peab olema võimalik uksi kiiresti seadmest maha võtta, samaaegselt nad ei või juhuslikult lahti tulla seadme transporteerimise ja paigaldamise ajal. Maha võtmine peab olema lihtne, ilma lahtiste ja kergesti kaduvate osadeta.
- On olemas võimalus uksi reguleerida kahes teljes korpuse tasapindadega joondamiseks.
- Ukse süsteem peab vastama temale ettenähtud koormusele, mis on tõestatud analüüsiga.
- Ukse süsteemi lubatud varutegur on 2.4.

2. KORPUSE PROJEKTEERIMINE

2.1. Projekteerimise vajadus

Praegune korpus koosneb painutatud ning kokku keevitatud DC 01 1mm lehtterasest, mida keevitatakse punktkeevitusega 1.5 mm paksuse alusplaadi peale (Sele 1). Kuigi see on tehnoloogiliselt lihtne ja mõnes mõttes odav variant, aja jooksul on ta moraalselt vananenud. Painutus ja keevitusdeformatsioonide tõttu muutub välispind laineliseks, mis omakorda suurendab järeltöötlemise töömahtu. Isegi pärast kõiki viimistlusteid pole võimalik saavutada toote Euroopa Liidu kvaliteedile vastavat välimust. Lisaks sellele, paindub korpus keskel komponentide raskuse tõttu. Eeltoodud põhjustel otsustas ettevõtte projekteerida uue mudeli, mis pidi arvesse võtma varasemad puudused. Komponentide paigutus jäi samaks, kuna see skeem on aastate jooksul välja töötatud ega põhjusta tõsiseid probleeme.

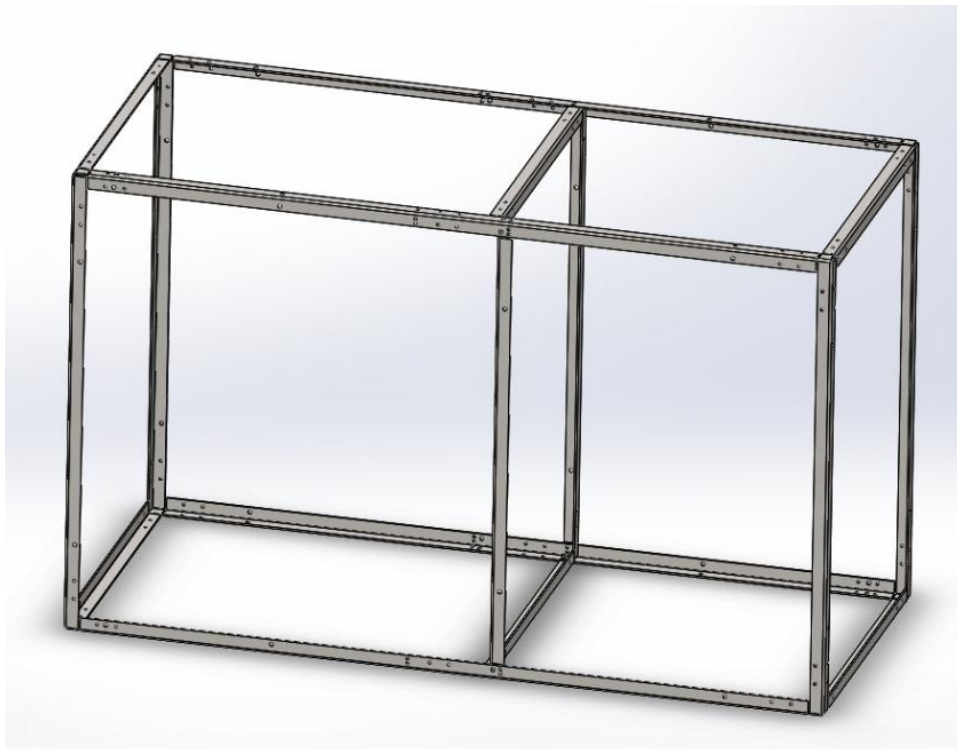


Sele 1. Olemasolev lahendus.

Korpus peab vastama Euroopa Parlamendi ja Nõukogu Direktiivile 2014/30/EL, mis käsitleb elektromagnetilise ühilduvuse alaste liikmesriikide õigusaktide ühtlustamist. See direktiiv nõuab seadme katkestamata töötamist elektromagneetilis keskkonnas. Selle jaoks on osa korpuse paneelidest tehtud AISI 430 ferriitsest kõrglegeeritud terasest, mis moodustavad seadme elektroonika ümber kaitsva ekraani. Paneelidel, mille valmistamine kõrglegeeritud terasest osutus ebapraktiliseks, on volujuhtiva värviga värvitud kontaktpinnad.

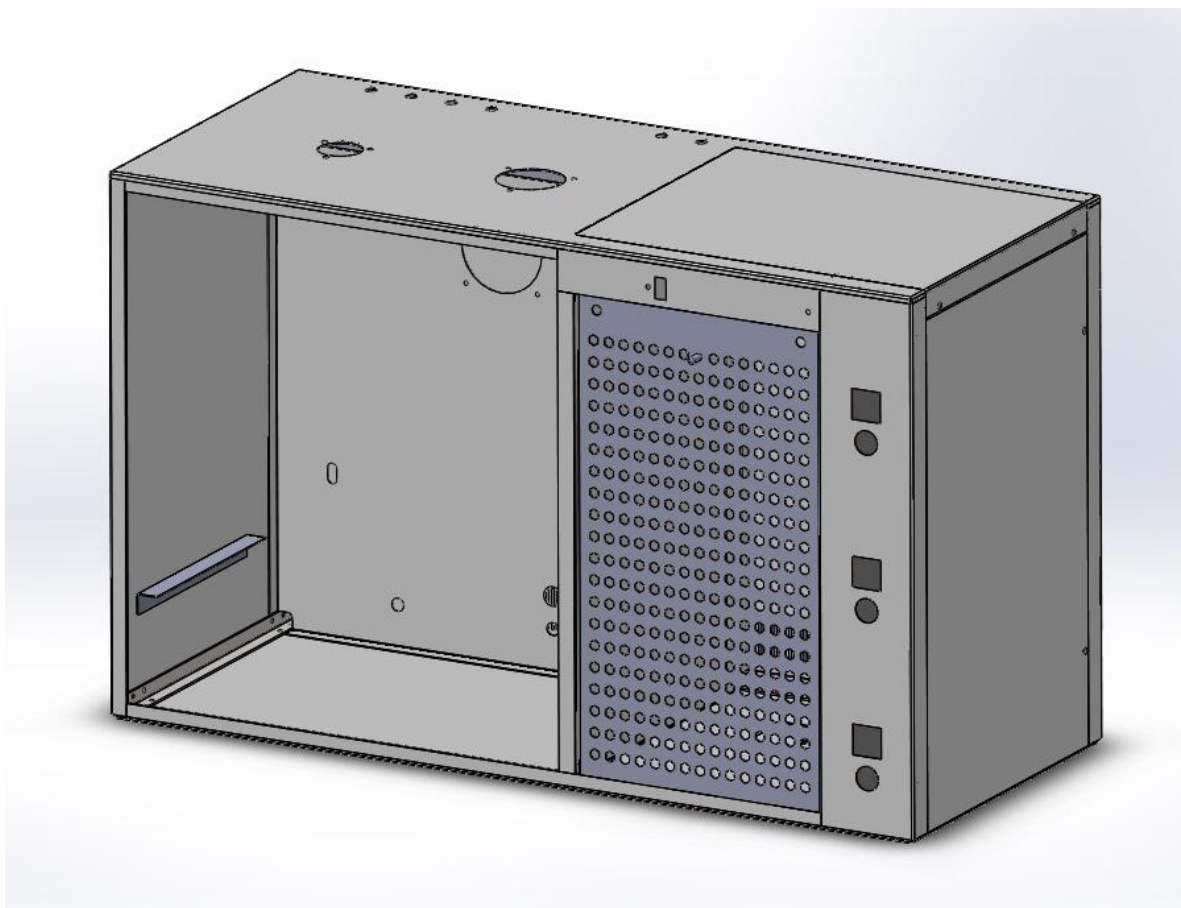
2.2. Projekteeritava korpuse ülevaade

Uues versioonis korpuse valmistamine algab raamist, mis on kokku keevitatud MIG keevitusega painutatud 2 mm Domex® 240 YP [1] (sarnane S235 terasele) terasest nurgikutest (Sele 2). Materjali valik on osaliselt tehtud praktiliste kogemuste põhjal, selle materjali välispind tarnitud kujul ei nõua palju puhastustoiminguid. Raami täpsuse tagamiseks keevituse ajal on iga raami nurka paigaldatud lihtne keevitusrakis mis on toodud lisana (Lisa 3). Rakis säilitab kolme detaili otsade omavahelist täisnurgalisust. Raami detailide kinnitamiseks keevitusrakises kasutatakse M4 kruvisid, mille jaoks on detailides tehtud tehnoloogilised avad. Seda meetodit sai proovitud positiivsete tulemustega.



Sele 2. Korpuse raam.

Valmis raam keevitatakse sarnaselt vanale versioonile 1.5 mm DC01 terasest alusplaadi peale. Seejärel raam kaetakse kruvitud ja keevitatud korkõmblusega paneelidega, mis on valmistatud 1 mm DC01 ja AISI 430 lehtterasest (Sele 3). Kõik detailid saadakse laserlõikuse teel. Valmis konstruktsioon värvitakse pulbervärviga. Selline konstruktsioon pidi olema jäigem ja täpsem kui eelmine variant.



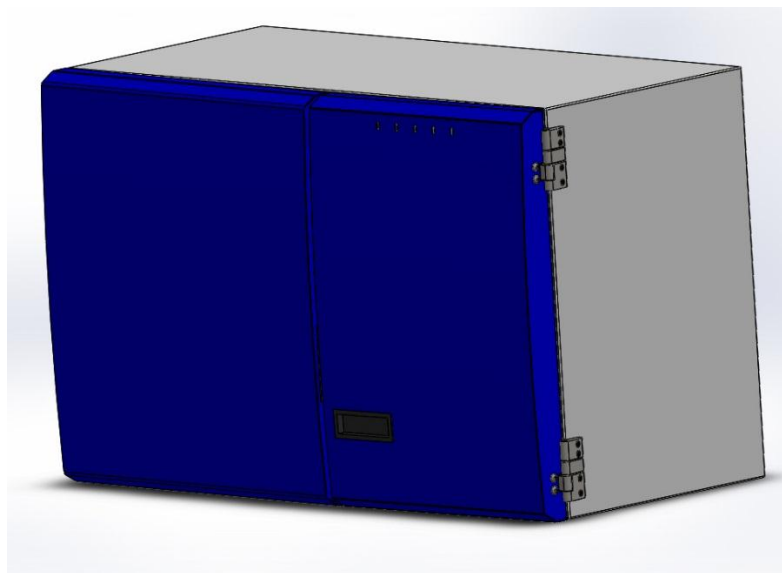
Sele 3. Valmis korpus.

3. UKSE SÜSTEEMI PROJEKTEERIMINE

3.1. Uste projekteerimine

3.1.1. Lahenduse väljatöötlemine

Esiteks määrati kindlaks uste kuju millest tuli alustada (Sele 4). Uks koosneb painutatud 1 mm DC01 lehtterasest profiilist ja kahest 1.5 mm küljest, mida keevitatakse kokku. Materjali valikut põhjendatakse sellega, et eelnevalt volditud 1 mm leht painutatakse koostamise ajal käsitsi ümber külje ümber ääre, mida ei saa kergelt teha paksema materjaliga. Külg on valmistatud paksemast materjalist tänu sellele, et see peab koostamise ajal tootele kuju andma ning ei tohi sel ajal painduda. Selline profiil pidi säilitama oma vormi keevitus- ja muu deformatsioonide ajal, olles samal ajal silmale meeldiv. Esimene prototüüp otsustati keevitada TIG keevitusega, kuna temaga on võimalik saada ilusat keevitussõlme mis ei vaja suuremat lisatöötlust.



Sele 4. Ukse süsteem. Esimene variant.

Uste liikumisulatuse piiramiseks ja avatud ukse asendi fikseerimiseks kasutati prototüübis gaasivedrusid. Uksed jäävad suletud tänu magnetitele mis on kruvitud külgedele. Uks ja uksetiib on

ühendatud läbi kronsteini, mis on kinnitatud uksele poltidega ukse küljes oleva pilude kaudu. Need pilud võimaldavad ukse reguleerimist korpuse esiküljega joondamiseks.

3.1.2. Prototüübi valmistamise jaoks vajalik varustus

Kogemuste saamiseks ja disainiprobleemide väljaselgitamiseks otsustas ettevõtte prototüüpi ise teha. Kui oli kooskõlastatud esmane ukse variant, tuli arusaamine, et käesolev varustus ei lubanud prototüüpi valmistada. Töö teostamiseks puudusid keevitusruum, giljotiin ja painutuspink.

Keevitustööde jaoks ehitati keldris keevitusruum keevituskardinaga ning paigaldati väljatõmbeventilatsioon. Kuna painutuspink ja giljotiin osteti eesmärgiga neid prototüüpide loomiseks kasutada, tekkis vajadus teha neid mobiilsemaks. Painutuspinki ja giljotiini jaoks projekteeriti spetsiaalsed laud-transformerid (Sele 5), mis võimaldasid kiiresti panna pingid rattaste peale ja viia neid töökohale.



Sele 5. Giljotiini laud-transformer.

3.1.3. Prototüübi katsed ja ülevaade

Pärast eelmises peatükis kirjeldatud probleemide lahendamist tehti mõlema ukse prototüüp, mis paljastas disaini ja valmistamise tehnoloogia vead (Sele 6).



Sele 6. Uste prototüüp.

Esimene probleem tekkis keevitusega. TIG keevituse suure soojussisendi tõttu painutasid keevitusdeformatsioonid ukse 1 mm lehtprofili kumeraks, mida ei õnnestunud parandada. Samuti oli koostamise ajal detailide sobitamine väga keeruline, kuna detailides puudusid täpsed kinnituskohad. See kõik on koostamise ajakulu suurendanud.

Teine probleem tekkis gaasivedruga. Prototüübi jaoks valiti tootja kataloogist gaasivedrud kõige madalama survega mis võrdus 50 N (Sele 7). Kahjuks, uks saavutas avamisel gaasivedruga liigse kiirenduse mis võib ohustada inimest ja/või laborivarustust. Sel põhjusel otsustati sellest funktsioonist loobuda.



Sele 7. Gaasivedru.

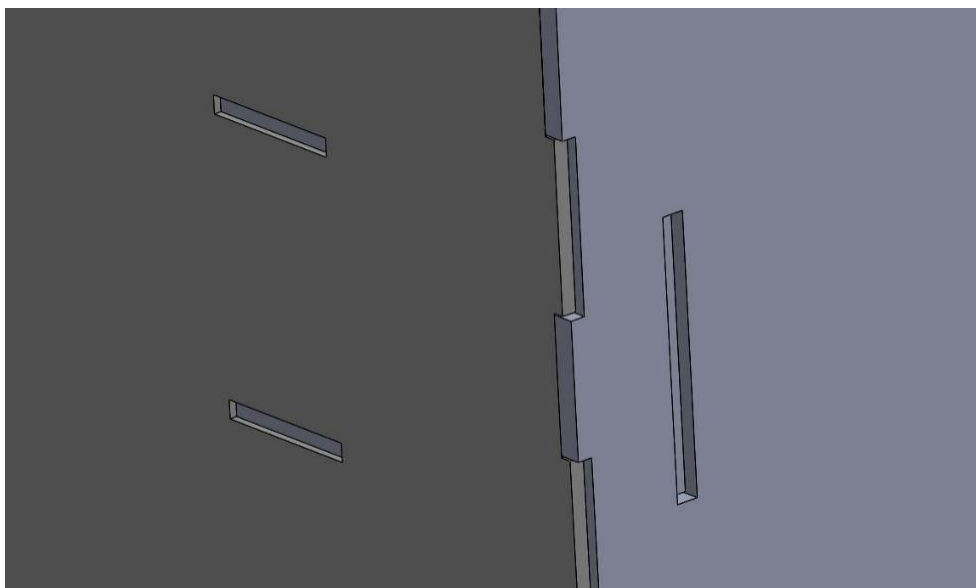
Kolmas probleem tuli sellest, et ustel puudus jäikus ning katseliselt oli tugevalt tunda kuidas vibratsioonide tõttu hakkavad ukseid värisema. Vasaku ukse prototüübi valmistamise ajal keevitati eksperimendina ukse seestpoolt kaks tugevdusribi, mis lahendasid selle probleemi (Sele 8).



Sele 8. Tugevdatud uks.

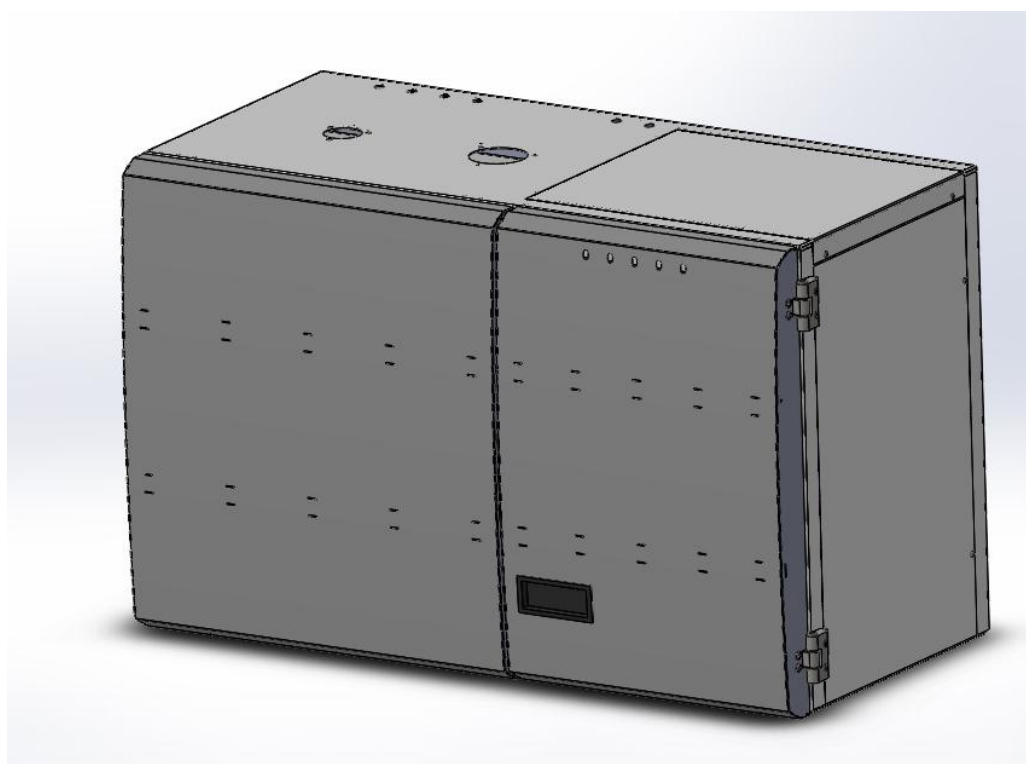
3.1.4. Disaini arendus

Ukse detailid said projekteeritud punn-tapp ühendusega koostamise lihtsustamiseks (Sele 9). Sama ühendus dikteerib katkendliku keevitusõmbluse teostamist. TIG keevitus vahetati MIG keevituse vastu soojussisendi ja ajakulu vähendamiseks. Uste jäikuse suurendamiseks lisati igale uksele seestpoolt kaks 1 mm DC 01 terasest tugevdusribi, mida keevitatakse sisse sama punn-tapp meetodiga.



Sele 9. Detailide punn-tapp ühendus.

Enne keevitust pannakse kõik detailid kokku nagu mänguasi „konstruktor“ ning eelkevitatakse. Peale keevitamist tuleb uste küljed ümardada. Keevitamata kohad ja süvendid pahteldatakse ning valmis konstruktsioon värvitakse pulbervärviga (Sele 10).



Sele 10. Uste tööversioon.

3.2. Hingede projekteerimine

3.2.1. Turuanalüüs

Projektis kasutatud hinged tuli projekteerida tänu sellele, et turul olemasolevad lahendused kas ei vastanud tehnilisele ülesandele või ei omanud laboriseadme disaini kuju. Allpool on nendest toodud mõned näited.

Kõige levinud ja mitmekesisem variant on standartne lehehing, mis ei võimalda uksi korpusest kiiresti eemaldada (Sele 11). See valik oleks olnud kõige lihtsam, kuid sellega puudus võimalus uste mahavõtmiseks mis ei vastanud tehnilisele ülesandele.



Sele 11. Lehehing. [2]

Teine variant on mahatõstmishinged (ingl. k. lift off hinges)(Sele 12). See variant võimaldaks ukseid seadmest maha võtta, kuid tekitab oht, et nad tulevad transporteerimise ajal lahti ning seade võib kogemata kukkuda. Sellel põhjusel antud variant ei sobi.



Sele 12. "Lift off" hinged. [3]

Nõuetele kõige lähim variant on eemaldatav varjatud hing (Sele 13). See variant vastas peaaegu kõigile projekti nõuetele, kahjuks olemasolev korpus ei võimaldanud neid paigaldada uste sisse, millest räägitakse järgmises peatükis.

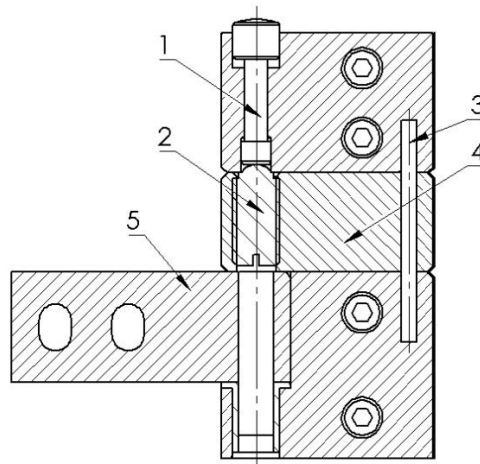


Sele 13. Eemaldatav hing. [4]

3.2.2. Lahenduse väljatöötlemine

Seade eelmine korpus on valmistatud 1 mm paksusest lehtterasest DC 01, millele on seestpoolt keevitatud korkõmblusega kaks S235 6x25 mm tugevdusribi. Neid tuli kasutada hinge paigaldamiseks. Uues korpusel hinged kruvitakse paneelide kaudu raami külge. CAD tarkvaras simuleeriti uste pööramistelje asukohta mille tulemusena sai teada, et uste avamiseks tuleb pööramistelg paigaldada korpuse küljele, sest vastasel juhul hakkab ukse külge korpusega kokku minema. Tulemusena otsustati hinge mitte peita, vaid viia need kastist välja.

Esimene ukse prototüüp kasutas hinge süsteemi mis koosnes viiest põhikomponendist (Sele 14). Vajutades nupule (1) ja seda all hoides, lükatakse plunžeri (2) pall pesast välja mis võimaldab hinge keskmist osa (4) pöörata tihvti (3) peal. Peale seda oli võimalik uksetiiva (5) hingest üles tõsta.



Sele 14. Esmane hinge süsteem läbilõikes.

Kuigi see prototüüp täitis katsetamise ajal oma tööülesandeid, näiteks eemaldas ukse kiiresti hingedelt ja võimaldas seadet üles tõsta, tekkisid probleemid. Prototüübi koostamise ajal selgus, et hingede osad mis kinnituvad korpuse tugevdusribadele suruvad korpuse ja hinge vahel oleva lehtmaterjali kokku, kuid aga sama lehtmaterjal surub hinge keskmist osa (Sele 14. 3.) õigest asendist välja. See oli eriti tuntav kohtadel, mis olid paneeli ja tugevdusriba keevitussõlmest kaugel.

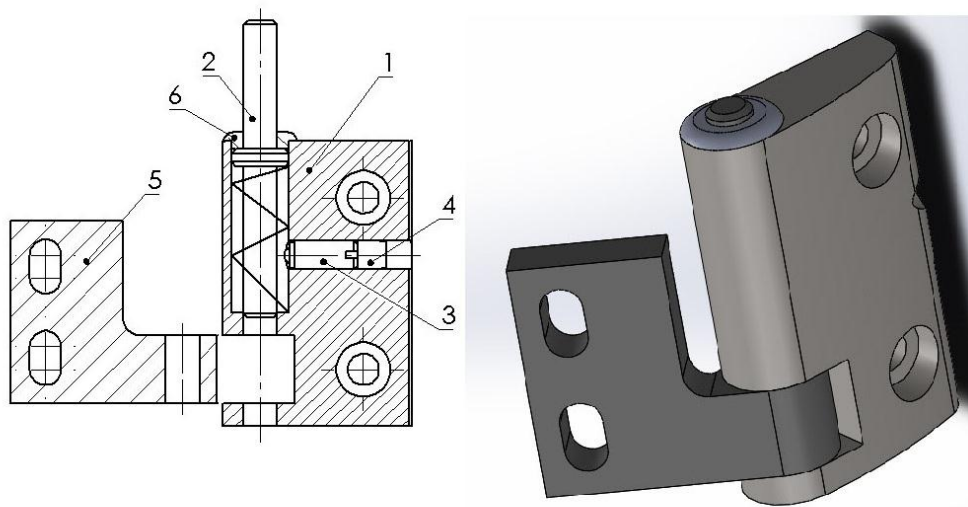
Teine probleem tuli ukse asendi reguleerimisega. Kuna hinge tihvt on fikseeritud ühest otsast, ukse asendi reguleerimise ajal tuli samaaegselt hoida nii hinge kui ka ukse kronsteini selleks, et säilitada tihvti ja laagripesa samatelgsust (Sele 15).



Sele 15. Ukse asendi reguleerimine.

Eespool nimetatud probleemide lahendamiseks oli hinge disain ümbertöötatud (Sele 16). Nii sündis teine variant mis koosnes: üheosalisest korpusest, tihvtist, vedrust, mis aitab vabastada uksetiiva ning hoiab tihvti ülemises asendis, plunžerist, mis hoiab tihvti alumises asendis ja seadekruvist plunžeri pigistamiseks. Vedru ja tihvti hoiab korpusesse sisse pressitud kate.

Tihvti vabastamiseks vajutatakse tihvti alumist otsa, et tihvti äär liiguks plunžeri pallist mööda. Järgmisena surub vedru tihvti ülemisse asendisse ning hoiab seda. Uksetiib saab vabaks. Ukse paigaldamiseks tuleb ühendada uksetiiva ja tihvti avad ning vajutades tihvti peale fikseerida see plunseriga.



Sele 16. Hinge teine versioon.

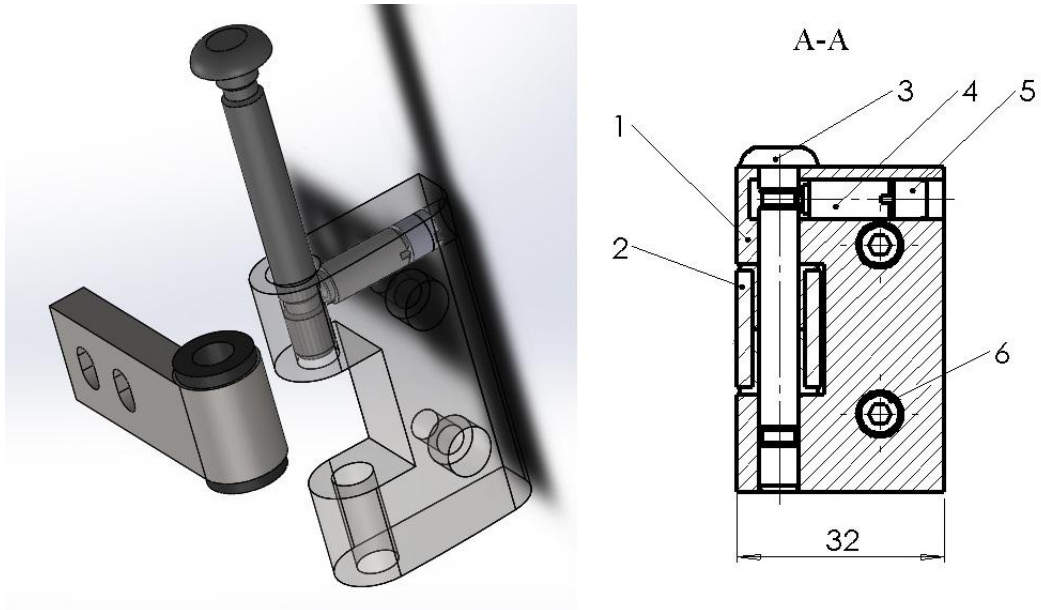
Sellest versioonist sai tehtud mehaaniline prototüüp, mis samuti täitis oma tööülesannet, kuid see sisaldas viga iseendas (Sele 17). Mehhanism on suunatud avama uksi, mis võib viia ebameeldivate tagajärgedeni juhul, kui näiteks mingil põhjustel plunžer ei suuda tihvti kinni pidada. Samuti leiti katsete käigus, et kui mehhanism töötas, hakkas see sisse pressitud katet välja lööma.



Sele 17. Teise variandi prototüüp.

Seejärel töötati välja kolmas variant, võttes arvesse eelmiste versioonide vigu (Sele 18). Uus variant koosneb: üheosalisest korpusest (1) mille sisse paigaldatakse mehhanism, tihvtist (3) mis kinnitub kahes kohas samatelgsuse saavutamiseks, plunžerist (4) ja seadekruvist (5), ning uksetiivast (2) kuhu on sisse pressitud kaks laagripuksi.

Tihvtis on tehtud kaks soont plunžeri asukoha fikseerimiseks. Lihtsa tööriista abil vajutatakse tihvti alumisele otsale, lükatakse tihvt mööda plunžerit, vabastades ukse kronsteini. Selle jaoks on tihvtis treimisest jäänud tsentreerimisava. Plunžeri pall fikseerib tihvti alumisse soonde ja takistab tihvti kukkumist. Ukse paigaldamine toimub vastupidises järjekorras - laagripuksi ja tihvti avad pannakse ühele teljele ning vajutades sõrmega tihvti peale lukkustatakse koostu.



Sele 18. Hinge viimane variant.

Hinge korpus ja kronsteini osad on valmistatud alumiiniumi sulamist EN AW 5754/H111, millel on suur korrosioonikindlus. See on vajalik, kuna mõnda seadet saab eksportida kuuma ja niiske kliimaga riikidesse kus metall puutub kokku agressiivse keskkonnaga. Samal põhjusel valmistatakse tihvt AISI 304 kõrglegeeritud terasest. Laagripuksid on ostutooted, mis tehakse nylon 6.6 plastikust.

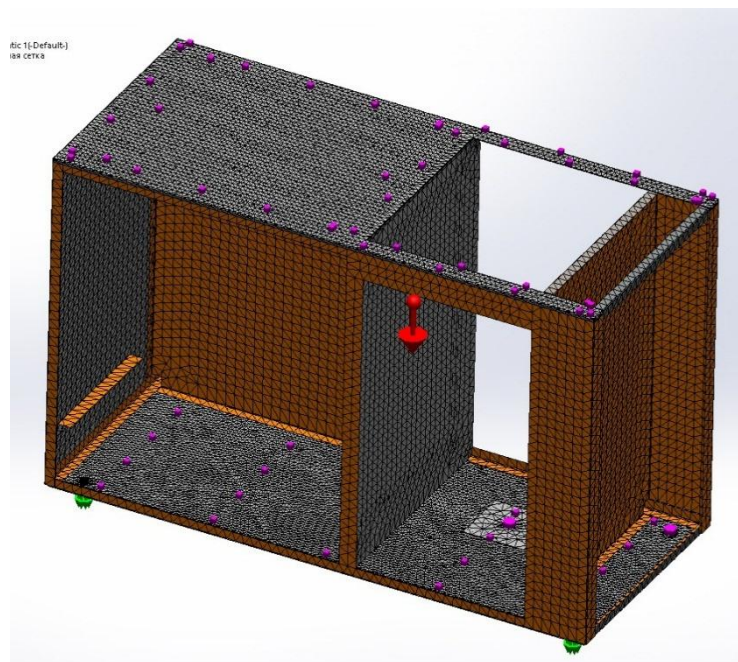
Võrreldes eelmistega, on viimase variandi eelisteks selle lihtsus ning vähendatud detailide arv ja kasutusmugavus. Samuti võimaldab lõplik variant valmistada sümmetrilised ukse küljed kuhu hinged kinnituvad, mis omakorda vähendab detailide arvu. Kõik ülalpool nimetatud eelised kallutasid selle versiooni valimist kasutamiseks seeriatootmises.

4. TUGEVUSARVUTUSED

4.1. Korpuse analüüs

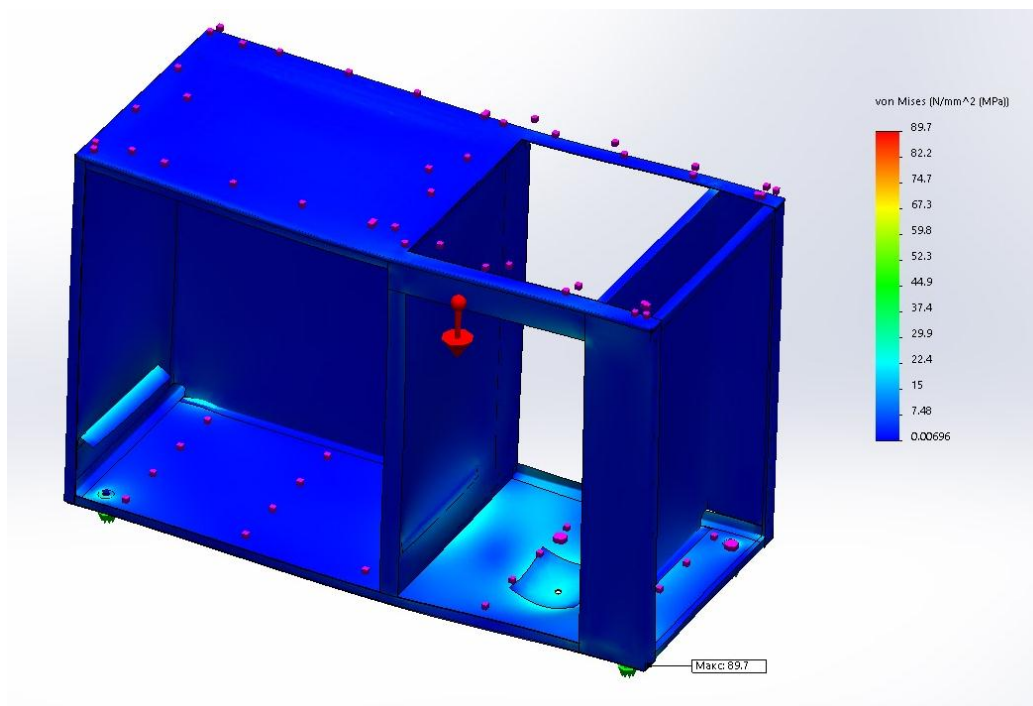
Selleks, et kontrollida projekteeritud konstruktsiooni vastupidavust staatilisele koormusele oli läbi viidud konstruktsiooni tugevusanalüüs. Korpuse kujutab ennast õhukeseseinalist keset, mida saab arvutada Solidworks Simulation FEM-keskkonnas. Selleks tuli kõik osad joonistada Solidworks lehtmetaili keskkonnas (ingl. k. sheet metal), mis automaatselt muutuvad analüüsis keseks (ingl. k. shell). See on vajalik, kuna lehtmetailist tehtud kehade suur pikkuse ja paksuse suhe (ingl. k. length to width ratio) teeb analüüsi keerulisemaks ja viib arvutusvigadele juhul, kui analüüsis kasutatakse jäiki kehi (ingl. k. solid bodies) [5].

Saadud kehast tehti arvutis võrgustik, peale seda oli korpuse komponentide asukoha juurde rakendatud nendele vastav raskus (Sele 19). Selleks kasutati tarkvara tööriista - jaotatud massi (ingl. k. mass distribution).



Sele 19. Korpuse võrgustik.

Tarkvaraga leiti, et maksimaalne pinge konstruktsioonis võrdub 89.7 N/mm^2 (Sele 20). Konstruktsiooni lubatud varutegur on 2.2.



Sele 20. Korpuse maksimaalne pinge.

Kõige madalam voolavuspiir antud konstruktsioonis on Domex 240 YP terasel – 240 N/mm^2 .

Ohutusteguri leidmiseks kasutame valemit (1) [6, p. 11]:

$$S = \frac{\sigma_{piir}}{[\sigma]}, \quad (1)$$

kus S – varutegur;

σ_{piir} – materjali voolavuspiir, N/mm^2 ;

$[\sigma]$ – maksimaalne pinge, N/mm^2 .

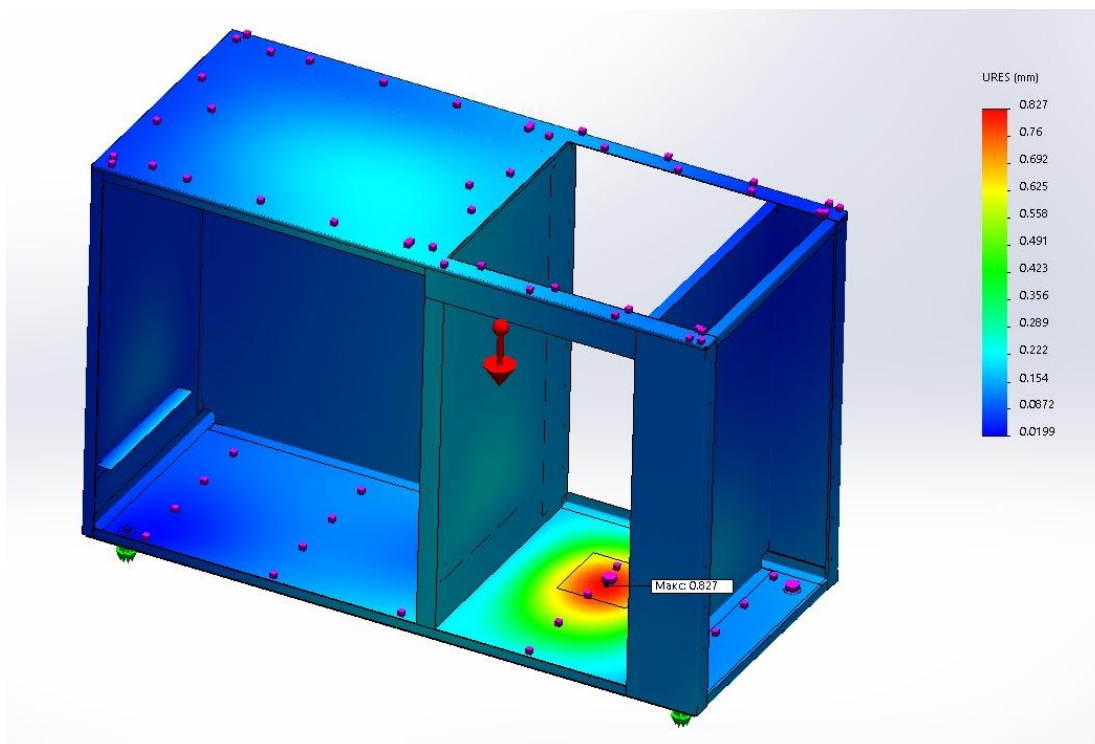
Vastavalt valemile (1) saame konstruktsiooni varuteguri:

$$S = \frac{240 \text{ N/mm}^2}{89.7 \text{ N/mm}^2},$$

$$S = 2,7$$

Saadud varutegur on suurem, kui lubatud varutegur mis kinnitab, et konstruktsioon peab vastu temale ettenähtud koormusele.

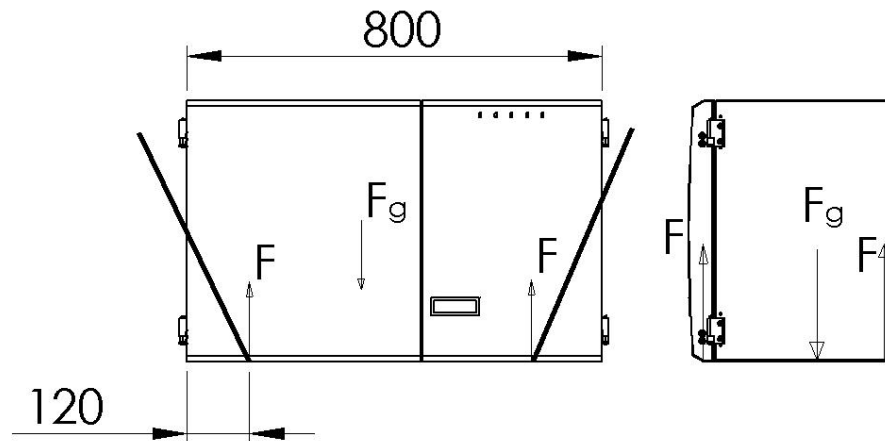
FEM-analüüsi tulemusena saadakse maksimaalne läbipaine 0.83 mm mis asub korpuse keskmises osas toiteploki all ning ei ole nähtav (Sele 21). Korpuse välimises osas ei ületa läbipaine 0.3 mm, mis pole tuvastatav mõõteseadet kasutamata. Kokkuvõtteks võib öelda, et korpus on analüüsitud positiivsete tulemustega mis võimaldab selle kasutamist tööversioonina.



Sele 21. Korpuse läbipaine.

4.2. Hingede analüüs

Ettevõtte poolt formuleeritud tehniline ülesanne nõudis teha uste koormuse vastupidavuse analüüsi. Analüüsi jaoks oli vaja teada millised jõud hakkavad hingi koormama. Ukse enda mass on võrreldes seadme massiga tühine ning võime seda koormust mitte arvestada. Kõige raskem olukord mis koormab hingi on juhul, kui seadet tuleb liigutada (nt. paigaldamise ajal põrandalt lauale). Selleks võetakse seade kahekesi mõlemast küljest ja üks käsi toetub korpusele ning teine uksele (Sele 22). Katseliselt oli leitud, et kõige kauem, kuid siiski mugavam käe ja hinge vahe on umbes 120 mm.



Sele 22. Seadme tõstmine.

Seadme mass võrdub 65 kg. Sellest tuleneva raskusjõu leidmiseks kasutame Newtoni teist seadust (2) [7, p. 104]:

$$Fg = m * g, \quad (2)$$

kus

Fg – raskusjõud, N;

m – mass, kg;

g – raskuskiirendus, m/s^2 .

$$Fg = 65 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2} \rightarrow Fg \approx 640 \text{ N}$$

Ülesande lihtsustamiseks eeldame, et seadme mass jaguneb ühtlaselt nelja käe peale.

Seadme tõstmise ajal tuleb raskusjõu ületamiseks igast käest rakendada (3):

$$F = \frac{Fg}{4}, \quad (3)$$

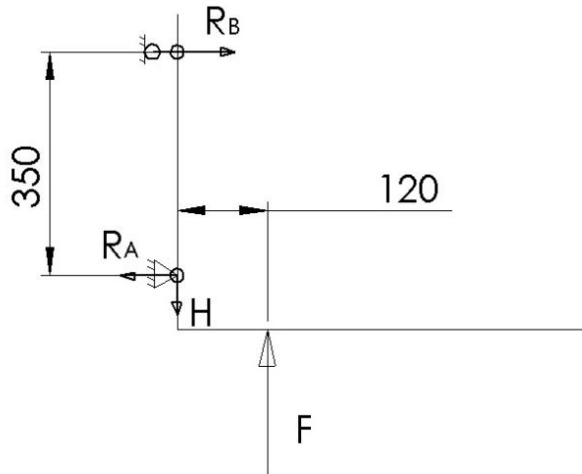
$$F = \frac{640 \text{ N}}{4} = 160 \text{ N}$$

kus

Fg – raskusjõud;

F – ühest käest tulenev jõud.

Eeldame, et uks on absoluutselt jäik keha. Kuna hingetiiva ja hinge korpuse vahel on alati olemas lõtk, ning hingede vahel on see erinev, siis vertikaalne jõud mõjub ainult ühele hingele. Seega võib eeldada, et üks hingedest on liikumatu liigendtugi ja teine liikuv liigendtugi (Sele 23) mille vahe on 350 mm.



Sele 23. Hingede koormusskeem.

Koormuste leidmiseks tuleb projekteerida kõik jõud vastavatele telgedele (4) [7, p. 33]:

$$R_Y = \sum_{i=1}^n F_{iY}, R_X = \sum_{i=1}^n F_{iX}, \quad (4)$$

kus R_Y – resultandi projektsioon Y teljel;

F_{iY} – i-nda komponendi projektsioonid Y teljel;

R_X – resultandi projektsioon X teljel;

F_{iX} – i-nda komponendi projektsioonid X teljel;

n – komponentide arv jõusüsteemis.

Rakendades valemi (4) meie süsteemis, saame valem (5):

$$\Sigma F_y = 0, \quad (5)$$

$$-F + H = 0,$$

$$H = F,$$

$$H = 160N$$

kus F – ühest käest tulenev jõud;

H – hinge reaktsioon jõud.

X teljel asetsevate jõudude leidmiseks kasutame tasapinnalise jõusüsteemi tasakaalutingimuste võrrandipaari, mis on väljendatud momentides (6) [7, p. 39]:

$$\Sigma M_O = 0 \text{ ja } \Sigma M_{O'} = 0, \quad (6)$$

Kasutades antud valemit (6) meie süsteemis saame järgmise valemi (7):

$$\Sigma M_A = 0, \quad (7)$$

$$R_B * 0.35m - F * 0.12m = 0,$$

$$R_B = \frac{160N * 0.12m}{0.35m},$$

$$R_B = 55N$$

Lähtuvalt tasakaalutingimustest leiame momendid teise punkti suhtes (8):

$$\Sigma M_B = 0, \quad (8)$$

$$R_A * 0.35m - F * 0.12m = 0,$$

$$R_A = \frac{160N * 0.12m}{0.35m},$$

$$R_A = 55N$$

Kontrollime saadud tulemused projekteerides saadud jõud x teljele (9):

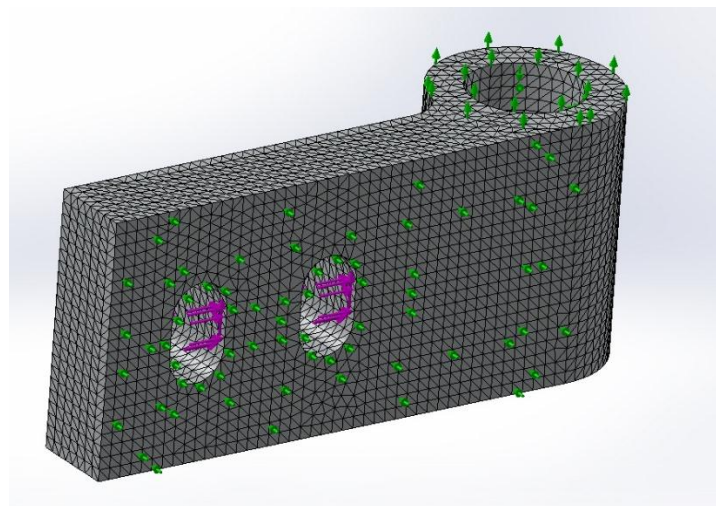
$$\Sigma F_x = 0, \quad (9)$$

$$-R_A + R_B = 0,$$

$$-55N + 55N = 0$$

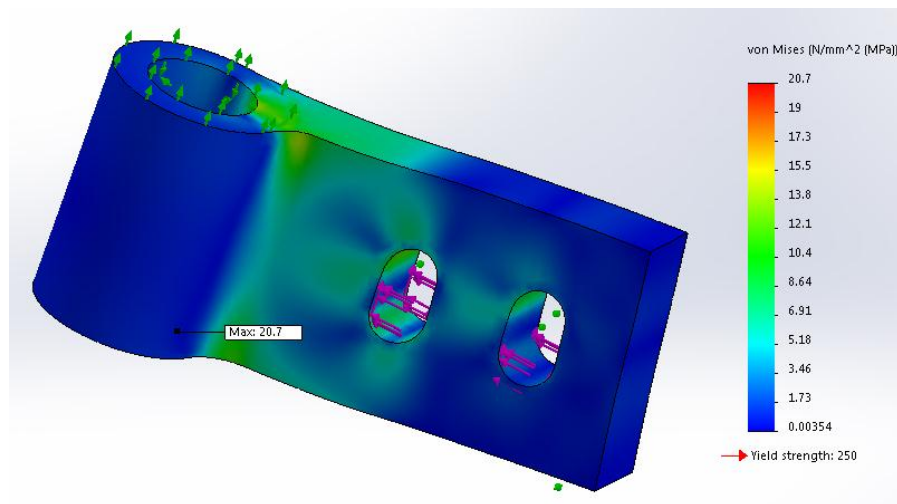
Seega leiame, et ühele hingele mõjub 160 N y-telje suunalist koormust ja 55 N x-telje suunalist koormust.

Saadud koormused rakendatakse Solidworks simulation FEM-keskkonnas. Kõige koormatum hinge osa on uksetiib mis kinnitub uksele. Koormus detailile edastatakse kinnituspoltide kaudu (Sele 24).



Sele 24. Uksetiiva FEM analüüs.

Hinged valmistatakse alumiiniumi sulamist EN AW 5754/H111 mille voolavuspiir on 80 N/mm^2 . Analüüsi käigus oli maksimaalne pinge 20.7 N/mm^2 , mis on materjali voolavuspiirist palju madalam (Sele 25).



Sele 25. Uksetiiva maksimaalne pinge.

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärk oli projekteerida lämmastiku analüsaatori seadme jaoks uus kast toote kvaliteedi ja kasutusmugavuse parendamiseks. Seadme kast koosneb korpusest, kahest uksest ja neid ühendavatest hingetest. Vastavalt eesmärgile olid püstitatud järgmised ülesanded: korpuse jäikuse suurendamine, korpuse järeltöötlemise töömahu vähendamine, ukse kiire ja lihtne korpusest mahavõtmine.

Korpuse projekteerimisel oli saadud tugev konstruktsioon mis koosneb kandraamist ja selle peale keevitatud paneelidest. Raami koostamiseks oli projekteeritud lihtne keevitusrakis kokkupaneva konstruktsiooni täpsuse tagamiseks.

Uste projekteerimise käigus oli valmistatud prototüüp, mille valmistamise ajal saadud kogemuste põhjal tehti parandused konstruktsioonis ja tootmistehnoloogias. Uuendatud konstruktsioon kasutab punn-tapp ühendust koostamise lihtsustamiseks. Kõige töömahukam oli hingede mehhanismi leiutamine ukse kiireks mahavõtmiseks. Hingede projekteerimisel valmistati kahe variandi prototüübid mille alusel leiutati kõige lihtsam ja usaldusväärsem variant.

FEM analüüsi tulemusena oli korpuses saadud maksimaalne pinge 89.7 N/mm^2 mis on üle kahe korra tema voolavuspiirist väiksem. Maksimaalne läbipaine korpuses oli saadud 0.83 mm , mis asus korpuse keskmises osas ning ei olnud väljaspoolt nähtav. Maksimaalne pinge hingedes võrdus 20.7 N/mm^2 , mis on tunduvalt vähem materjali voolavuspiirist.

Tulemuseks võib öelda, et lõputöö käigus projekteeritud lämmastiku analüsaatori korpus ja ukseid on tehnoloogilisem, täpsem ja kaasaegsem lahendus võrreldes olemasoleva lahendusega, ning see võimaldab nende kasutamist seeriatootmises mis tähendab seda, et lõputöö eesmärk on saavutatud. Samaaegselt on diplomant töö koostamise käigus omandanud uued teadmised ja oskused mis võivad aidata teda tulevastes projektides.

SUMMARY

The aim of this thesis was to design a new box for the nitrogen analyzer device to improve the quality and ease of use of the product. The device box consists of a hull, two doors and hinges connecting them. According to the goal, the following tasks were set: increasing the rigidity of the hull, reducing the workload of post-processing of the hull, quick and easy removal of the door from the hull.

When designing the hull, a strong construction was obtained, which consists of a carrier frame and panels welded on it. A simple welding rig was designed to assemble the frame to ensure the accuracy of the assembly.

During the design of the doors, a prototype was made, based on the experience gained during its manufacture, improvements were made in the design and production technology. The updated design uses a plug-and-pin connection to simplify assembly. The most labor-intensive was the invention of a hinge mechanism for quickly removing the door. When designing the hinges, prototypes of two models were made, on the basis of which the simplest and most reliable model was invented.

As a result of FEM analysis, the maximum stress obtained in the hull was 89.7 N/mm^2 , which is more than twice times smaller its materials yield strength. The maximum deflection in the hull was 0.83 mm, which was located in the middle part of the hull and was not visible from the outside. The maximum stress in hinges was 20.7 N/mm^2 , which is considerably less than the yield strength of the material.

As a result, the hull and doors of the nitrogen analyzer designed during this thesis are a more technological, accurate and modern solution compared to the existing solution, and it allows their use in series production, which means that the goal of the dissertation has been achieved. At the same time, the graduate has acquired new knowledge and skills during the preparation of the work, which can help him in future projects.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] Domex, SSAB, „Domex 240 YP,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ssab.com/products/brands/ssab-domex/products/ssab-domex-240yp>. [Kasutatud 15 Aprill 2021].
- [2] Essentra Components, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.essentracomponents.com.sg/metal-leaf-hinges>. [Kasutatud 09 Märts. 2021].
- [3] Essentra Components, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.essentracomponents.com.sg/standard-lift-off-hinge>. [Kasutatud 09 Märts. 2021].
- [4] Essentra Components, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.essentracomponents.com.sg/removable-concealed-hinge>. [Kasutatud 09 Märts. 2021].
- [5] GOENGINEER, 03 Detsember 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.goengineer.com/blog/using-sheet-metal-bodies-solidworks-simulation>. [Kasutatud 11 Aprill 2021].
- [6] I. Kleis ja H. Arumäe, Rakendusmehaanika, 2001: TTÜ, Tallinn.
- [7] J. Rohusaar, Tehniline Mehaanika, Tallinn: TTK UAS, 2011.

LISAD

Lisa 1. Korpuse ja uste koostejoonis

Lisa 2. Kandraami koostejoonis

Lisa 3. Raami keevitusrakis

Lisa 4. Raami nurgiku joonis

Lisa 5. Parema ukse koostejoonis

Lisa 6. Ukse külje joonis

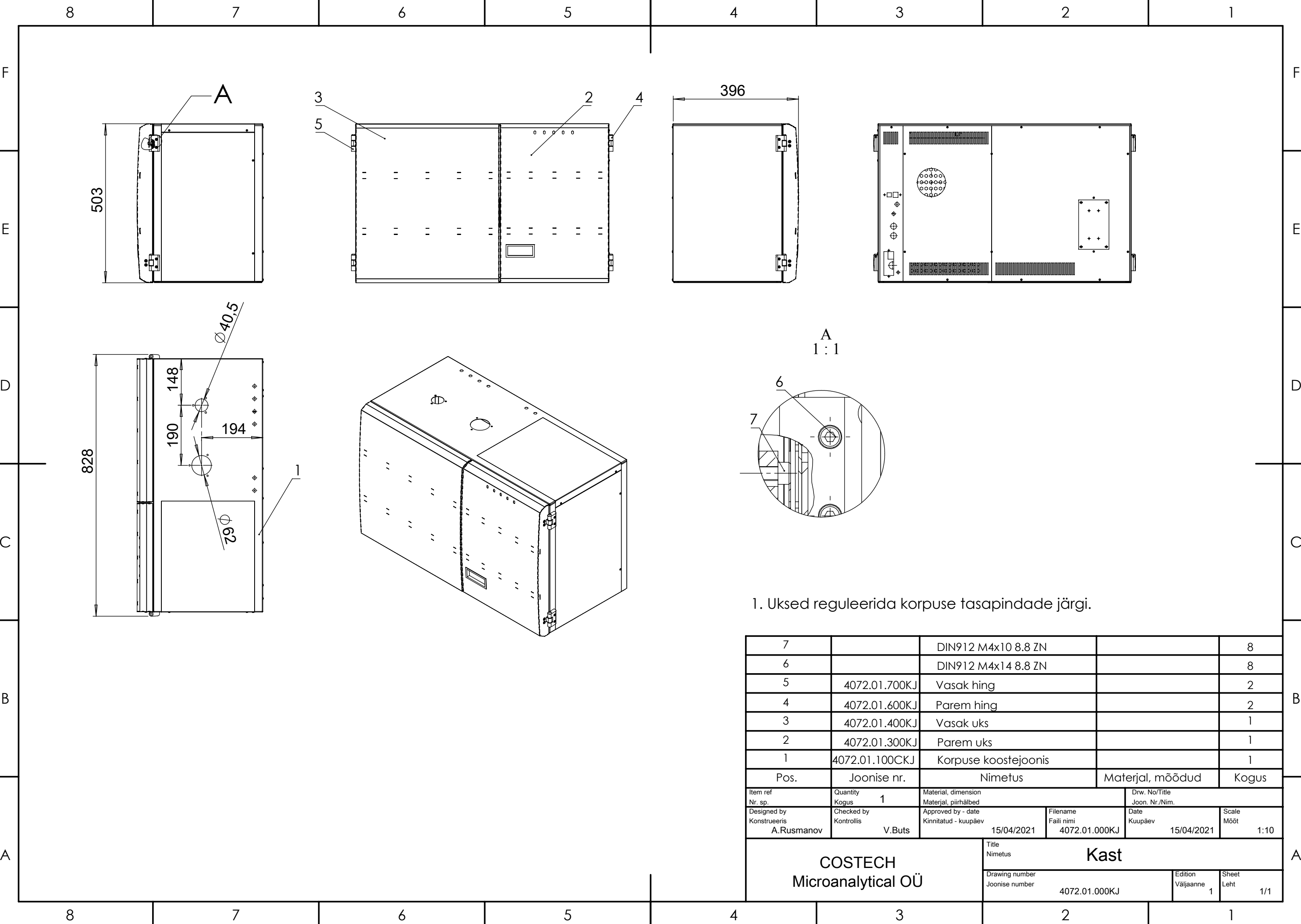
Lisa 7. Ukse tugevdusriba joonis

Lisa 8. Hinge koostejoonis

Lisa 9. Hinge korpuse joonis

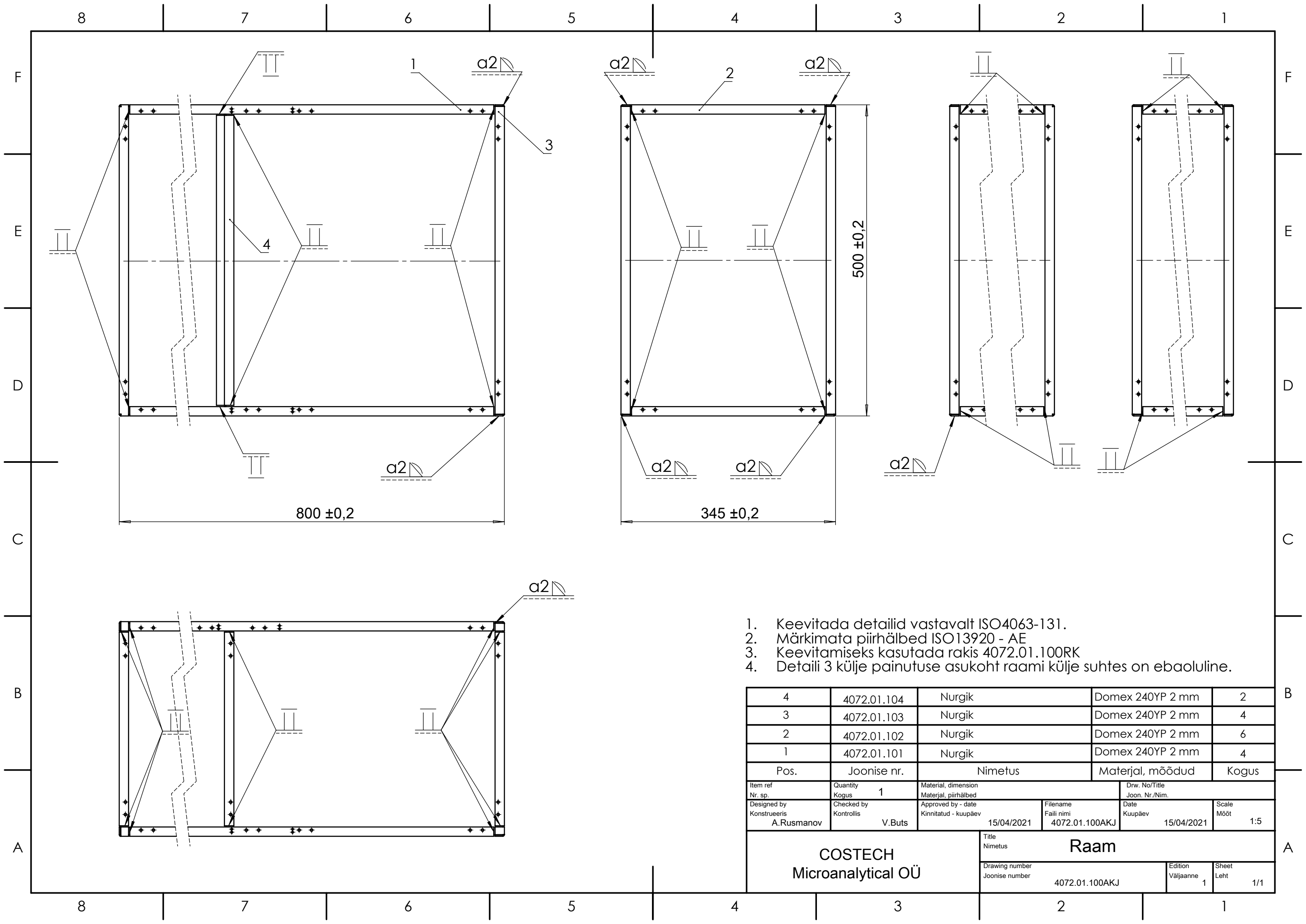
Lisa 10. Uksetiiva joonis

Lisa 11. Tihvti joonis



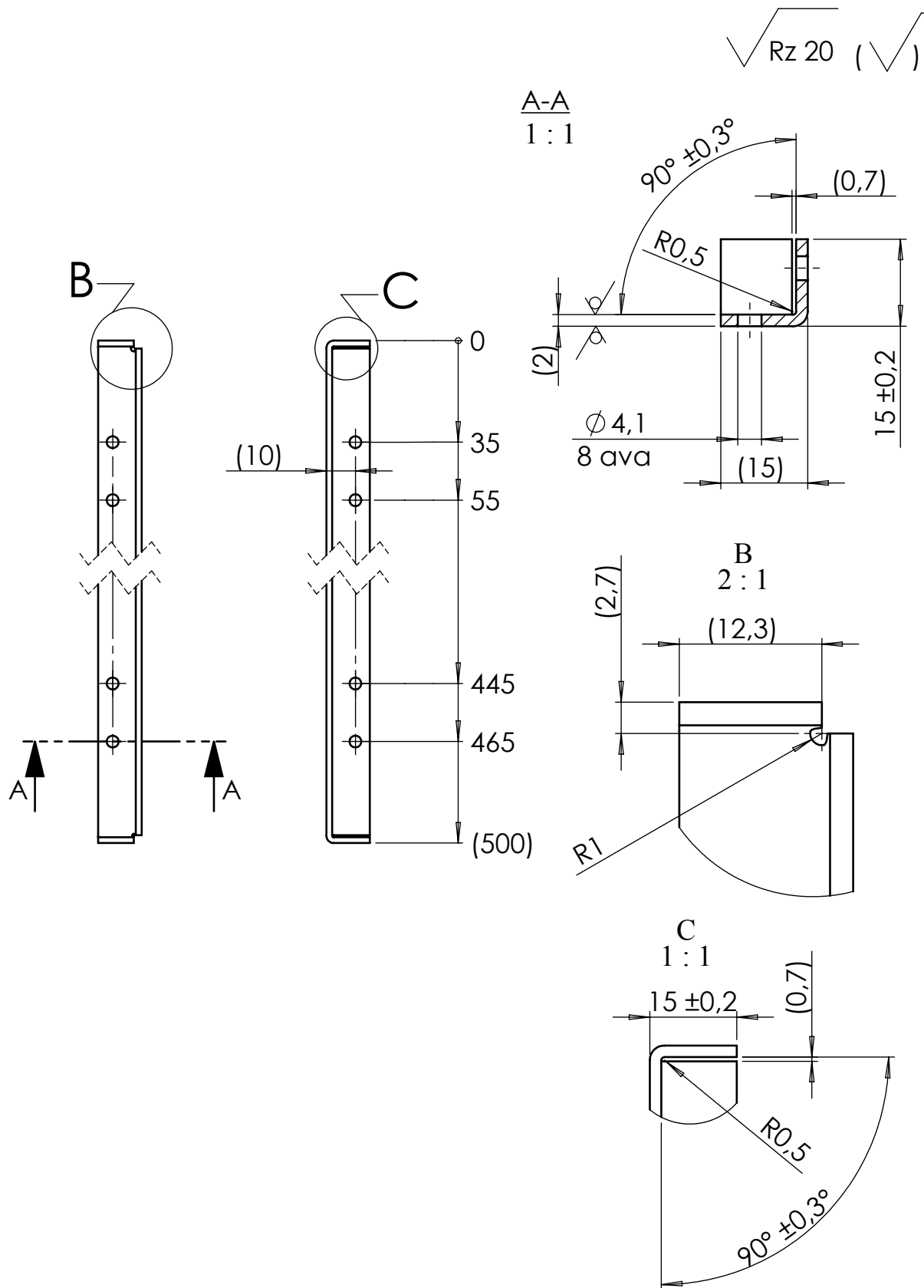
1. Uksed reguleerida korpuse tasapindade järgi.

7		DIN912 M4x10 8.8 ZN		8
6		DIN912 M4x14 8.8 ZN		8
5	4072.01.700KJ	Vasak hing		2
4	4072.01.600KJ	Parem hing		2
3	4072.01.400KJ	Vasak uks		1
2	4072.01.300KJ	Parem uks		1
1	4072.01.100CKJ	Korpuse koostejoonis		1
Pos.	Joonise nr.	Nimetus	Materjal, mõõdud	Kogus
Item ref Nr. sp.	Quantity Kogus	Material, dimension Materjal, piirhálbed		Drw. No/Title Joon. Nr./Nim.
Designed by Konstrueeris	Checked by Kontrollis	Approved by - date Kinnitatud - kuupäev	Filename Faili nimi	Date Kuupäev
A.Rusmanov	V.Buts	15/04/2021	4072.01.000KJ	15/04/2021
COSTECH Microanalytical OÜ			Title Nimetus	
			Kast	
			Drawing number Joonise number	Scale Mõõt
			4072.01.000KJ	1:10
			Edition Väljaanne	Sheet Leht
			1	1/1



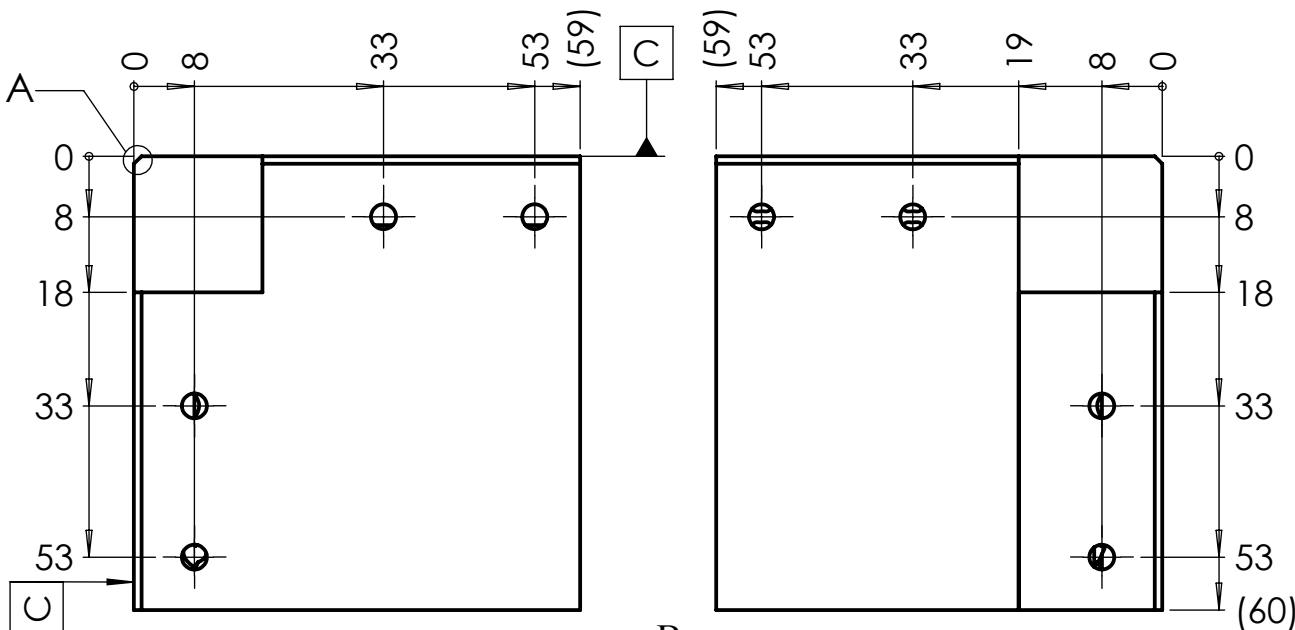
- 1. Keevitada detailid vastavalt ISO4063-131.
- 2. Märkimata piirhälbed ISO13920 - AE
- 3. Keevitamiseks kasutada rakis 4072.01.100RK
- 4. Detaili 3 külje painutuse asukoht raami külje suhtes on ebaoluline.

4	4072.01.104	Nurgik	Domex 240YP 2 mm	2
3	4072.01.103	Nurgik	Domex 240YP 2 mm	4
2	4072.01.102	Nurgik	Domex 240YP 2 mm	6
1	4072.01.101	Nurgik	Domex 240YP 2 mm	4
Pos.	Joonise nr.	Nimetus	Materjal, mõõdud	Kogus
Item ref Nr. sp.	Quantity Kogus	Material, dimension Materjal, piirhälbed		Drw. No/Title Joon. Nr./Nim.
Designed by Konstrueeris	Checked by Kontrollis	Approved by - date Kinnitatud - kuupäev	Filename Faili nimi	Date Kuupäev
A.Rusmanov	V.Buts	15/04/2021	4072.01.100AKJ	15/04/2021
COSTECH Microanalytical OÜ			Title Nimetus	
			Raam	
Drawing number Joonise number			Edition Väljaanne	Sheet Leht
4072.01.100AKJ			1	1/1



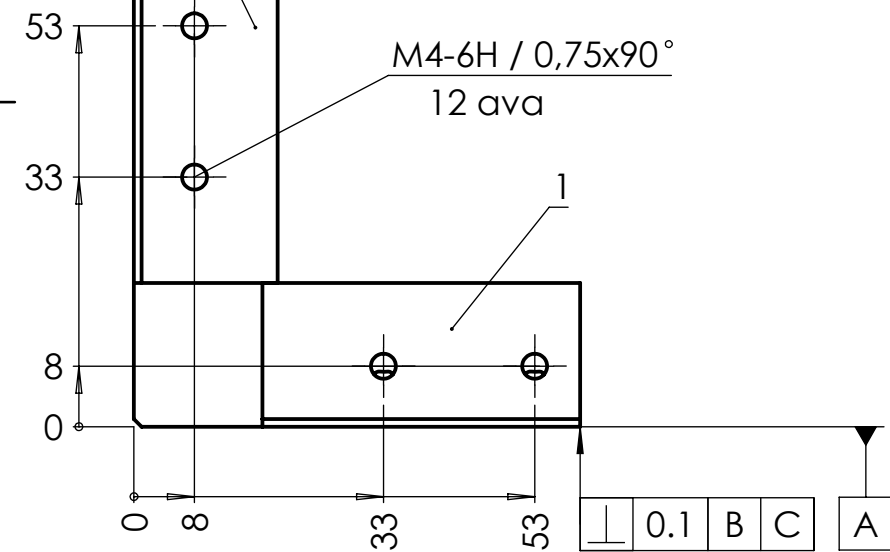
1. Märkimata piirhälbed ISO2768-mK.

Itemref Nr. sp.	1	Quantity Kogus	1	Material, dimension Materjal, piirhälbed	Domex 240YP 2 mm	Drw. No./Title Joon. Nr./Nim.	
Designed by Konstrueeris	A.Rusmanov	Checked by Kontrollis	V.Buts	Approved by - date Kinnitatud - kuupäev	15/04/2021	Date Kuupäev	15/04/2021
				Filename Faili nimi	4072.01.103	Scale Mõõt	1:2
Costech Microanalytical OÜ				Title Nimetus	Nurgik		
				Drawing number Joonise number	4072.01.103	Edition Väljaanne	1
						Sheet Leht	1/1



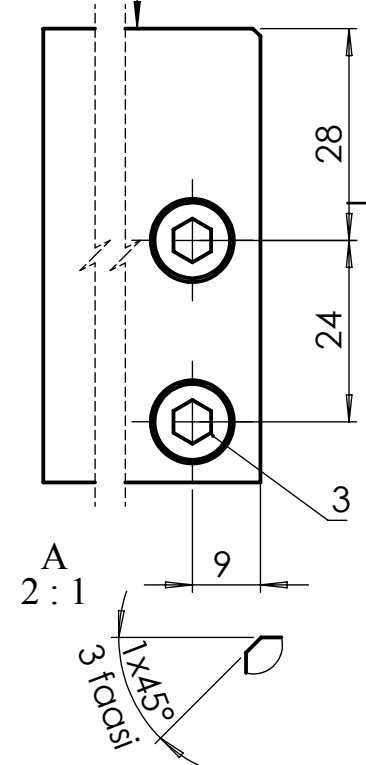
0,1 A C

B



vaade B

0,1 A B



1. Raami koostamiseks kasutada det. 4

4		DIN912 8.8 ZN M4x8		6
3		DIN912 8.8 ZN M6x40		2
2	4072.01.182	Kronstein	EN AW 6060 60x60x20 mm	1
1	4072.01.181	Korpus	EN AW 6060 60x60x20 mm	1
Pos.	Joonise nr.	Nimetus	Materjal, mõõdud	Kogus
Itemref Nr. sp.	1	Quantity Kogus	1	Material, dimension Materjal, piirhälbed
Designed by Konstrueeris	A.Rusmanov	Checked by Kontrollis	V.Buts	Approved by - date Kinnitatud - kuupäev
		15/04/2021	4072.01.180KJ	Date Kuupäev
		15/04/2021		Scale Mõõt
		1:1		
Costech Microanalytical OÜ		Title Nimetus		
		Keevitusrakis		
		Drawing number Joonise number		Edition Väljaanne
		4072.01.180KJ	1	Sheet Leht
				1/1

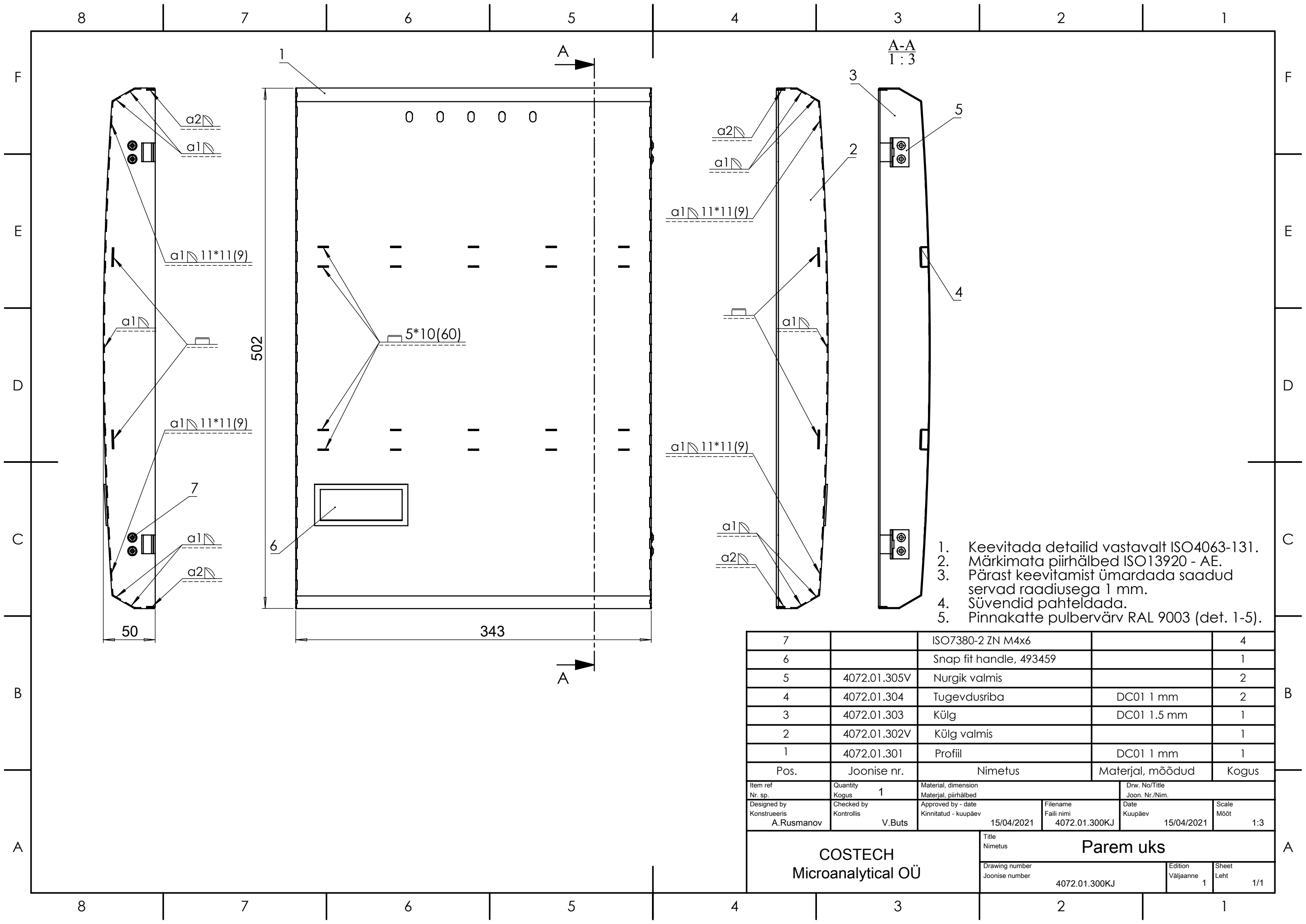
Costech
Microanalytical OÜ

Keevitusrakis

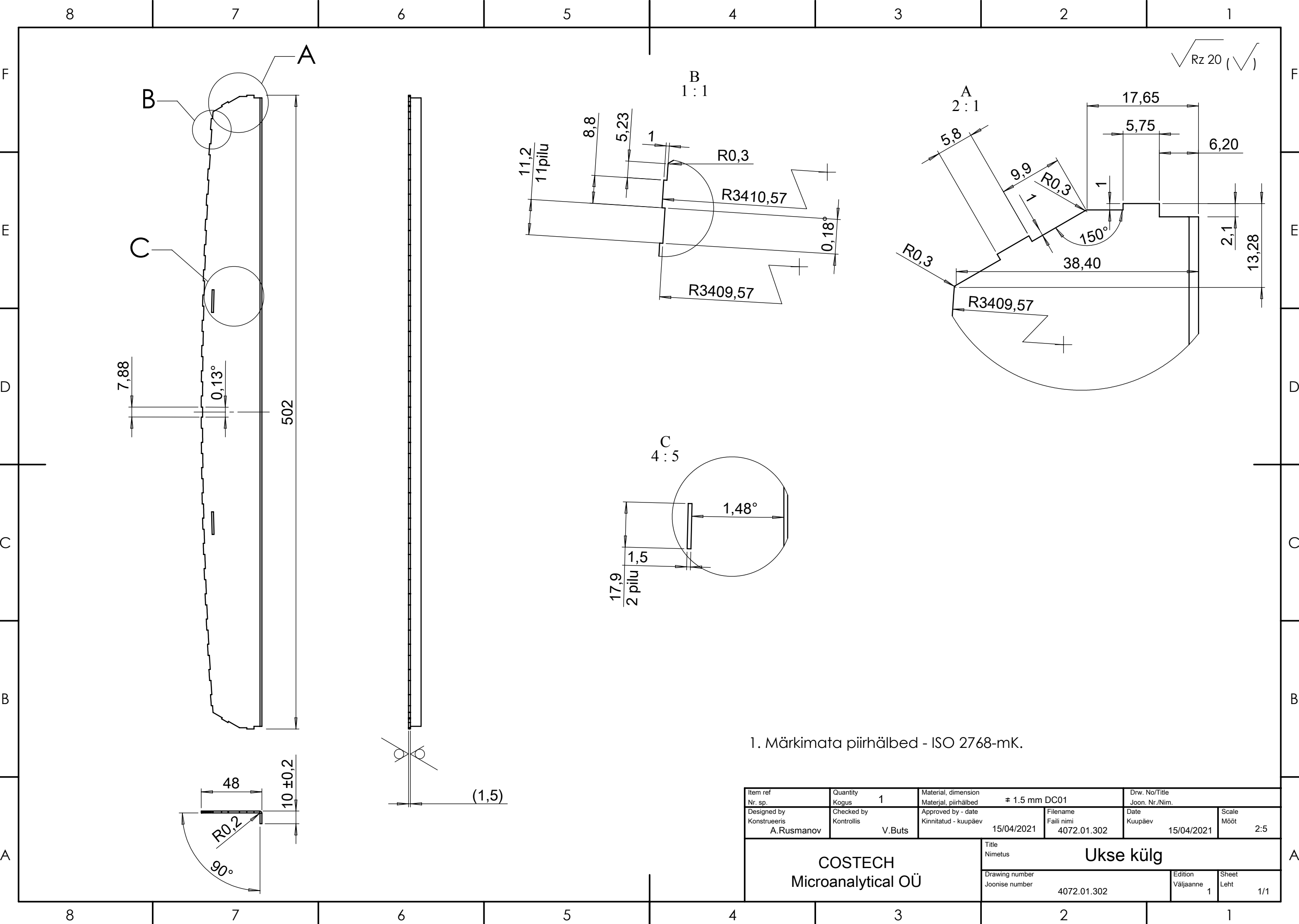
4072.01.180KJ

1

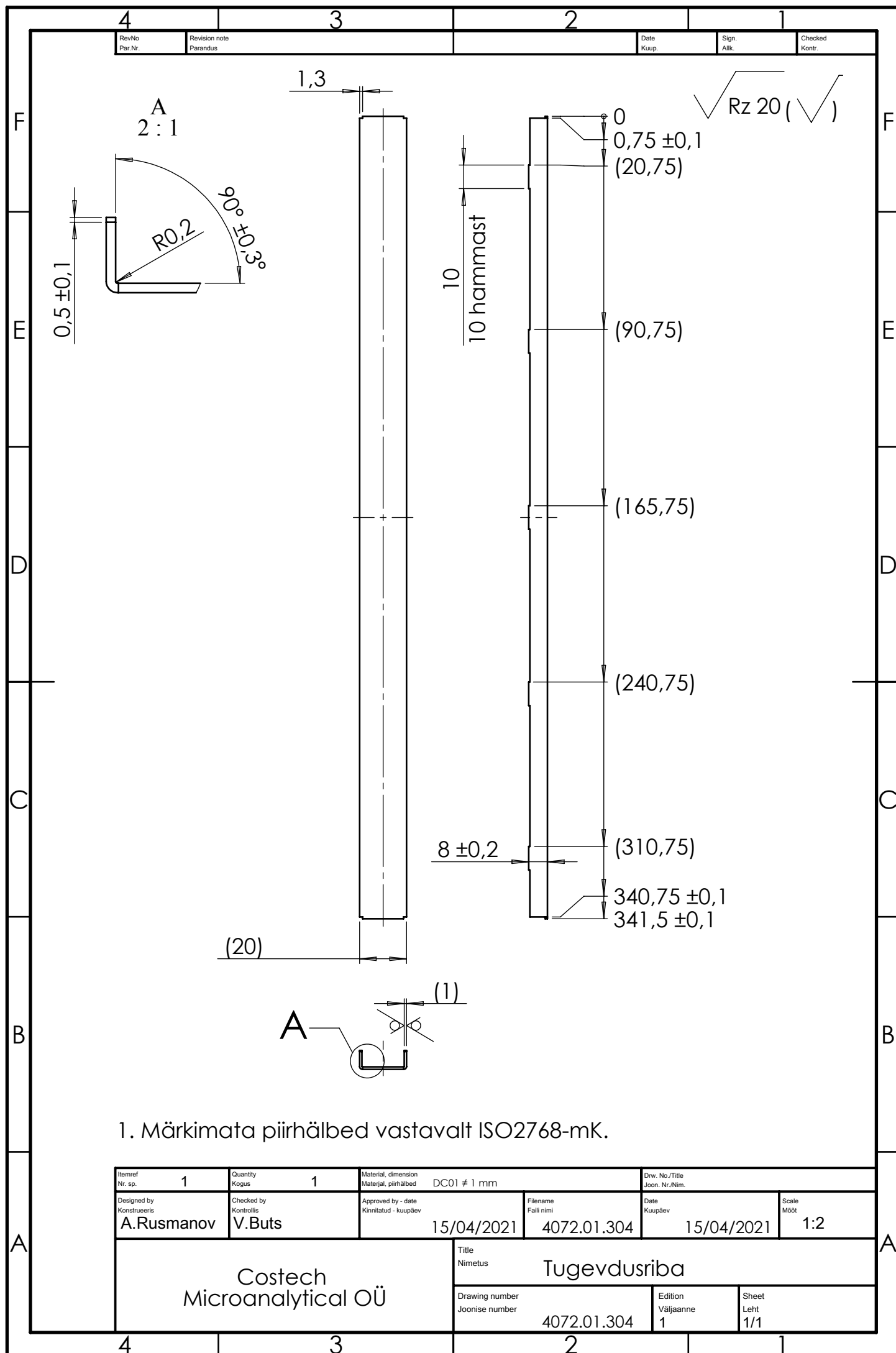
1/1



7		ISO7380-2 ZN M4x6		4
6		Snap fit handle, 493459		1
5	4072.01.305V	Nurgik valmis		2
4	4072.01.304	Tugevdusriba	DC01 1 mm	2
3	4072.01.303	Külg	DC01 1.5 mm	1
2	4072.01.302V	Külg valmis		1
1	4072.01.301	Profiil	DC01 1 mm	1
Pos.	Joonise nr.	Nimetus	Materjal, mõõdud	Kogus
Item ref Nr. sp.	Quantity Kogus	Material, dimension Materjal, piirhälbed		Drw. No/Title Joon. Nr./Nim.
Designed by Konstrueeris	Checked by Kontrollis	Approved by - date Kinnitatud - kuupäev	Filename Faili nimi	Date Kuupäev
A.Rusmanov	V.Buts	15/04/2021	4072.01.300KJ	15/04/2021
COSTECH Microanalytical OÜ			Title Nimetus	
			Drawing number Joonise number	Scale Mõõt
			4072.01.300KJ	1:3
			Edition Väljaanne	Sheet Leht
			1	1/1

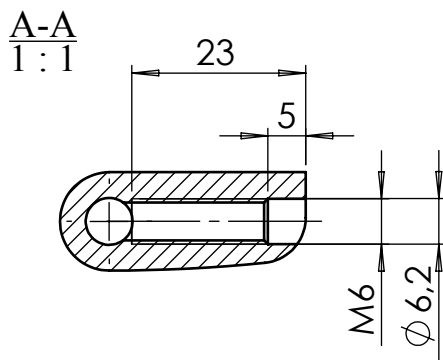
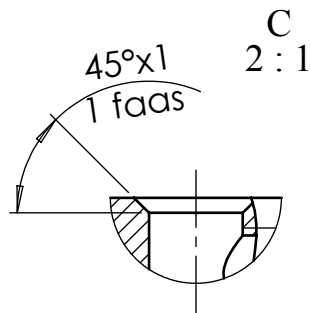
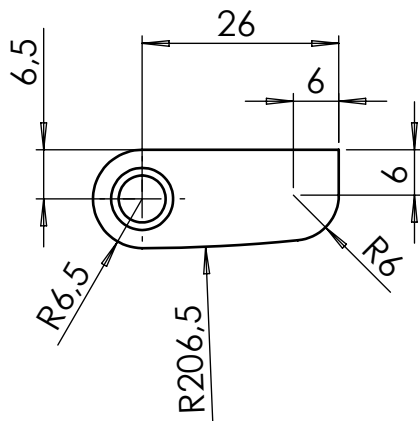
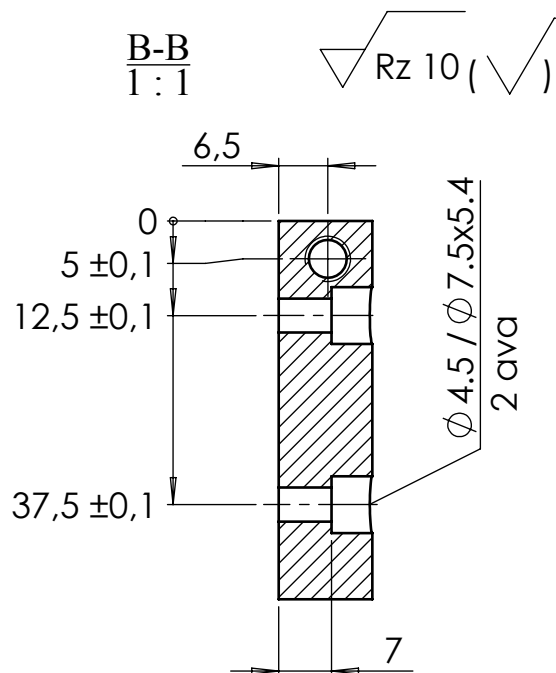
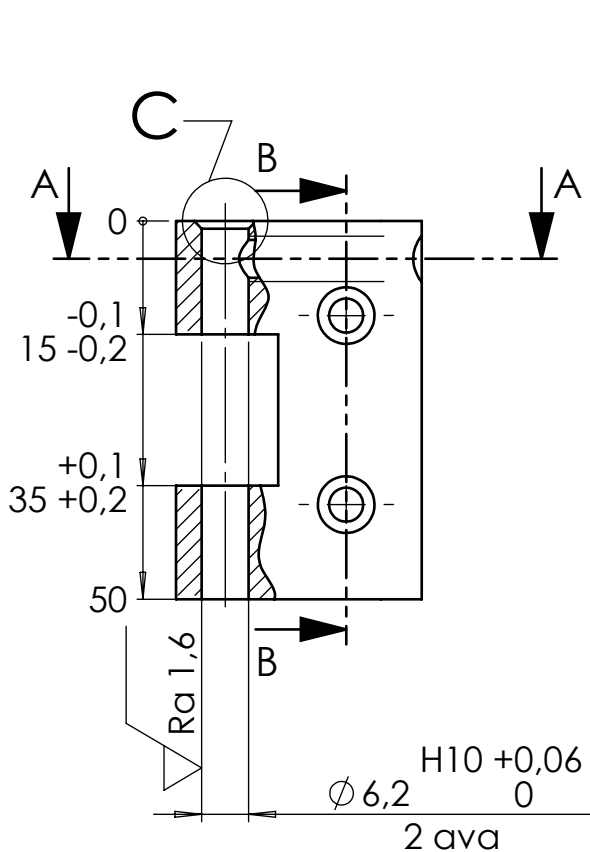


1. Märkimata piirhälbed - ISO 2768-mK.





B	
A	



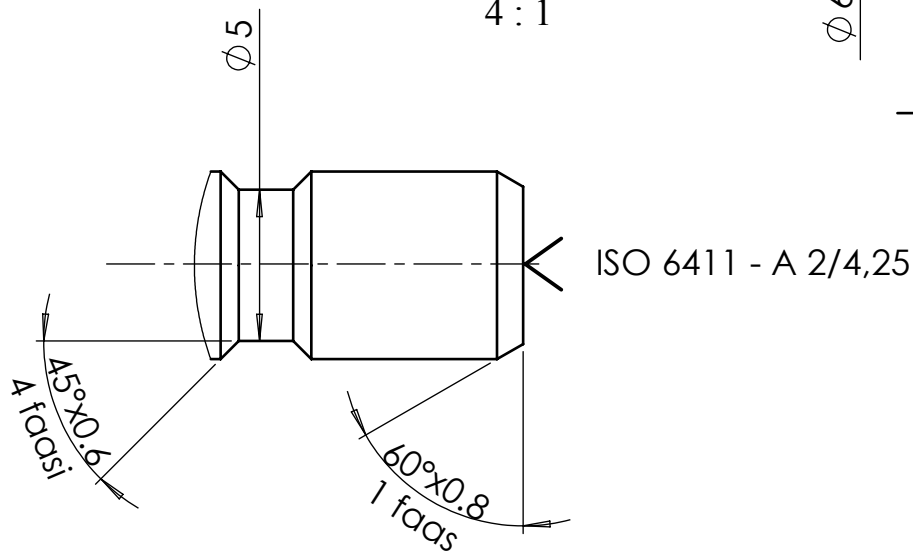
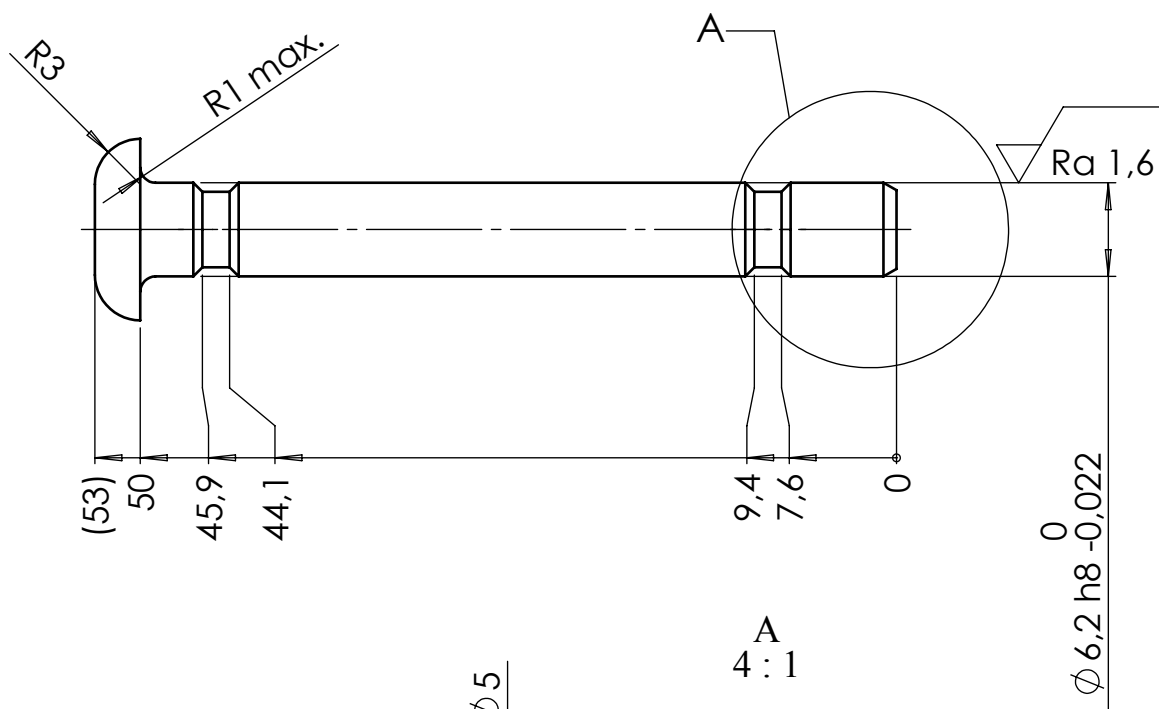
1. Märkimata piirhálbed vastavalt ISO2768-mK.

Itemref Nr. sp.	1	Quantity Kogus	1	Material, dimension Materjal, piirhálbed	EN AW 5754/H111	Drw. No./Title Joon. Nr./Nim.	
Designed by Konstrueeris	A.Rusmanov	Checked by Kontrollis	V.Buts	Approved by - date Kinnitatud - kuupäev	15/04/2021	Date Kuupäev	15/04/2021
				Filename Faili nimi	4072.01.601	Scale Mõõt	1:1
Costech Microanalytical OÜ				Title Nimetus	Korpus		
				Drawing number Joonise number	4072.01.601	Edition Väljaanne	1
						Sheet Leht	1/1

Itemref Nr. sp.	1	Quantity Kogus	1	Material, dimension Materjal, piirihääbed	EN AW 5754/H111		Drw. No./Title Joon. Nr./Nim.								
Designed by Konstrueeris	A.Rusmanov		Checked by Kontrollis	V.Buts		Approved by - date Kinnitatud - kuupäev	15/04/2021	Filename Faili nimi	4072.01.602	Date Kuupäev	15/04/2021	Scale Mõõt	2:1		
Costech Microanalytical OÜ					Title Nimetus								Uksetiib		
					Drawing number Joonise number						4072.01.602		Edition Väljaanne		1

4	3	2	1
RevNo Par.Nr.	Revision note Parandus	Date Kuup.	Sign. Allk.
			Checked Kontr.

√ Ra 2,5 (√)



1. Märkimata piirhälbed ISO2768-mK.
2. Teravad servad ümardada R 0,2

Itemref Nr. sp.	1	Quantity Kogus	1	Material, dimension Materjal, piirhälbed	AISI 304 Ø 14 mm	Drw. No./Title Joon. Nr./Nim.	
Designed by Konstrueeris	A.Rusmanov	Checked by Kontrollis	V.Buts	Approved by - date Kinnitatud - kuupäev	15/04/2021	Date Kuupäev	15/04/2021
					4072.01.603	Scale Mõõt	2:1
Costech Microanalytical OÜ				Title Nimetus	Tihvt		
				Drawing number Joonise number	4072.01.603	Edition Väljaanne	1
						Sheet Leht	1/1