



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

VORMI PROJEKTEERIMINE VAHTPOLÜSTÜREENIST PAKENDINURKADELE

THE DESIGNING OF THE MOULD FOR EXPANDABLE
POLYSTYRENE CORNER PROTECTORS

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Kristina Poolak

Üliõpilaskood: 162956

Juhendaja: Aigar Hermaste, lektor

Tallinn 2018

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.

“.....” 2018. a

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 2018. a

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”2018. a

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

ANNOTATSIOON

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 52 leheküljel, 5 peatükki, 39 joonist ja 6 tabelit. Antud lõputöö võtab kokku vormi projekteerimise etapid vahtpolüstüreenist pakendinurkadele. Selliste vormide eesmärgiks on toota nurki, mis on äärmiselt vajalikud, et mitte vigastada metalluksi transportimise käigus. Vormi projekteerimine algab ideede kogumisest ning lõpeb vormi koostamisega ja vahtpolüstüreenist proovitükkide tootmisega.

TTÜ Mehaanika ja tööstustehnika instituut

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Kristina Poolak, 162956

Õppekava, peeriala: MATM02/15 – Tootearendus ja tootmistehnika

Juhendaja(d): lektor Aigar Hermaste, 620 3269

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Vormi projekteerimine vahtpolüstüreenist pakendinurkadele

(inglise keeles) The designing of the mould for expandable polystyrene corner protectors

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Projekteerida selline vorm, mis võimaldab toota pakendinurki
2. Valida õiged materjalid ning sobiv töötlemistehnoloogia materjalidele
3. Analüüsida vormi

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Pakendinurga vormi tehnoloogia, teooria seletus	18.01.2018
2.	Vormi projekteerimine	18.02.2018
3.	Vormi koostamine	18.03.2018
4.	Hinnakalkulatsioon	18.04.2018
5.	Analüüs	18.05.2018

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: “.....”2018. a

Üliõpilane: Kristina Poolak

.....

“.....”2018. a

/allkiri/

Juhendaja: Aigar Hermaste

.....

“.....”2018. a

/allkiri

Kinnise kaitsmise ja/või avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

AUTORIDEKLARATSIOON.....	2
ANNOTATSIOON.....	3
EESSÕNA.....	7
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU.....	8
SISSEJUHATUS	9
1. VORMI TEHNOLOOGIA.....	11
1.1 EPS ehk vahtpolüstüreen.....	11
1.2 Tööprotsess	12
1.3 Vormi materjal.....	14
1.4 Protsess	15
1.5 Teisi vormidega tegutsevaid ettevõtteid.....	15
1.6 Vormi projekteerimise elütsükkel	16
1.7 Vahtpolüstüreeni eelised	17
2. VORMI PROJEKTEERIMINE	18
2.1 Projekteeritava detaili kirjeldus.....	18
2.2 Projekteeritava vormi detailid.....	19
2.2.1 Alumiinium plaadid	19
2.2.2 Vinklid.....	20
2.2.3 Düüsid.....	21
2.2.4 Düüsi ava suuruse katsetus.....	22
2.3 Ostutooted	23
2.3.1 Poldid.....	23
2.3.2 Tihvtid.....	24
2.3.3 Tihend.....	24
2.4 Vormi pooled.....	24
2.4.1 Vormi liikuv pool	25
2.4.2 Vormi liikumatu pool.....	28
2.5 Suuliste asukoha kindlaksmääramine	29
3. VORMI KOOSTAMINE.....	31
3.1 Alumiiniumplaatide ettevalmistamine.....	31
3.2 Seinte ühendamine vormi matriitsis	32

3.3	Seinade ühendamine vormi templis.....	36
3.4	Vormi parandused	37
3.5	Valmisvorm.....	38
3.6	Detail vormist	40
4.	ANALÜÜSID	42
4.1	Võrgu loomine	42
4.2	Analüüsi ehitamine.....	46
4.3	Analüüsi tulemused	47
5.	HINNAKALKULATSIOON	49
	KOKKUVÕTE	51
	SUMMARY.....	52
	Viitete loetelu.....	53
	LISA 1. Alumiinium plaatide kogus.....	55

EESSÕNA

Käesolev magistritöö on valminud koostöös Teamwork Engineering OÜ ja Tallinna Tehnikaülikooli inseneriteaduskonnaga. Antud töö raames tuli lahendada mitmeid inseneritehnilisi ülesandeid ning suhelda erinevate ettevõtete üksuste inseneridega. Lõputöö teema pakkus välja Teamwork Engineering OÜ projektijuht. Andmete ja konsultatsiooniga abistas Teamwork Engineering OÜ's tegutsev projektijuht.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

EPS- *Expanded polystyrene*- vahtpolüstüreen

AW5083- alumiinium tunnusnumbriga 5083

3D- kolmemõõtmeline

CAD- *Computer Aided Design*

CNC- *Computer numerical control*- arvutiprogrammjuhtimine

BOM- *Bill of materials*- materjalide loend

CFD- *Computational Fluid Dynamics*

SISSEJUHATUS

Magistri lõputöö on valminud koostöös Teamwork Engineering OÜ-ga. Teamwork Engineering tegutseb alates 2007. aastast. Ettevõtte pakub tööstusettevõtetele insenerilahendusi ja masinaehituslikku projekteerimist. Ettevõtte omab pikaagest kogemust alates projekteerimisest kuni tootmisliinide ja tehaste projekteerimiseni. Ettevõtte eesmärgiks ei ole vaid masinate projekteerimine, vaid vajadusel teostab ka testimiseks prototüüpe. Enne prototüüpide valmistamist teostatakse vastavad tugevusanalüüsid ning seeläbi nähakse ette võimalikke ettetulevaid probleeme. [1]

Ettevõtte kasutab oma igapäevases töös Solidworks ning Creo Parametric joonestamisprogrammi, samuti on kasutusel Vertex CAD tarkvara, millega projekteeritakse torustikke ja gaasitanklaid. Koostöös erinevate osapooltega projekteeritakse terviklahendusi koos hoonete projekteerimisega. Masinaehitusliku projekteerimise juures võib seadmete, liinide või toote loomise protsessi jagada etappideks: idee – projekt – teostus. [2]

Lõputöö eesmärk on valmistada pakendinurga vorm, millega on võimalik toota vahtpolüstüreenist nurki, tänu millele on võimalik transportida teatud sorti metalluksi. Nimetatud teema on aktuaalne, sest teema hõlmab projekteerimist, vajalike materjalide hankimist, hinnapakumiste teostamist, analüüsi ning lõplikku koostamist.

Käesoleva lõputöö esimene peatükk annab ülevaate, mida kujutab endast EPS plastmaterjal. Selgitatud on vahtpolüstüreenist pakendinurkade valmistamise tööprotsessi tsükleid, vormi materjali valikut. Kirjeldatud on vormi projekteerimise elutsükel. Välja on toodud vahtpolüstüreeni eelised.

Teine peatükk annab ülevaate, mida täpsemalt on soovitud projekteerida ning mis on projekteeritava toote väljundiks. Välja on toodud piirangud, mis on vormile seatud. Selgitatud on, millised materjalid on vajalikud sellise vormi koostamise jaoks. Samuti on kirjeldatud vormi mõlema poole konseptsiooni.

Töö kolmas peatükk annab ülevaate vormi koostamisest, kui kõik vajaminevad materjalid on olemas. Toimub detailide ühendamise vormiks ja näidatud on valmisvormi. Välja on toodud vormi koostamise ajal tekkinud probleemid ja need ka lahendatud. Samuti on näidatud detailid, mida on võimalik antud vormist saada.

Töö neljas peatükk sisaldab endas vormi sisenenud auru analüüsi. Selle käigus on vajalik luua võrk, millele järgneb auru sisselaskete defineerimine ning auru sisenemine detaili.

Töö viiendas peatükis on vormi hinnakalkulatsioon. Peatükk koondab endasse kulud, mis kaasnevad vormi projekteerimise ja valmistamisega. Lõplik hind on vajalik, et ettevõtte suudaks hinnata, kui palju aega kulub sellise vormi projekteerimiseks ning samuti on oluline kliendile sellise vormi pakkumisel anda ligikaudne hind, millega antud vorm edasi müüakse.

1. VORMI TEHNOLOOGIA

1.1 EPS ehk vahtpolüstüreen

EPS ehk vahtpolüstüreen koosneb polümeriseeritud polüstüreenist ja nafta süsivesinikust, sageli pentaanist, mis on vahustavaks lisandiks. Pentaan on segatud vahtpolüstüreeniga enne polümerisatsiooni algust. Tegemist on kahekomponentse seguga, mis on vaja enne polümerisatsiooni korralikult läbi segada, et ained omavahel reageerima saaksid hakata. Enne polümerisatsiooni algust on vajalik eelsegul jahtuda ligi 24 tundi spetsiaalsetes silodes (Sele 1.1), et see saaks jahtuda ning tugevneda. *EPS*'i toodetakse kuumakindlate materjalide jaoks ja vormitakse üldjuhul pakendamiseks. [3]



Sele 1.1 Silod

Polümerisatsiooniks võib pidada keemilist reaktsiooni, mille käigus lihtsad molekulid ehk monomeerid omavahel ühendatakse, et saaks moodustuda pika ahelaga molekulid ehk polümeerid. Protsessi käigus ei teki kõrvalsaadusi, näiteks vett ega ka gaasi. [4] *EPS* koosneb

orgaanilistest elementidest, milleks on süsinik, vesinik ja hapnik ning see ei sisalda klorofluorosüsvesinikke. [5]

EPS on plastmaterjal, millel on erilised omadused. Kuna tegemist on üksikutest rakkudest koosneva polüstüreeniga, millel on madal tihedus, suudab polüstüreen vee peale püsima jääda. Kuna rakud pole polüstüreenil ühendatud, ei saa soojus liikuda seal kiiresti, mis tähendab, et see on väga hea soojuseisolaator. [6]

Veeauru abil paisutatud polüstüreengraanulite kokkusulamisel on eeldus tekitamiseks suletud pooridega materjal *EPS*- plast, mille struktuuri moodustab 98% ulatuses kinnisteses pooridesse suletud õhk. Teada on, et seisev õhk on väga hea soojusisolaator ja sellepärast on *EPS* suurepärase soojusisolatsiooni materjal. Vahpolüstüreenil on lühend- *EPS*, mis tuleneb ingliskeelsetest sõnadest *expanded polystyrene*. Eelnevalt on nimetatud seda vahtpolüstürooliks, penoplastiks ja vahtplastiks. [7]

EPS-toodete kvaliteedinõuded põhinevad omadustel, mida isolatsioonimaterjalilt kindlast kasutuskohas nõutakse [7] :

- Soojusjuhtivus
- Koormustaluvus
- Lõike- ja paindetugevus
- Niiskuskindlus
- Õhu ja auru läbilaskvus
- Mõõtmete stabiilsus
- Tuleohutus

1.2 Tööprotsess

EPS vormimise protsess koosneb tavaliselt kahest tööprotsessist: eellaienemisest eelpuhastusseadmes ja vahustamisprotsessist sobivas vormis. Üldjuhul toimub eelprotsess 90-110

°C vahel ning vahustamisprotsess 100-120 °C vahel. Sellistel temperatuuridel on võimalik vahustaval lisandil genereerida paisumisrõhk, mis on vajalik, et paisutada juba eelnev plastifitseeritud polüstüreen (eelprotsessi puhul) ning et eelpaisutatud osakesi oleks võimalik paisutada, sulatades neid samal ajal kokku. Nende kahe protsessi vahel toimub küpsusprotsess, mille käigus toimub õhu difusioon rakkudesse ja vahustamislisanditesse ja teistesse lendavatesse ainetesse. [3]

On kahte sorti ettevõtteid: need, kes ostavad graanuleid, mis on eelnevalt segatud kahekomponentseteks (eellaienemine) ja need, kellel on võimalus enda ettevõttes spetsiaalse masinaga graanuleid omavahel segada. Antud lõputöös käsitleme olukorda, kus graanulid valmistatakse spetsiaalsetes masinates kohapeal.

Tööprotsessi tsüklid võib jagada erinevateks etappideks:

- Kõigepealt täidetakse survepaagid eelnevalt paisutatud graanulitega.
- Toimub vormi täitmine, mille ajal materjali väljalase sulgub. Järgneb eelpuhastus, mille käigus niiskus eemaldatakse vormist.
- Vorm täidetakse graanulitega.
- Graanulite ülejäägi eemaldamine.
- Järgneb puhastamine, mille käigus õhk eemaldatakse süsteemist.
- Algab aurutamine, mille käigus eemaldatakse õhk graanulite vahelt.
- Aurutamisega kaasneb graanulite paisutamise algus.
- Autoklaavi aurutamine, mille jooksul aurutatakse autoklaavi mõlemalt poolt konstantse rõhuga, et graanulid saaksid lõplikult kokku paisuda.
- Jahtumine ja stabiliseerimine.
- Tsirkulatsioonivesi juhitakse vormi, et graanulid saaksid jahtuda.
- Vorm tõmmatakse vaakumisse, et vahu rõhk väheneks.
- Järgneb järelvormimine, et õhk saaks liikuvast poolest eemalduda.
- Valmis detail eemaldatakse roboti abil ning suunatakse pakkimisalusele.

Olemas on erinevaid vahuprotsesse. Paisutamisrõhk vormis protsessi käigus on ligikaudu 0,5 ja 3 bar vahel, olenevalt materjali tihedusest. Materjali tihedusele vastavat rõhku on näha Tabel 1.1 Auru teel paisutamise meetod on kõige ökonoomsem meetod vahtpolüstüreenist vormide valmistamiseks ning tegemist on kõige paremini sulanud vormitoodetega. [3]

Tabel 1.1 Materjali tihedusele vastav rõhk [3]

Tihedus (kg/m ³)	Paisumisrõhk (bar)
20	0,6-0,8
30	0,7-0,9
50	0,8-1,0
100	1,0-1,3
150	1,4-1,6
200	1,8-2,0
300	2,5-2,8

1.3 Vormi materjal

Vormi seinade paksus on vajalik valida nii õhuke, kui võimalik, et oleks võimalik vormi kiiresti soojendada ja jahutada. See on vajalik, sest tänu sellele on töötükkel lühike. Vormi materjaliks kasutatakse üldjuhul alumiiniumi, pronksi või sarnaseid materjale. Samuti on võimalik kasutada näiteks messingut, rikastatud terast või polüestervaike. Kui kasutada õhukese seinaga vormi seinu (vähem kui 10 mm), siis pole võimalik saavutada rõhku (Tabel 1), millega paisutatakse vahtpolüstüreeni. [3]

1.4 Protsess

Vorm ja aurukamber peavad olema valmistatud selliselt, et aurul oleks võimalik läbi düüsi avade suruda rõhku 0.5 bar kuni 1.5 bar'ni, vorm omakorda on eelnevalt täidetud polüstüreeniga ning aur peab soojendama graanuleid. Samaaegselt täidab õhk kohti eellaiendatud polüstüreeni graanulite vahel. Kondenseerunud vesi, mis tekib soojendamise ajal, peab olema vormist välja suunatud. [3]

Liiga suured vormid ei ole väga ökonoomsed mitmetel põhjustel: paigalduskulud on kallid, auru suurus kasvab samuti, kuna tegemist on suhteliselt lühikese tsükliajaga toimuva protsessiga. [3]

Vorm masina vahel liigub siinide peal. Vorm koosneb liikuvast poolest ehk matriitsist ja liikumatust poolest ehk templist, nende kahe osa kokkupuutel muudetakse vorm isoleerituks ning uue toote loomisprotsess võib alata.

1.5 Teisi vormidega tegutsevaid ettevõtteid

Reiden plaat AS on ettevõtte, kes kasutab vahpolüstüreenist vormitoodete valmistamiseks vahetatavate vormidega, automaatseid vormipinke. Selle tehnoloogia abil on võimalik valmistada keeruka kuju ja erinevate mehaaniliste omadustega tooteid, mis leiavad kasutust väga erinevates valdkondades alates toiduainetetööstuse pakenditest kuni erinevate tööstustarvikuteni. Tulenevalt vormide kõrgest hinnast, eeldavad vormitooted suuri tootepartiisid ning spetsiifilise toote vormi omanikuks peaks olema vormi tellija. [8]

EPS graanulid on ka laialt levinud materjal kott- ja lamamistoolide täitena. Graanulite mahukaal on vahemikus 11-35 kg ning terasuurus 4-8 mm. [8]

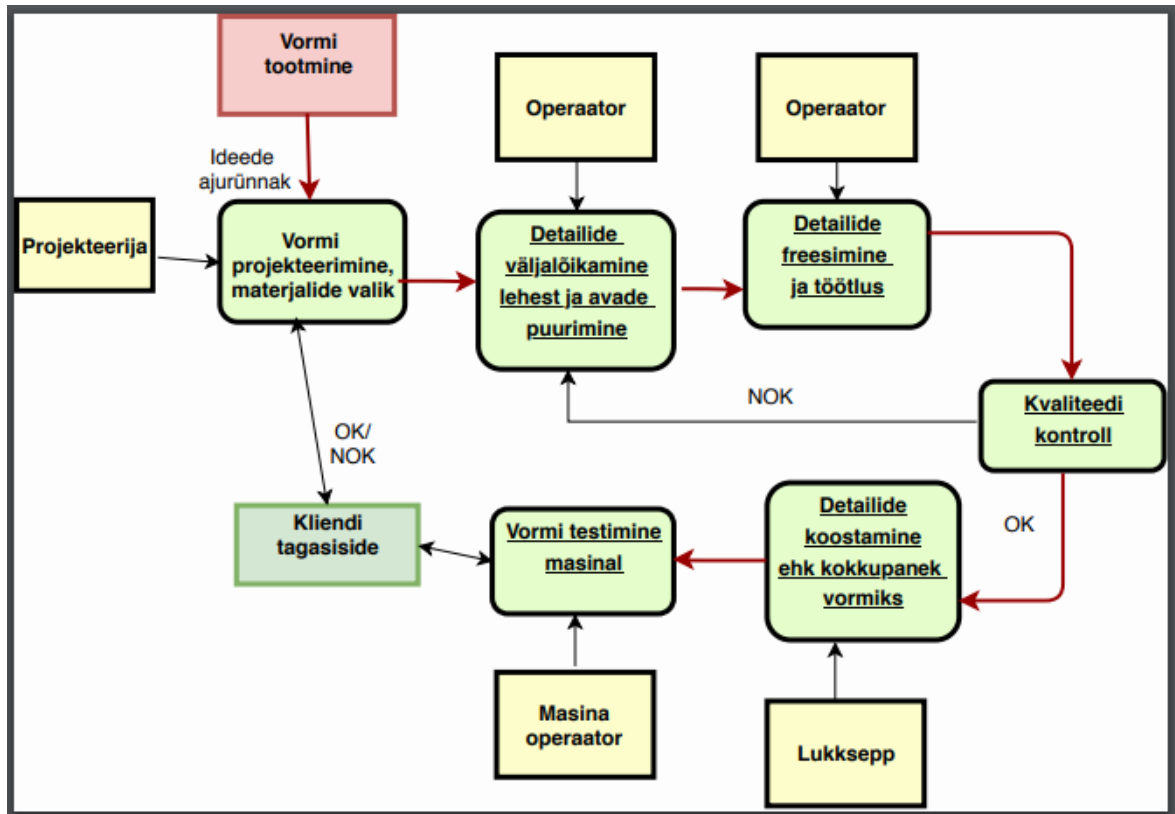
EPS vormi tehnoloogiaga tegeleb ka Saksamaa ettevõtte Kurtz. Antud vormimismasinaid on *EPS*-i põhitöötuse jaoks unikaalsed. Vaakumsüsteemi laitmatu disain ja usaldusväärne hüdraulika on lühima tsükliaja aluseks. [9] Sele 1.2 pealt on näha antud masinat, millega toodetakse vahtpolüstüreenist vorme.



Sele 1.2 Vahtpolüstüreeni vormide masin

1.6 Vormi projekteerimise elütsükkel

Vormi projekteerimise etappideks võib lugeda järgmist tsüklit, mida on näha Sele 1.3 :



Sele 1.3 Vormi projekteerimise elütsükkel

1.7 Vahtpolüstüreeni eelised

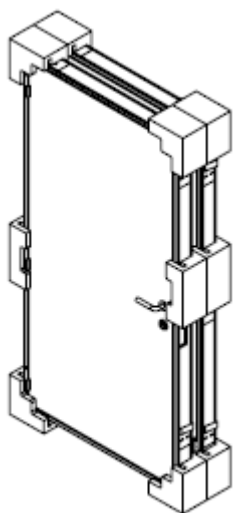
Vahtpolüstüreen omab mitmeid eeliseid [10]:

- Vahtpolüstüreen koosneb ligikaudu 98% õhust
- Selle tootmine või kasutamine ei ohusta inimeste tervist ega ka keskkonda
- *EPS* ei kahjusta osoonikihti
- Protsess nõuab vähe energiat ja ei tekita ülejääke
- Seentel ja bakteritel on keeruline vahtpolüstüreenis kasvada
- Vahtpolüstüreen on 100% taaskasutatav

2. VORMI PROJEKTEERIMINE

2.1 Projekteeritava detaili kirjeldus

Praeguse seisuga pole teatud sorti metalluste transportimiseks vajalikke nurki, mis hõlbustaks uste transportimist ja nende mitte vigastamist selle käigus. Selle jaoks on vajalik projekteerida vorm, mis selliseid nurki toodaks. Edaspidi on nimetatud antud nurki pakendinurkadeks. Sele 2.1 peal on valmis projekteeritud sellised nurgad, mida on tarvilik tootma hakata.

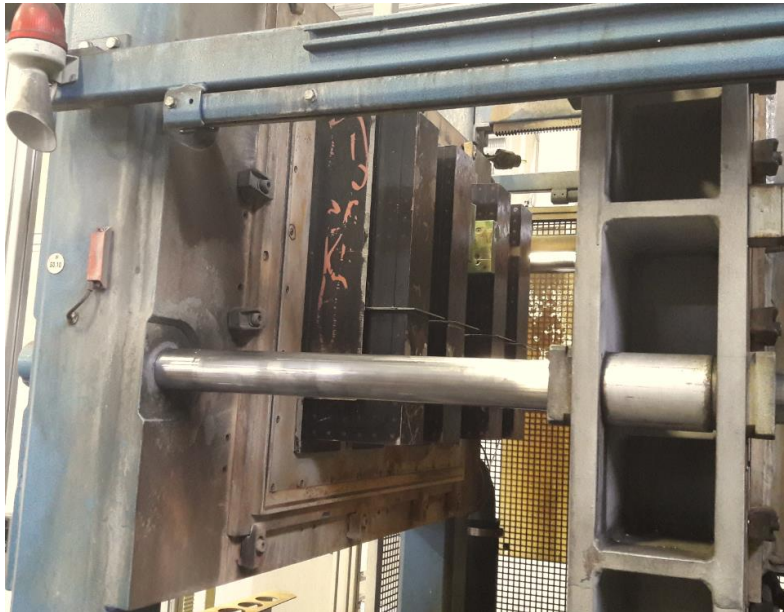


Sele 2.1 Pakendinurgad metalluksel

Soovitud vormi projekteerimisel on seatud mõningad piirangud, mis on välja toodud punktidenä:

- Vormi seinadeks on soovituslik kasutada alumiiniumplaate paksusega 10 mm, kuid vajadusel võib kasutada ka paksemat, olenevalt rõhu suurusele. Vastav paksus võiks lõplikult selguda projekteerimise käigus.
- Eestis on teadaolevalt üks ettevõtte, kus antud tooteid tootma hakatakse. Vormi plaadid, mis kinnituvad masina külge, peavad olema mõõtudega 1100x900x40. See tuleneb sellest, et ettevõttele on projekteeritud sarnaseid keeruka kujuga vorme ning ettevõtte soov on, et

võimalik oleks vahetada vormi sisu, mitte tervet masinat, vastavalt tellimustele. Sele 2.2 pealt on näha sarnast vormi, kuid seel ole v vormi sisu on mõeldud teiseks eesmärgiks.



2.2 Olemasolev masin, kuhu tahetakse paigaldada uus vorm

- Vormi projekteerimisel tuleb arvesse võtta, et vorm peaks olema neljapesaline. Antud tingimus on seatud, sest pakendinurga mõõdud ei võimaldaks rohkem vorme 1100x900 pinna peale asetamist.
- Vormi seinad peaksid tagama selle, et antud seinad teatud rõhul koos püsiksid, see tähendab, et on vajalik teostada paisumise analüüsid.

2.2 Projekteeritava vormi detailid

2.2.1 Alumiinium plaadid

Antud vormi külgedena on kasutatud alumiinium plaate AW 5083. Valitud on selline materjal, sest tegemist on materjaliga, mida on lihtne töödelda, materjal ei oksüdeeru ning materjalil puudub soojuspaisumine. See tähendab, et vahtpolüstrüreenist detailid, mida antud vormiga soovitakse toota, saavutavad võimalikult lähedase kuju soovitud ega kahane töötlemisprotsessi käigus.

Alumiinium plaatide jaoks on võetud hinnapakkumine ning tellitud vastavalt joonistele piisav kogus toormaterjali. Toormaterjal on tellitud lehtedena. Toormaterjali kogus selgub projekteerimise lõpus. Alumiinium plaatide kogust on näha Lisa 1.

AW 5083 sisaldab tunnusnumbrit, millele vastab kindel vastavus:

- 5 näitab sulami gruppi, milleks on AlMg;
- 0 näitab sulami modifikatsiooni, tegemist on orginaalsulamiga;
- 83 näitab tüübi numbrit, st igal sulamil on oma number. [11]

2.2.2 Vinklid

Plaatide omavahel ühendamiseks on kasutatud vinkleid (kinnitusklotsid) , mida on näha Sele 2.3 pealt, mille materjaliks on alumiinium AW 5083. Tegemist on 12x12 mm latist valmistatud vinklitega ja nende kogust on näha Tabel 2.1.



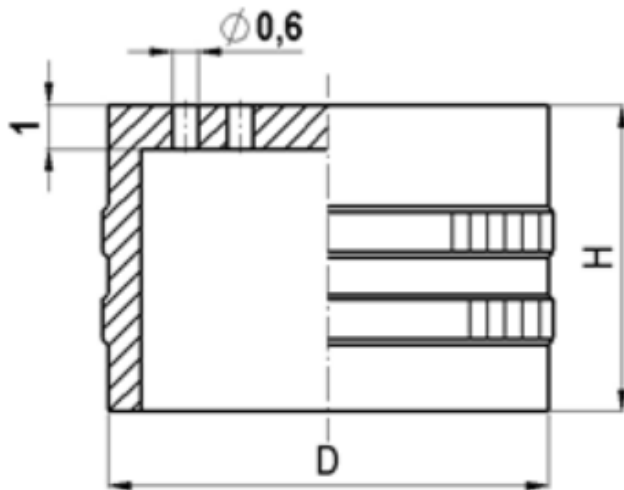
Sele 2.3 Vinkel

Tabel 2.1 Vinklite kogus

			Nimetus	Kogus	Kogus kokku
006107-0000			Pakendinurgad koost	1	
006107-2100				4	
006107-2108			Kinnitusklots-110x12x12	3	12
006107-2109			Kinnitusklots-412x12x12	1	4
006107-2110			Kinnitusklots-143x12x12	1	4
006107-2111			Kinnitusklots-143x12x12	1	4
006107-2112			Kinnitusklots-309x12x12	1	4
006107-2113			Kinnitusklots-35x12x12	1	4
006107-2117			Kinnitusklots-155x12x12	1	4
006107-2121			Kinnitusklots-70x12x12	1	4
006107-2122			Kinnitusklots-33x12x12	1	4
006107-2123			Kinnitusklots-309x12x12	1	4
006107-2124			Kinnitusklots-46x12x12	1	4
006107-2125			Kinnitusklots-30x12x12	1	4
006107-2126			Kinnitusklots-45x12x12	1	4
006107-2127			Kinnitusklots-19x12x12	1	4
006107-2138			Kinnitusklots-75x12x12	1	4
006107-2139			Kinnitusklots-56x12x12	1	4
006107-2140			Kinnitusklots-70x12x12	1	4
006107-2141			Kinnitusklots-75x12x12	1	4
006107-2142			Kinnitusklots-23x12x12	1	4
006107-2143			Kinnitusklots-110x12x12	1	4
006107-2144			Kinnitusklots-47x12x12	1	4
006107-2145			Kinnitusklots-97x12x12	1	4
006107-2146			Kinnitusklots-47x12x12	1	4
006107-2147			Kinnitusklots-85x12x12	1	4

2.2.3 Düüsid

Alumiinium plaatidesse on puuritud avad läbimõõduga 9.95 mm selleks, et avadesse kinnitada düüsid (mida on näha Sele 2.4) pinguga. Düüsid on vajalikud õhu/auru ja graanulite juhtimiseks vormi. Samuti tagab düüsi paigaldamine materjali ühtlase jagunemise vormis. Düüsi avadest ei tohiks tagasi läbi pugada peenemaid plasti osakesi. Selleks tuleb valida sobivate avade arvuga düüsid. Düüsi diameetriks on 10 mm ning avade arv on 24. Düüsi ava suurus on 0,6 mm, graanuli läbimõõt on 0,5 mm, seega antud düüs sobib. [12]



Sele 2.4 Düüs



Sele 2.5 Düüsid

, kus D = düüsi läbimõõt =10 mm

H = düüsi kõrgus = 7 mm

Perforeeritud düüsid paigaldab alumiinium plaatidesse lukksepp, kes kasutab selleks haamrit ning düüsid lüüakse vastavatesse piludesse. Vajalik düüside arv on 1700 tk (varu on arvestatud juurde). Tellitud düüse on näha Sele 2.5 pealt. Düüsid on tellitud Saksa ettevõttelt Peter-Kroener ning valitud on sellised düüsid, sest neid on võimalik paigaldada vähima vaevaga ning kiiresti. [12]

2.2.4 Düüsi ava suuruse katsetus

Enne, kui alumiinium plaatidesse düüsi avasid puurida, on vajalik teostada katse, kui suure tolerantsi on vajalik avale jätta, et düüs täpselt avasse pinguga istuks. Selleks kasutatakse katseeksituse meetodit ja teostatakse prooviavade puurimine alumiiniumplaati. Kõige paremini istub düüs avasse, mille läbimõõt on 9,95 mm.

2.3 Ostutooted

2.3.1 Poldid

Poldid ühendavad alumiinium plaate omavahel. Vajalik poltide kogus on välja arvatud ning seda on näha pakendinurkade mudeli vajaminevate materjalide hulgas (*BOM*'st). Tabelist 2.2 on näha vajalikke poltide arvu koos poldi mõõduga.

Poldid on valitud Baltic Bolt'ist, sest tegemist on ettevõttega, mis omab väga palju erinevaid kinnitusvahendeid mõistliku hinnaga ning neid ei pea ette tellima, vaid on üldjuhul pidevalt laost saada. Alumiinium plaatide omavahel ühendamiseks on valitud tsingitud DIN_912 8.8 poldid, sest roostevabast terasest poldid on kõrgema hinnaga. [13]

Polt omadusklassiga 8.8 tähendab tõmbetugevust, millele vastab tõmbetugevus 800 N/mm^2 , voolepiir 640 N/mm^2 ning katkevenivus 12%. [11]

Tabel 2.2 Poldide kogus

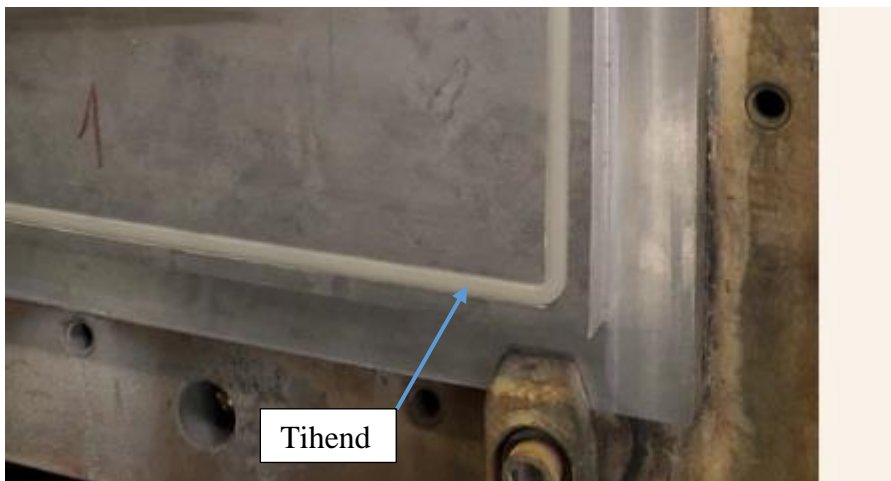
Polt	Kogus (tk)
DIN_912_M6x20	152
DIN_912_M6x16	72
DIN_912_M6x45	56
DIN_912_M6x12	26
DIN_912_M6x18	1
DIN_912_M6x40	4
DIN_912_M6x30	12
DIN_912_M6x20	127

2.3.2 Tihvtid

Pärast vormi kokkupanekut on vajalik positsioneerida vormi pesasid, et liikuv pool ehk matriits suunduks kindlasti liikumatu poole sisse. Selle jaoks on vajalik kasutada tihvte, mis suunavad vormi neli pesa õigesse kohta.

2.3.3 Tihend

Kahe vormipoolte tihendamiseks kasutatakse tihendit (Sele 2.6), mis kinnitatakse liikuva poole kõige suurema plaadi peale.



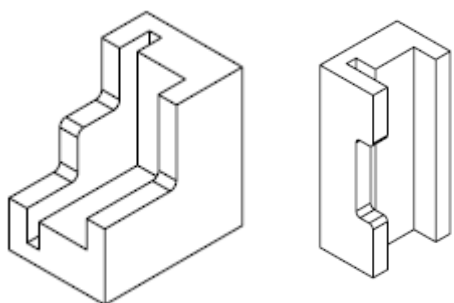
Sele 2.6 Tihend

2.4 Vormi pooled

Vorm koosneb kahest poolest: liikuvast poolest ehk matriitsist ning liikumatust poolest ehk templist. Käsitluse alla on esmalt võetud vormi liikuv pool.

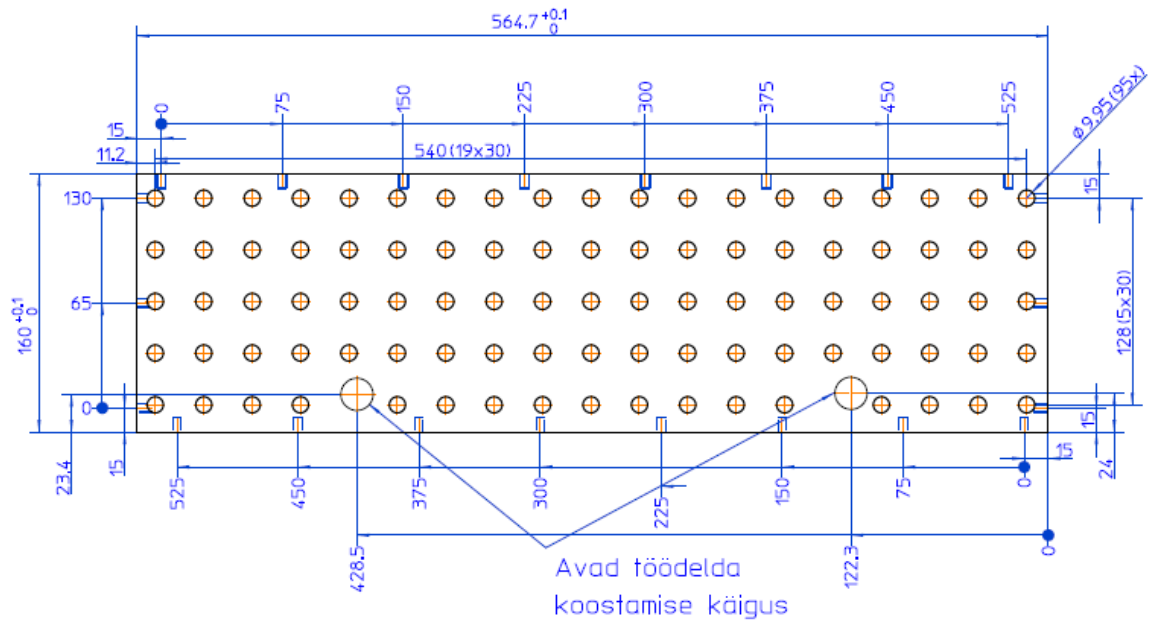
2.4.1 Vormi liikuv pool

Sele 2.7 järgi on võimalik hakata projekteerima vormi liikuvat poolt. Selleks kasutame projekteerimisprogrammi *Creo Parametric 3D CAD* tarkvara. Arvestama peab sellega, et detaili peab hiljem vormist kätte saama, mistõttu on vaja detaili küljed projekteerida kalde alla. Välja on arvutatud kalle, milleks on 3 kraadi. Plaatide paksuseks valime 12 mm tulenevalt sellest, et liikuva poole plaadid peavad olema piisavalt tugevad.



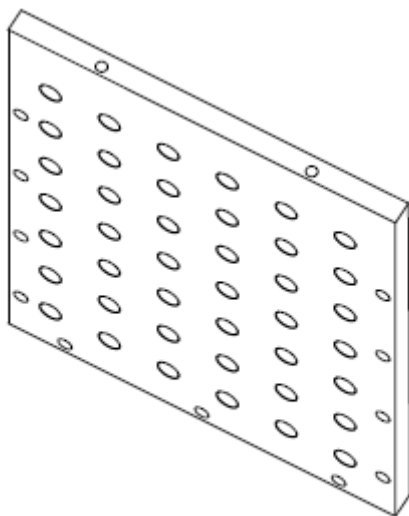
Sele 2.7 Vormi liikuva poole projekteerimise jaoks vajaminevad detailid

Vajalik on paika panna esimene sein ning edasi lisatakse järgnevad seinad. Valitakse esimeseks seinaks põhjaplaat (Sele 2.8). Kuna vahetada on vaja vormi sisu, mitte masinat ennast, siis tuleb silmas pidada, et suuliste asukohad, mööda mida kraanulid vormi paisatakse, asuvad juba ettemääratud kohtades. See tähendab, et põhjaplaadidesse tuleb *CNC*-s lõigata vajalikud avad suuliste jaoks. Teostatud on ka vajalikud mõõtmised, kus täpselt asuvad suuliste avad. Põhjaplaate on kokku 4, tulenevalt sellest, et on soovitud projekteerida 4-pesaline vorm.

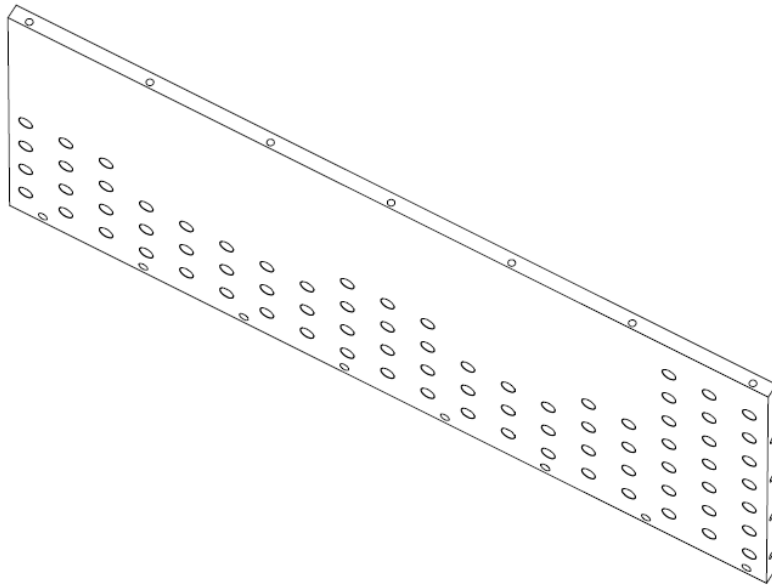


Sele 2.8 Põhjaplaadid

Seejärel projekteeritakse kül- ja otsaplaadid, mida on näha Sele 2.9 ja Sele 2.10 peal.

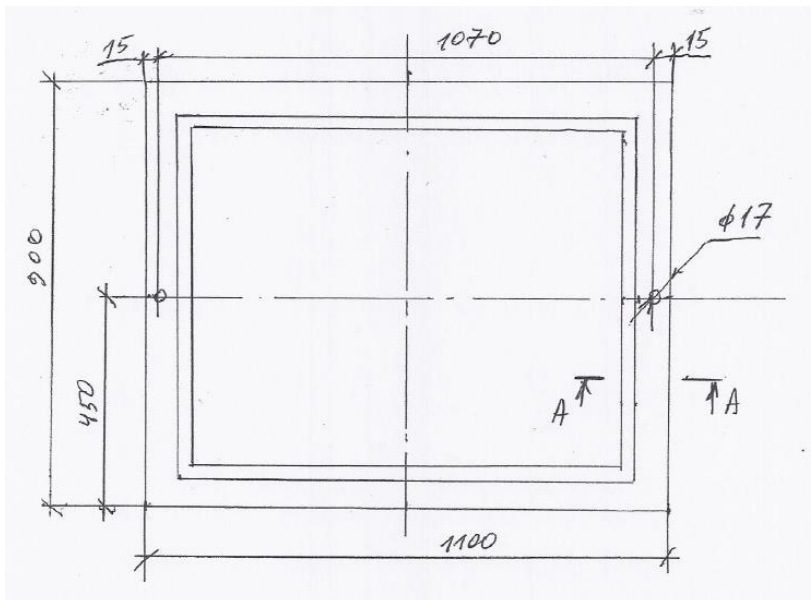


Sele 2.9 Otsaplaat



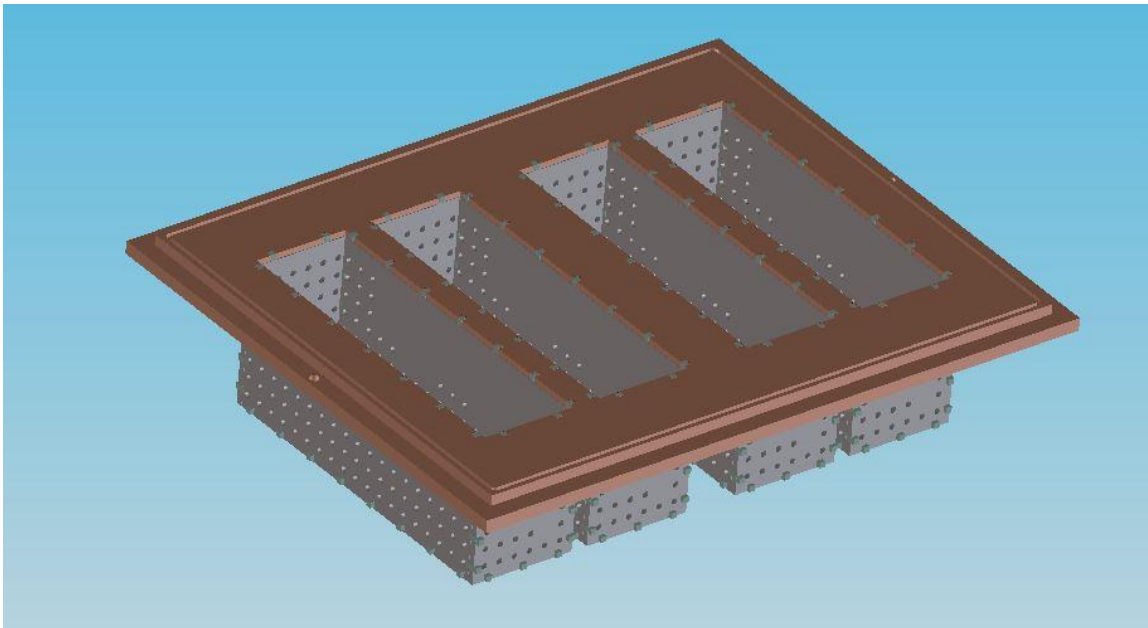
Sele 2.10 Külgplaat

Ühendades külg-, otsa- ja põhjaplaadid, valmib 4 liikuvat poolt. Lisaks on vaja ühendada need plaadid pealmise plaadiga (Sele 2.11). Vanadel vormidel on projekteeritud pealmine plaat kahe tükina, kuid uuel vormil on vajalik seda muuta. Põhjus seisneb selles, et polte peab vanal vormil pidevalt pingutama.



Sele 2.11 Pealmine plaat

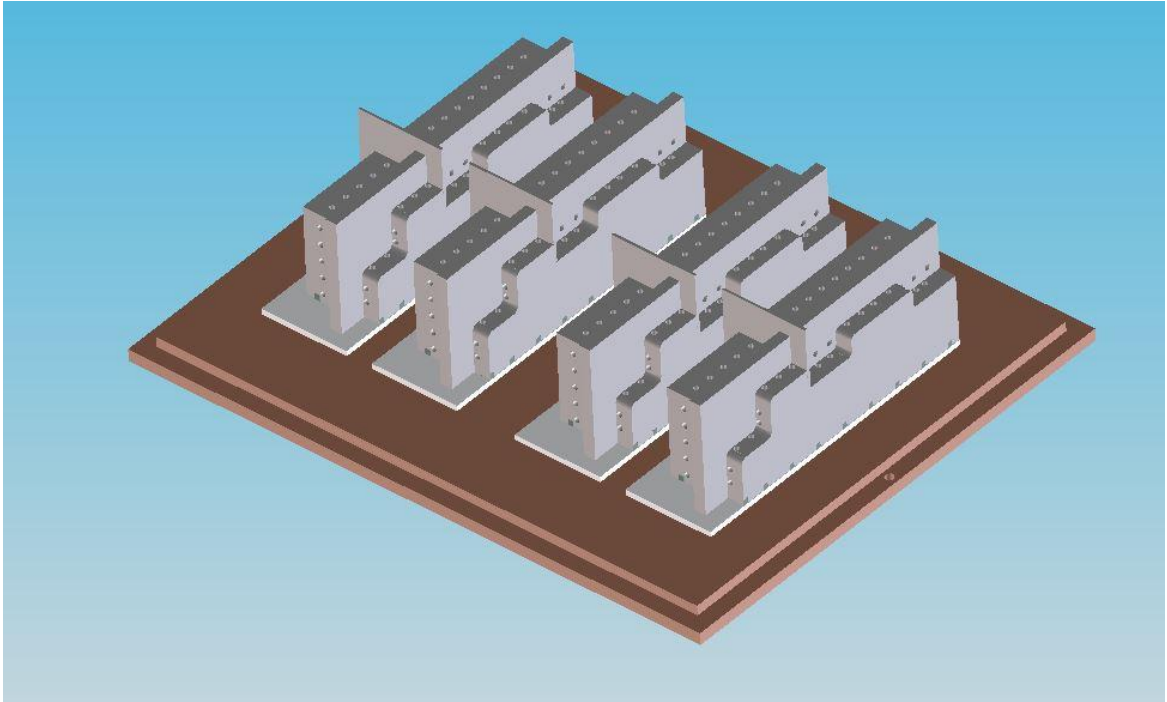
Ühendades kõik plaadid omavahel, saame koostu, mida on näha Sele 2.12 peal.



Sele 2.12 Valmiskoost

2.4.2 Vormi liikumatu pool

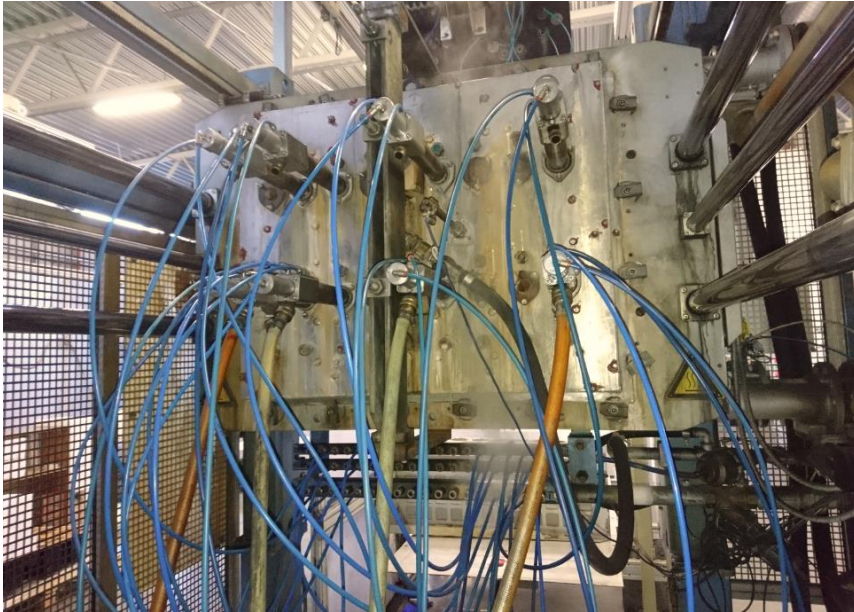
Vormi liikumatu pool on keerukama kujuga ning sisaldab rohkem alumiinium plaate. Projekteerimise alustamiseks on vajalik valida üks sein, millele edasi tuleb lisada ülejäänud seinad. Liikuv pool valmistatakse vastavalt koostejoonisele, mida on näha lisast. Templi poolt on näha Sele 2.13 pealt.



Sele 2.13 Templi pool

2.5 Suuliste asukoha kindlaksmääramine

Matriitsi põhjaplaatides on avad, läbi mille lastakse vormi materjal. Suuliste avade kindlaksmääramiseks on teostatud vastav mõõtmine. Vormi matriits on paigaldatud masinaraami külge ja teisel pool asetseb aurukamber, mille põhjas asetsevad suuliste avad koos püstolitega, mida on näha Sele 2.14 pealt.



Sele 2.14 Suuliste avad koos täitepüstolitega

Mõõtmiste jaoks on eemaldatud masinaraami küljest aurukamber ning teostatud mõõtmine. Aurukambrit võib näha Sele 2.15 pealt.



Sele 2.15 Aurukamber

3. VORMI KOOSTAMINE

3.1 Alumiiniumplaatide ettevalmistamine

3D projekteerimisele järgneb valitud materjalide viimistlemine sobilikeks tükkideks. Kõige esimesena valmistatakse 2 kõige paksemat plaati, mis kinnituvad vahetult vormi masina külge.

Protsess algab paksemate plaatide väljalõikamisega vesilõikuses. Vajalik plaatide suurus on 1100x900x40. Sellele järgneb CNC pingis vormile avade puurimine plaatidesse. Poldi avad on vajalikud, et kinnitada teised seinaplaadid selle plaadi külge. Kuna plaadi paksus on 40 mm, siis ei ole võimalik sarnast plaati laseriga välja lõigata. Sele 3.1 peal on plaat puurpingis. Pärast puurimist antakse plaat lukksepa kätte ning tema tegeleb viimistlemisega.

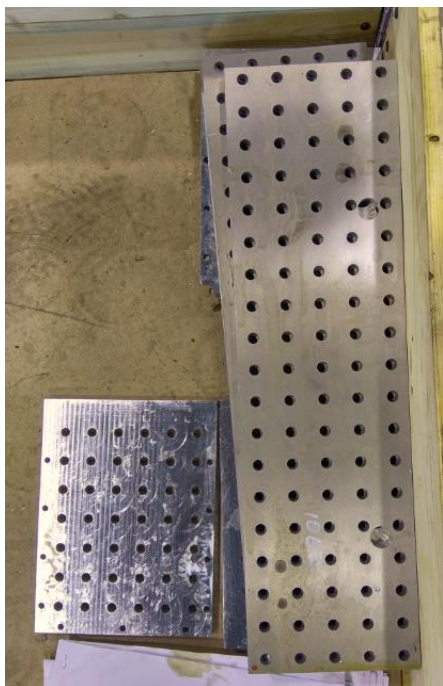
Vesilõikusega saab lõigata enamikke lehtmaterjale, mis taluvad niiskust ning mis veejoa surve all ei purune. Vesilõikus on tehnoloogia, mille korral kasutatakse lõikamiseks vett ja abrasiivi segu. Vesilõikuse eelisteks võib pidada seda, et lõikamise protsess võtab aset toatemperatuuril ning sellepärast puudub termiline mõju materjalile. [14]



Sele 3.1 Plaat puurpingis

Järgneb põhjaplaatide ettevalmistamine, mida on näha Sele 3.2 pealt. Põhjaplaadid lõigatakse välja samuti vesilõikuses, millele järgneb seadistamine ning freesimise käigus lõigatakse vastavad kalded

plaadile. Kalded on vajalikud, et liikuv pool liikumatusse poolde kinni ei kiiluks. Pärast freesimist puuritakse düüsi avad, mille läbimõõduks on 9,95 mm. Samuti on vajalik põhjaplaatidesse puurida suuliste avad. Suuliste avad on avad, läbi mille suunatakse vormi aur/vesi ja vahtpolüstüreen. Suuliste avade läbimõõt on 20 \pm 0,1 mm. Pärast puurimist antakse plaadid lukksepa kätte, kelle käes toimub plaatide viimistlemine.

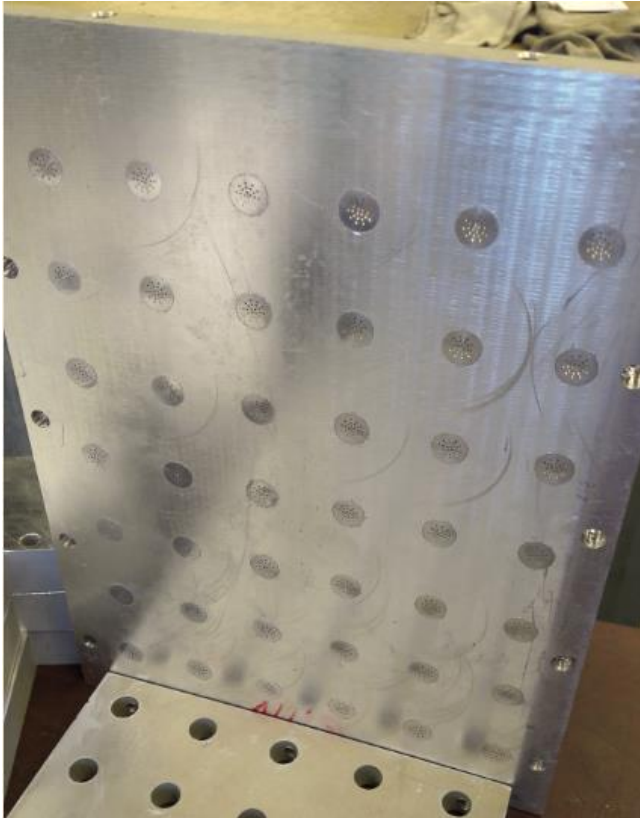


Sele 3.2 Valmisdetailid

Ülejäänud plaatide valmistamine toimub sarnasel meetodil. Iga detail omab vajalikku joonist ning tootekaarti, kus on kirjas, mis operatsioonid on vajalik teostada.

3.2 Seinte ühendamine vormi matriitsis

Kui detailid on läbinud oma viimistluse, on nad valmis kokkupanekuks vormi. Esialgu võetakse käsitluse alla liikuv pool ehk matriits. Kõigepealt lüüakse düüsid plaatidesse, valmis plaati düüsidega on näha Sele 3.3 pealt. Iga plaadi peale on markeeritud vastav joonise number, et oleks hõlpsam vormi koostada.

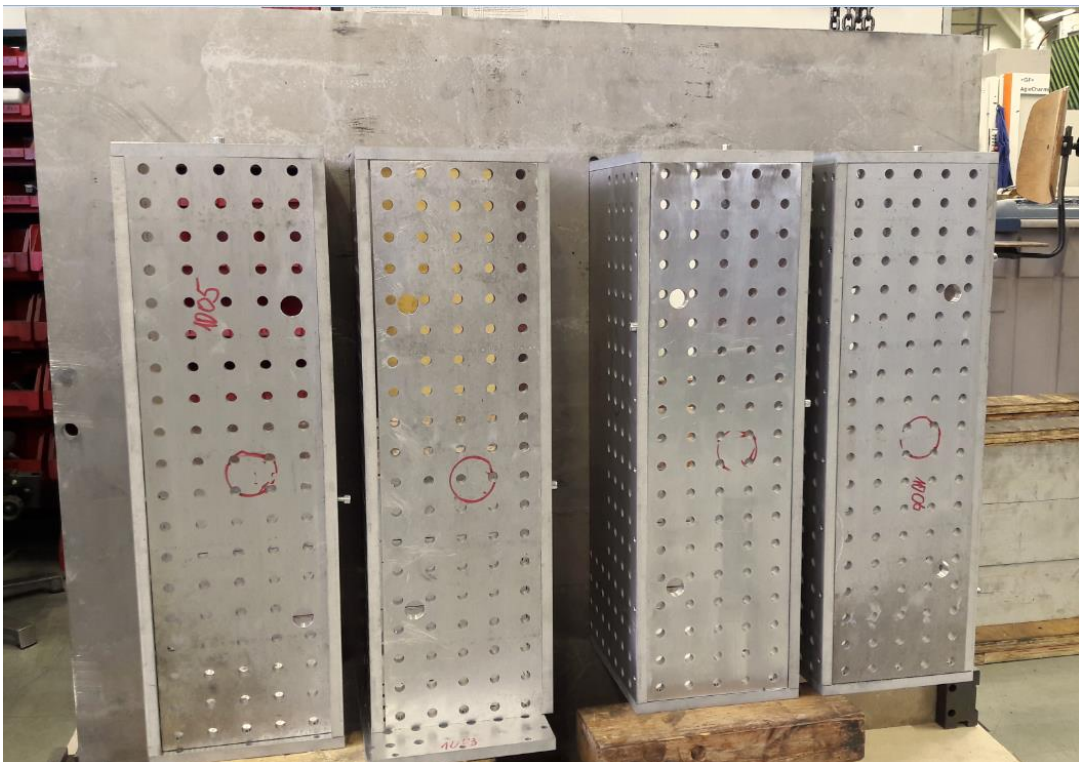


Sele 3.3 Düüsidega plaat

Düüside paigaldamisel plaati on ilmnenud probleem, et kõik düüsiavad ei ole lõigatud vastava tolerantsiga ning düüsi paigaldamiseks avasse on vajalik kasutada spetsiaalset liimi. Samuti on võimalik düüsi veidi laiali suruda nii, et see kataks ära kogu ava.



Sele 3.4 Liikuva poole plaat



Sele 3.5 Liikuva poole plaat, altvaates

Sele 3.4 ja Sele 3.5 on näha valmistamise protessi. Plaatide ühendamine toimub poltidega. Altvaates on näha suuremaid avasid, kuhu kinnitatakse hiljem suulised, läbi mille on võimalik vahtpolüstüreenil vormi pääseda.

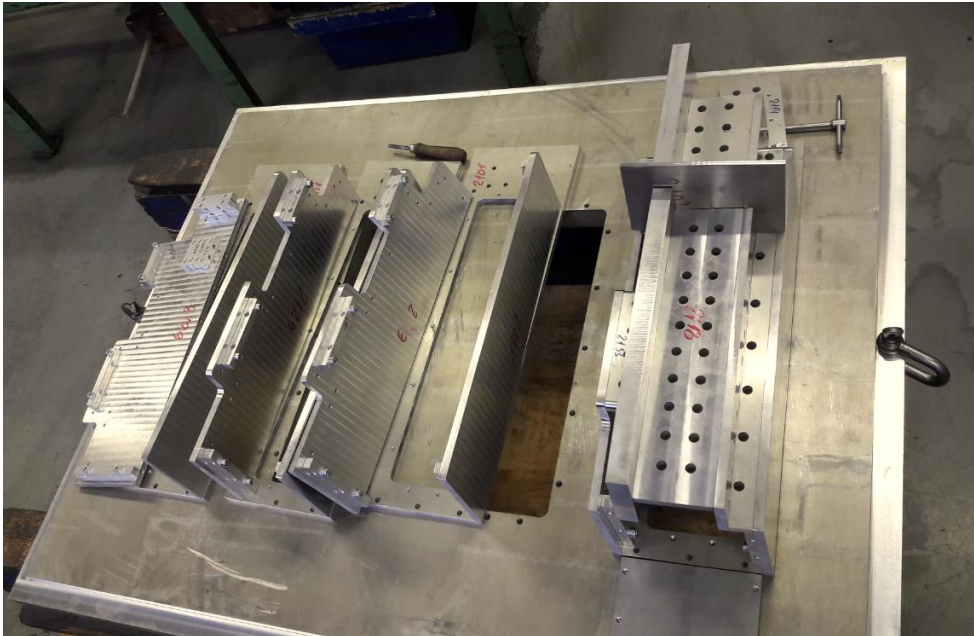


Sele 3.6 Keermestatud avade asukoht

Sele 3.6 pealt on näha keermestatud avasid, kuhu kinnitatakse peale plaat ning keeratakse poltidega kinni. Keerme niidi pikkus on ligikaudu 5-6 mm. Seelt on ka näha, et jäänud on puurimata avad äärmistesse plaatidesse. Põhjuseks on see, et operaator jättis joonise lugemise ajal need avad märkamata.

3.3 Seinade ühendamise vormi templis

Liikumatu poole vormi (Sele 3.7) kokupanek käib sarnaselt liikuvale poolele, kuid siin kasutatakse seinade ühendamiseks vinkleid (Sele 3.8). Esialgu koostatakse esimene pesa, millele järgneb ülejäänud kolme pesa koostamine.



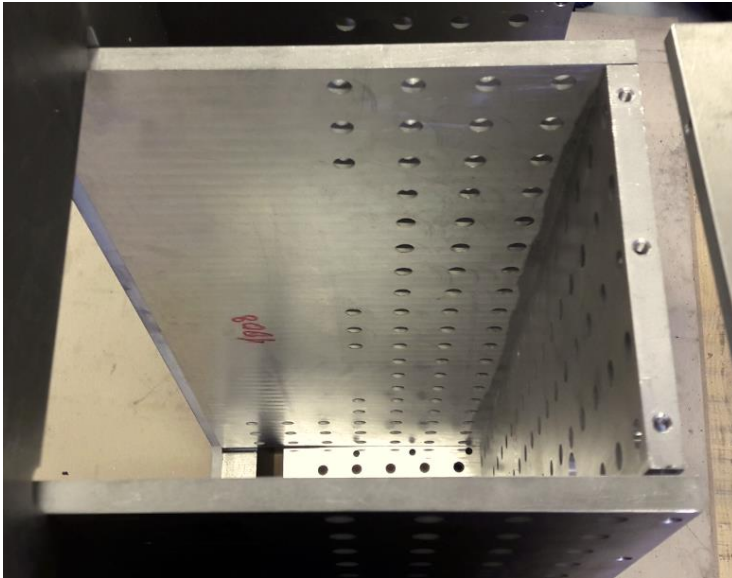
Sele 3.7 Matriitsi koostamine



Sele 3.8 Vinklid

3.4 Vormi parandused

Vormi koostamise käigus tekkisid mõningad probleemid, mida oli vaja lahendada. Detailide töötlemise käigus olid puurimata keermestatavad avad (Sele 3.9), mis tuli puurida hiljem.



Sele 3.9 Puuduvad avad

Teiseks oli templi poole üks detail pikem (Sele 3.9) kui see oleks pidanud olema. Templi poole plaat oli 10 mm, kuid matriitsi poolele mahtus vaid 9 mm. Seega tuli freesida templi poole üks detail lühemaks.



Sele 3.10 Detail pikem

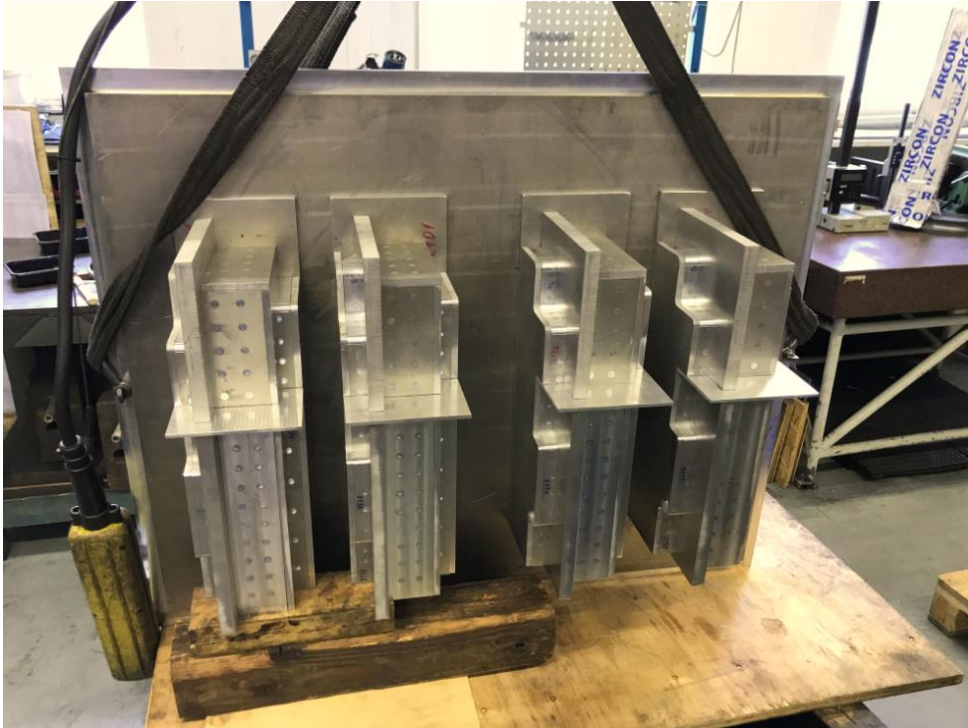
Düüside paigaldamisel alumiinium plaatidesse ei olnud võimalik pinguga düüsi paigaldada, s.t düüs kukkus pilust välja. Selle lahenduseks „venitati“ düüs veidi laiemaks või kasutati düüsi paigaldamiseks spetsiaalset liimi, kuid seda võis lugeda lisatööks.

2 täitepüstolite ava asukohta, läbi mille pääseb vahtpolüstüreen suuliste kaudu vormi, vajasid veidi korrigeerimist.

Lisaks sai vormi siseküljele paigaldatud toed vastu tagaplaati, et vorm rõhu all ei muudaks oma kuju.

3.5 Valmisvorm

Valmis templi poolt võib näha Sele 3.11. Sellisel kujul on võimalik paigaldada see masinaraami vahele. Matriitsi poolt masinaraami vahel on näha Sele 3.12 pealt.



Sele 3.11 Tempel



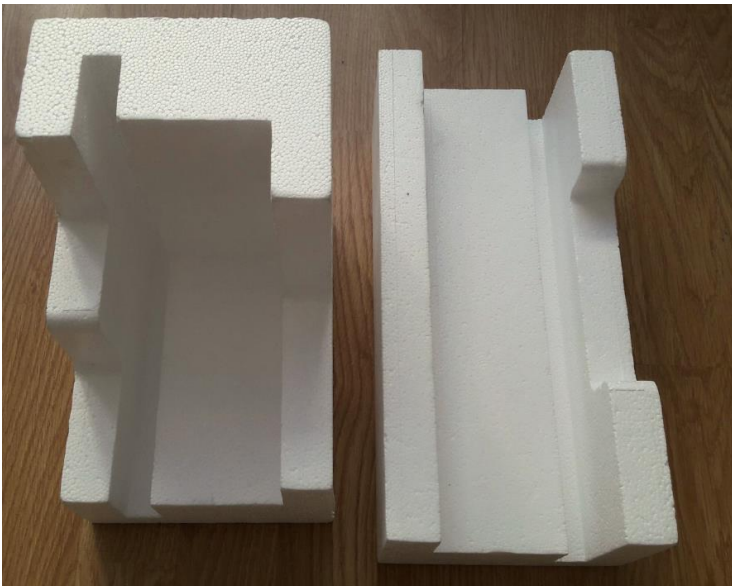
Sele 3.12 Matriits masinaraami vahel



Sele 3.13 Detail templil

Templi ja matriitsi vahel on näha valmis detaile (Sele 3.13). Selliste detailide tootmise tsükliajaks võib arvestada umbes 90 sekundit.

3.6 Detail vormist



Sele 3.14 Detailid vormist

Sele 3.14 pealt on näha detaile, mida toodetakse pakendinurkade vormiga. Vaadates detaile, on näha, et vormi detail on õnnestunud ja vorm on täidetud materjaliga piisavas ulatuses. Üleliigset materjali piludest vahele pole pääsenud ning kõik kohad on täidetud.

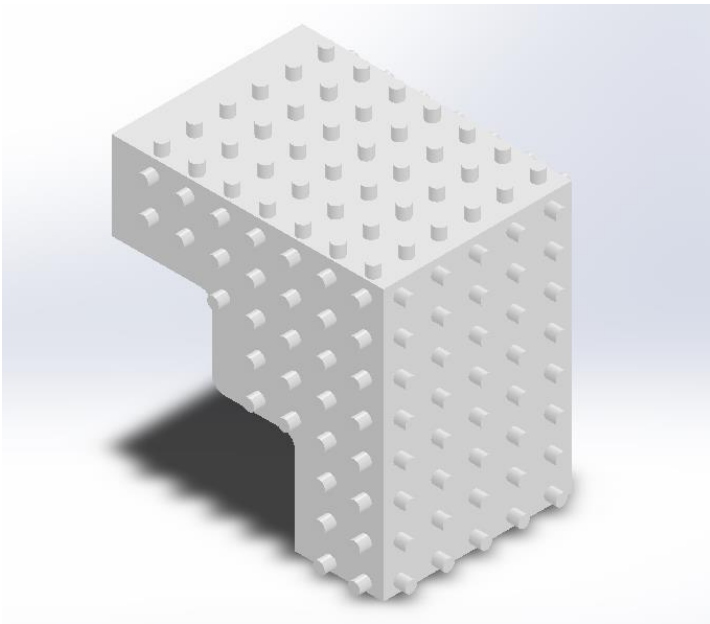
4. ANALÜÜSID

Analüüsi eesmärgiks on analüüsida auru käitumist vormis, mis järgneb pärast materjali sisselaskmist vormi. Uuritud on, kuidas aur täpsemalt täidab vormi, kas on kohti, kuhu aur nii lihtsalt ei pääse. Selleks, et ehitada analüüsi, on vajalik kasutada *multiphysics* mudelit, mis koosneb tahkest osast ja aurust. Keeruline on defineerida tahkeid osakesi *inlet*'ist sisse minema, seega on analüüsitud ainult auru. Multiphysics mudel on selline mudel, mis aitab keerulisi analüüse teha ja uurida mistahes kombinatsioonis, saavutades usaldusväärse lahenduse probleemide kõrvaldamiseks ja parima toote väljatöötamiseks. [15]

Selleks, et analüüsida auru käitumist vormis, on vajalik teostada *CFD* analüüs, milleks on kasutatud *Ansys 17.2* tarkvaraprogrammi *Fluent Flow (Fluent)* moodulit. *CFD* eeliseks võib lugeda seda, et sellega on võimalik teostada lõputult analüüse. [16]

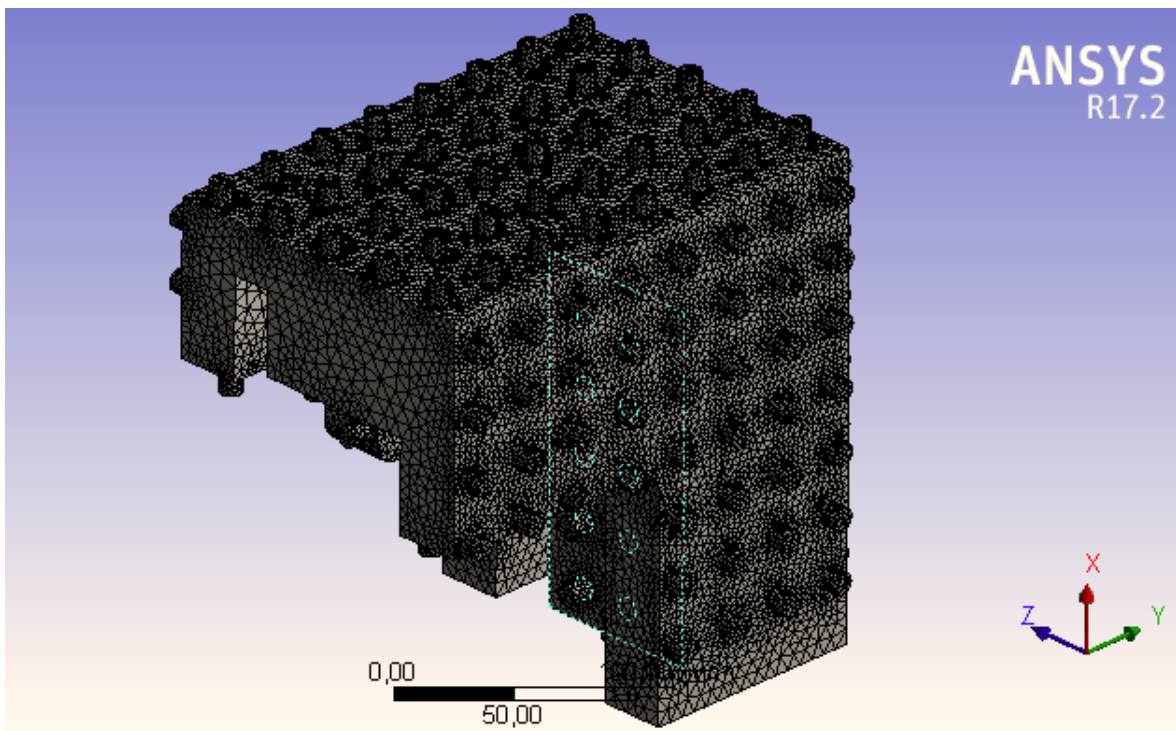
4.1 Võrgu loomine

Analüüsi jaoks on projekteeritud vajalik mudel, mis on eelnevalt loodud *CAD* programmis. Analüüsitava detaili (Sele 4.1) on lihtsustatud, sest tegemist on keerulise geomeetriaga ning mudelist on välja võetud düüsid, mis muudavad analüüsi keeruliseks ja pikaks. Selle asemel on mudelile projekteeritud silindrid ehk *inlet*'id ehk sisselaskeavad. Sisselaskeavasid kasutatakse piirkondades, kus oodatakse sissevoolu; samas võimaldavad sisselaskeavad ka väljumist, kui on seatud vastavad piirtingimused. [17]



Sele 4.1 Analüüsitav detail "düüsidega"

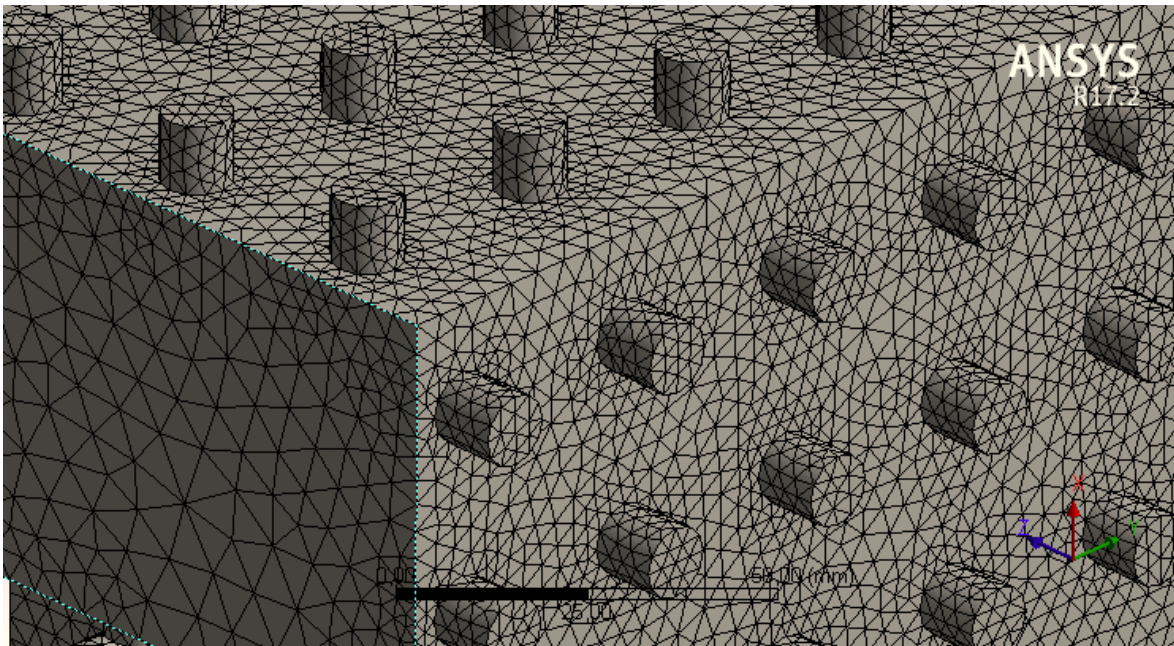
Analüüsi teostamiseks on vajalik mudel jaotada elementideks ehk luua võrk (*mesh*) (Sele 4.2). Mida tihedam on jaotus (Sele 4.3), seda täpsem tulemus on võimalik saavutada. Samas on tiheda jaotuse puhul pikk arvutusressurss ja analüüsiks kuluv aeg.



Sele 4.2 Võrk

Võrgu kvaliteet on kombinatsioon erinevatest parameetritest, mille järgi antakse täpne *CFD* tulemus. Mida parem on võrk, seda täpsemad on tulemused. Võrgu kvaliteedi määramisel on jälgitud mesh *skewness*'i, mis näitab, kuidas on elemendid muutunud võrreldes ideaalsetega. Ideaalseteks elementideks võib lugeda *2D* puhul kolmnurka (Sele 4.3) või ruutu, *3D* puhul kuubikut ja tetraeedrit. [18]

Kõrge *skewness* väärtus ei ole soovitatav. Tavaliselt on soovitatav hoida maksimum *skewness* <0,95 juures (Tabel 4.1). Ideaalseks võib lugeda olukorda, kus *skewness* väärtus on võimalikult madal. [19]



Sele 4.3 2D ideaalsed elemendid (kolmnurgad)

Tabel 4.1 *Skewness*'ile vastavad väärtused [19]

<i>Skewness</i> 'i väärtus	Elemendi kvaliteet
0-0,25	Suurepärane
0,25-0,5	Väga hea
0,5-0,8	Hea
0,8-0,95	Vastuvõetav
0,95-0,97	Halb
0,98-1.00	Vastuvõetamatu

Ortogonaalne kvaliteet on samuti üks kvaliteedinäitajatest. Soovitav on hoida ortogonaalne kvaliteet võimalikult väiksena (Tabel 4.2). Ideaalseks võib lugeda olukorda, kus ortogonaalse kvaliteedi juures on on väärtus võimalikult suur (skaalal, kus 0 on kõige halvem ja 1 kõige parem). [19]

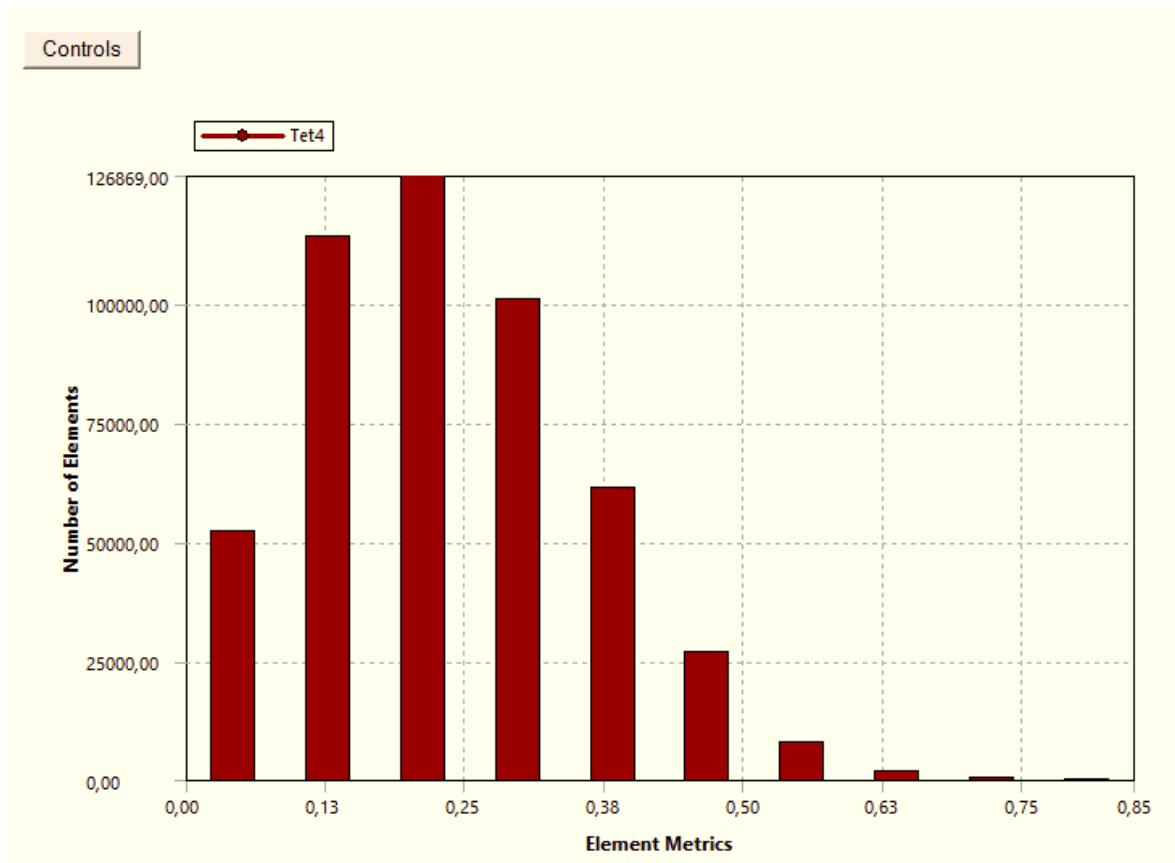
Tabel 4.2 Ortogonaalsusele vastavad väärtused [19]

Ortogonaalne väärtus	Elemendi kvaliteet
0-0,001	Vastuvõetamatu
0,001-0,14	Halb
0,15-0,20	Vastuvõetav
0,20-0,69	Hea
0,70-0,95	Väga hea
0,95-1,00	Suurepärane

Võrgu loomise tulemusena (Sele 4.4) võib järeldada, et analüüsitud detail sisaldab 491 965 elementi ning selle juures on *skewness* 0,85 ehk tegemist on vastuvõetava võrguga.

Details of "Mesh"	
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Curvature Normal A...	Default (18,...
<input type="checkbox"/> Min Size	2,50 mm
<input type="checkbox"/> Max Face Size	7,0 mm
<input type="checkbox"/> Max Tet Size	7,0 mm
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,20)
Automatic Mesh Base...	On
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (1,2...
Minimum Edge Length	0,157060 mm
<input checked="" type="checkbox"/> Inflation	
<input checked="" type="checkbox"/> Assembly Meshing	
<input checked="" type="checkbox"/> Advanced	
<input checked="" type="checkbox"/> Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	99353
<input type="checkbox"/> Elements	491965
Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/> Min	1,5587e-004
<input type="checkbox"/> Max	0,85024
<input type="checkbox"/> Average	0,23474

Sele 4.4 Võrgu andmed



Sele 4.5 Elementide jaotus vastavalt *skewness*'ile

Graafikult (Sele 4.5) on näha, kui palju on mis *skewness* kvaliteediga elemente. Kõige rohkem esineb 0,20 väärtusega elemente, mis on suurepärase tulemus.

4.2 Analüüsi ehitamine

Analüüs on üles ehitatud nii, et määratud on 5 erinevat *inlet* kogumit (küljed eraldi). Analüüsi mudelina on kasutatud *k-omega*'t, sest auru vool on turbulentne. Samuti on lisatud *energy mudel*, kuigi soojusülekanne antud analüüsis ei käsitleta. *Energy* mudeliks loetakse arvutusmudelit, mis võtab arvesse soojusülekanne. *Energy* mudel annab võimaluse lisada *inlet*'is auru temperatuuri, mis muudab auru parameetreid ja käitumist. Auru temperatuuriks on valitud 300 K (27 °C). Auru kiiruseks on valitud 1 m/s. Ühtegi *outlet*'i ei ole. Ühel hetkel muutub *inlet* *outlet*'iks, kuid seda pole analüüsis käsitletud. *Inlet*'idele on lisatud, et aur siseneb vormi rõhu juures 0,6 bar.

K-omega mudel on üks kõige sagedamini kasutatavatest turbulentsi mudelitest. Mudel on kahe võrrandiga, mis esindavad voolu turbulentsi omadusi. [20] Kuna kasutatud on *k-omega* mudelit,

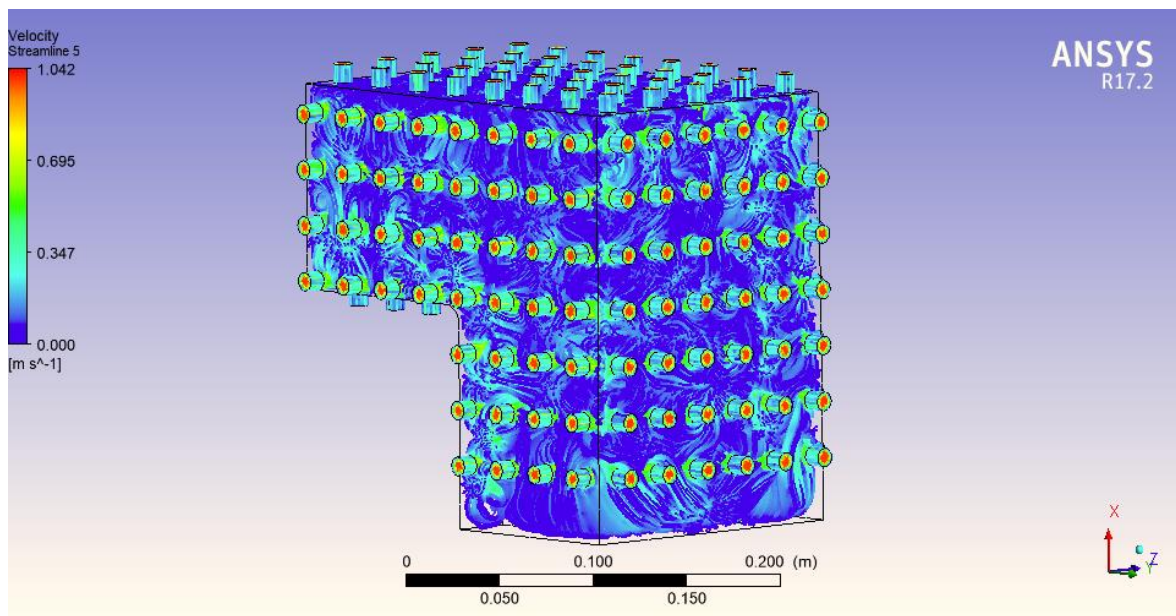
on teada, et *Courant* number, milleks on valitud 1 ning selle numbri ja kiiruse järgi on võimalik arvutada *time step*'i suurusjärg. *Time step* näitab, kui aeglaselt või kiiresti arvutus edeneb.

Courant number on number, mille kaudu on võimalik *time step*'i suurusjärku arvutada. *K-omega* puhul jääb *Courant* number ühe ja kahe vahele.

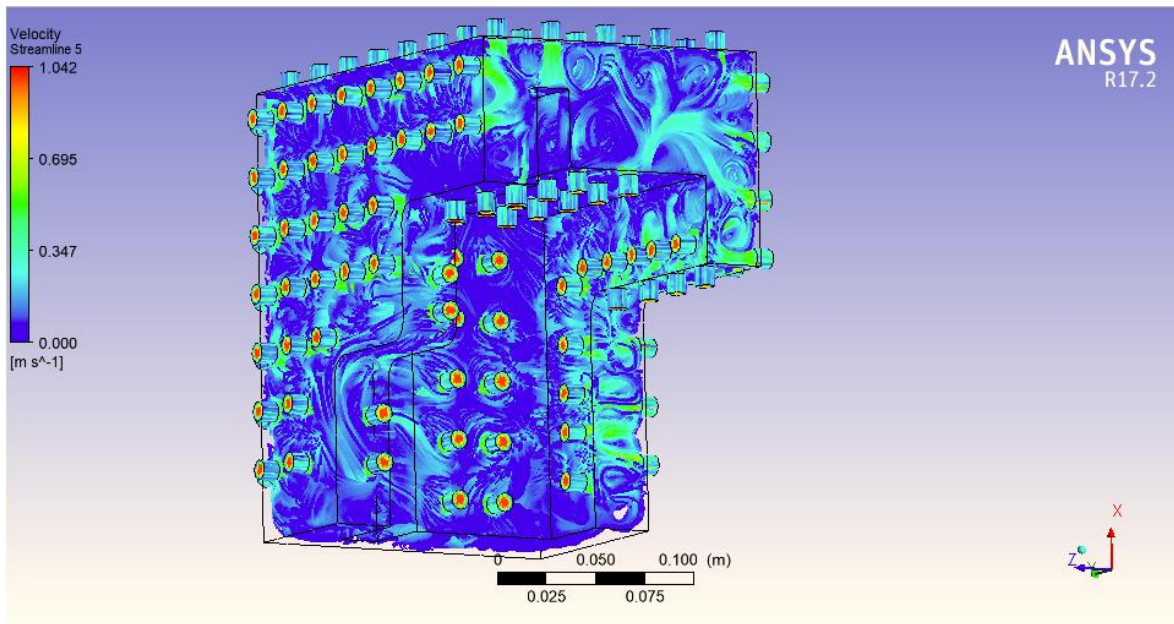
Järgneb *time step*'i väärtuste muutmine. *Time step* ajaks on määratud 0,005 s, mille jooksul teeb programm 100 iteratsiooni ehk arvutust. Seejärel liigub edasi järgmise *time step*'i juurde. Lihtsustamaks analüüsi on määratud, et pärast 10. iteratsiooni olukord stabiliseerub ning saab edasi liikuda järgmiste *time step*'i juurde. Kokku on 20 iteratsiooni, mille ajaks on 0,01 s.

4.3 Analüüsi tulemused

Analüüside tulemusest on näha (Sele 4,5; Sele 4.6), et auru kiirus on kõige suurem vormi sisenedes, milleks on ligi 1 m/s, seejärel kiirus stabiliseerub. Samuti on näha, et aur täidab vormi korralikult kõikidest kohtadest ehk analüüsi võib lugeda õnnestunuks.



Sele 4.6 Analüüsitav detail, ühelt poolt



Sele 4.7 Analüsitav detail, teiselt poolt

5. HINNAKALKULATSIOON

Hinnakalkulatsioonis on arvestatud järgmiseid ettevõtte kulusid (allhanke kulud ilma käibemaksuta):

- Suuliste avade mahamõõtmine
- Vesilõikuse hind (detailide väljalõikamine + materjal)
- Vormi detailide töötlus (freesimine, keermestamine)
- Projekteerimise kulud
- Vormi koostamiskulud
- Poltide kulu

Vormi kulud on toodud Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Kulud vormile

Töö nimetus	Kulu liik	Maksumus (€)
Projekteerimine	Ettevõtte oma kulu töölisele	9100
Suuliste mahamõõtmine	Allhange	125
Vesilõikus	Allhange	3695.66
Detailide töötlus	Allhange	7350
Koostamine	Allhange	2800
Polidid	Ostutoode	31.74
	Kokku	~23 103

Tabelist 5.1 on näha kulud vormile.

Kalendrikuu jooksul kulub ettevõttel oma töötaja peale 100 töötundi. Projekteerimine valmis kolme kuu jooksul. Tööandja kulu ühes kuus töötaja peale oli 2333 €, mis sisaldab sotsiaalmaksu, töötuskindlustusmaksu, kogumispensionit ja tulumaksu. Kolme kuu peale kulub ettevõttel töötaja peale $2333 \times 3 = 7000$ €. Korrutame antud arvu koefitsendiga 1,3, et arvestada ka projekteerijaga kaasnevaid elektri ja muid kaudseid kulusid.

Vormi omahind on 23 103 €. Lisaks on vajalik lisada vormile 10% omahinnast, et arvestada ootamatute kulutustega (mõni komponendi valmimine võttis rohkem aega; materjali hinna tõus). Järelikult võib vormi hinnaks kujuneda $23\,103 \times 1,1 = 25\,413$ €

Järgmiste vormide projekteerimisel võib arvestada asjaoluga, et on võimalik optimeerida projekteerimiskulusid, sest teada on projekteerimise konseptsioon.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli projekteerida vorm, mis suudaks toota metalluste transpordi jaoks vahtpolüstüreenist pakendinurkasid.

Töös oli kirjeldatud, millest koosneb vahtpolüstüreen ja kuidas segatakse omavahel polüstüreeni ja vahustavat lisandit, et need saaksid reageerima omavahel hakata. Välja oli toodud vahtpolüstüreeni eelised ning selle paisumise tööprotsess. Tutvuti, mis materjalist peaks olema vorm ning mis rõhu all vorm tööprotsessi ajal oli. Samuti oli välja toodud vormi projekteerimise täielik elutsükkel.

Järgnes vormi jaoks vajalike materjalide valimine ja projekteerimine. Vormi kokkupanekuks läks vaja nii projekteeritavaid tooteid kui ka ostutooteid. Kogused olid töös välja toodud. Toodud olid ka nõuded plaatidele ning kindlad tolerantsid määratud. Selgitatud oli, et vorm koosneb templist ja matriitsist. Selleks, et vormi matriitsist suubuks sisse materjal, olid materjali põhja puuritud avad. Vormi soojendamiseks ja jahutamiseks olid mõeldud düüsi avad.

Pärast projekteerimist ja materjali valikut järgnes materjalide töötlus ja düüside paigaldamine alumiinium plaatidesse. Koostati vormi templi ja matriitsi pool. Välja oli toodud ja üritatud parandada, koostamise käigus ilmnunud vead. Valmisvormi lisamisel masinaraami vahele sai toota esimesed proovitükid. Proovitükkide valmistamise tsükliajaks sai 90 sekundit.

Neljandas peatükis käsitleti *CFD* analüüsi, mille käigus tuli analüüsida auru käitumist vormis. Kõigepealt oli teostatud võrk ehk mudel jaotati elementideks. Määrati sisselaskeavad, kuid väljallaskeavasid ei määratud. Võrgu loomisel jälgiti kvaliteedinäitajat *skewness*'i ning selgus, et võrgu kvaliteet võrdus 491965 elemendi puhul vastuvõetava võrguga. Analüüsi tulemustena selgus, et aur täidab vormi korralikult igalt poolt ehk seda võis lugeda õnnestunuks.

Viimasena arvatati, kui palju kulub sellise vormi tegemise jaoks ressursi. Selgus asjaolu, et esimene projekteeritav vorm on kindlasti kallim, sest edaspidi on võimalik optimeerida projekteerimiskulusid.

SUMMARY

The purpose of this master's thesis was to design a mould that could produce expanded polystyrene packing corners for the transport of metal doors.

In this thesis, it was described, from what polystyrene foam consists of and how to mix polystyrene and foaming additives to allow them to react with each other. The advantages of the expanded polystyrene foam and the process of expansion were presented. It was decided, which materials should be used to make such mould, and under which pressure was a mould during the work process. A complete lifecycle of mould design was also outlined.

Next, selecting materials and designing a mould was followed. Mould required both design products and purchasing products. Quantities were outlined in the work. There were also requirements for plates and fixed tolerances set. It was explained, that the mould consists of a punch and a die. In order to get material into the mould, there were openings in the bottom of the die. For heating and cooling the mould there were intended the nozzle openings.

After designing and material selection, the material was treated and the nozzles were installed on aluminium plates. A punch and a die was created. There were made some mistakes during the assembling and these mistakes were tried to correct. The first samples were produced, when the mould was put between machine frame. The production cycle of the samples was 90 seconds.

The fourth chapter dealt with the CFD analysis, in which it was necessary to analyze the behaviour of the seam in the mould. First of all, the mesh was executed, model was split into elements. Inlets were defined, but no outbounds were specified. When the mesh was created, the quality indicator was followed (skewness value) and it was found that there were 491965 elements and the mesh was acceptable. The results of the analysis showed that the steam fills the mould properly from each side, which may have been considered successful.

Lastly there was calculated, how much does the mould costs. It turned out that the first design of the mould is definitely more expensive, but in the future it will be possible to optimize design costs.

Viitede loetelu

- [1] „Teamwork Engineering,“ [Võrgumaterjal].
Available: <http://www.twe.ee/index.php/et/>. [Kasutatud 7 March 2018].
- [2] „Teamwork Engineering OÜ,“ [Võrgumaterjal]. Available:
<http://www.twe.ee/index.php/et/teenused1>. [Kasutatud 7 March 2018].
- [3] D. W. J. H. Elmar J. Tremmel, „Mold making handbook for the plastics engineer,
“ Munich, Vienna, New York, Hanser Publishers, 1983, pp. 170-188.
- [4] D. V. R. V. Rosato, *Plastics Engineered Product Design*,
Oxford: Elsevier Advanced Tehnology, 2003.
- [5] „Insulation Corporation of America,“ [Võrgumaterjal]. Available:
<https://insulationcorp.com/eps/>. [Kasutatud 18 April 2018].
- [6] „<http://www.madehow.com/Volume-1/Expanded-Polystyrene-Foam-EPF.html>,“
[Võrgumaterjal].
- [7] „http://www.reideniplaat.ee/index.php?option=com_content&task=view&id=17&Itemid=31,“ [Võrgumaterjal].
- [8] „Reiden Plaat,“ [Võrgumaterjal]. Available:
http://www.reideniplaat.ee/index.php?option=com_content&task=view&id=3&Itemid=140. [Kasutatud 8 March 2018].
- [9] [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.kurtzsa.com/moulding-machines/products/particle-foam-machines/shape-moulding-machines/produkt-details/kurtz-pure-foamer.html>. [Kasutatud 8 March 2018].
- [10] „EPS Packaging Group,“ [Võrgumaterjal]. Available:
http://www.eps.co.uk/pdfs/eps_and_the_environment.pdf. [Kasutatud 18 April 2018].
- [11] %1 *Mehaanikainseneri käsiraamat*, Priit Kulu, 2015.
- [12] „Peter Kroener,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://peter-kroener.de/produkt-kategorie-fw/duesen/>. [Kasutatud 11 April 2018].
- [13] „Baltic Bolt,“ [Võrgumaterjal]. Available:
<http://www.balticbolt.ee/toode.php?show=products&parentID=1>. [Kasutatud 31 March 2018].

- [14] „FinestSteel,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://fineststeel.ee/teenused/vesiloikus/>. [Kasutatud 11 April 2018].
- [15] „Multiphysics Simulation,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ansys.com/products/platform/multiphysics-simulation>. [Kasutatud 14 May 2018].
- [16] „Quora,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.quora.com/What-are-the-advantages-and-practical-applications-of-CFD-analysis>. [Kasutatud 9 May 2018].
- [17] „Using Inlets, Outlets and Openings,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/en-us/help/cfx_mod/i5500692.html. [Kasutatud 13 Mai 2018].
- [18] „Grid Generation for CFD Simulation: Insights with demo,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://ganeshvisavale.wordpress.com/tag/ansys-icem-cfd/>. [Kasutatud 9 May 2018].
- [19] „Introduction to Ansys meshing,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.ozeninc.com/wp-content/uploads/2014/11/MESHING_WORKSHOP_2014.pdf. [Kasutatud 9 May 2018].
- [20] „CFD Online,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.cfd-online.com/Wiki/K-omega_models. [Kasutatud 9 May 2018].

LISA 1. Alumiinium plaatide kogus

Liikuv pool

Komponent	Komponendi kood	Kogus	Pikkus	Laius	Pindala(m ²)	x4 (m ²)
1	006108-0201	1	564	160	0,090	0,36
2	006108-0202	1	567	238	0,135	0,54
3	006108-0203	1	567	238	0,135	0,54
4	006108-0204	2	239	180	0,086	0,34
						1,78

Fikseeritud pool

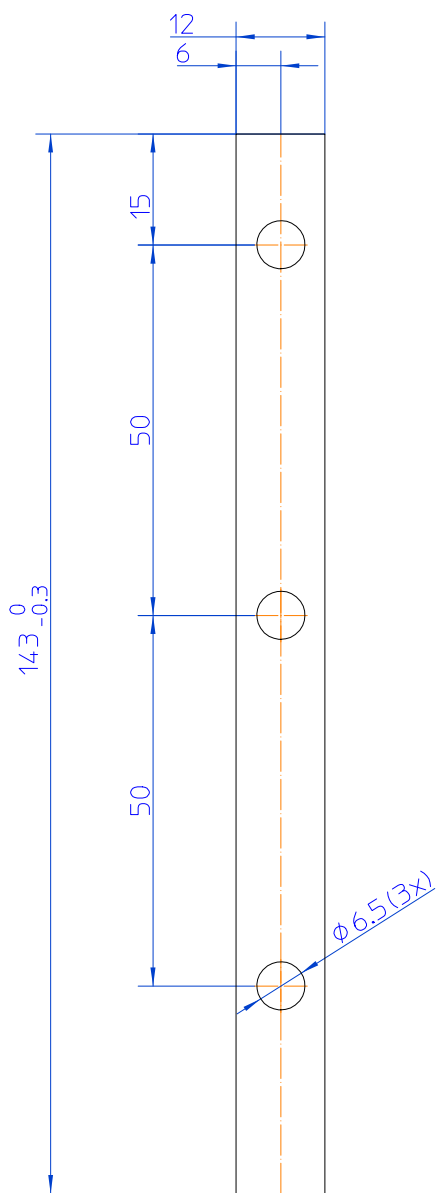
Komponent	Komponendi kood	Kogus	Pikkus	Laius	Pindala(m ²)	x4 (m ²)
1	006108-0101	1	230	162	0,037	0,15
2	006108-0102	1	567	162	0,092	0,37
3	006108-0111	1	109	110	0,012	0,05
4	006108-0112	1	120	41	0,005	0,02
5	006108-0113	1	165	155	0,026	0,10
6	006108-0114	1	165	80	0,013	0,05
7	006108-0115	1	109	41	0,004	0,02
8	006108-0116	1	155	70	0,011	0,04
9	006108-0117	1	85	30	0,003	0,01
10	006108-0118	1	60	20	0,001	0,00
11	006108-0119	1	80	30	0,002	0,01
12	006108-0120	1	75	30	0,002	0,01
13	006108-0121	2	205	203	0,083	0,33
14	006108-0122	1	145	145	0,021	0,08
15	006107-0131	1	320	145	0,046	0,19
16	006107-0132	1	155	162	0,025	0,10
17	006107-0133	1	320	110	0,035	0,14
18	006107-0134	1	330	30	0,010	0,04
19	006107-0135	1	330	55	0,018	0,07
20	006107-0136	1	330	70	0,023	0,09
21	006107-0137	2	330	60	0,040	0,16
22	006107-0138	1	105	35	0,004	0,01
23	006107-0139	1	140	30	0,004	0,02
24	006107-0140	1	35	18	0,001	0,00
25	006107-0141	1	87	30	0,003	0,01
26	006107-0142	1	105	35	0,004	0,01
27	006107-0143	1	35	18	0,001	0,00
28	006107-0144	1	87	30	0,003	0,01
						2,11

Vormi plaadid

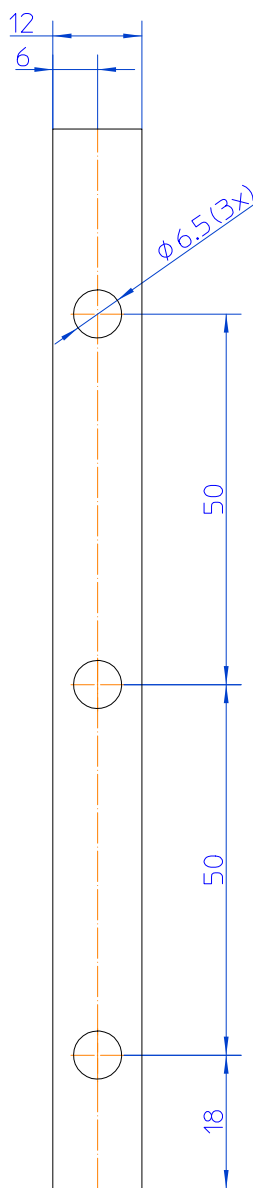
Komponent	Komponendi kood	Kogus	Pikkus	Laius	Pindala(m ²)	x4 (m ²)
29	006107-0103	2	690	40	0,055	0,22
30	006107-0104	2	770	497	0,765	3,06
31	006107-0205	2	770	497	0,765	3,06
						6,34

Kokku 10,24

Sign/Märge	Date/Kuupäev	Description/Kirjeldus	Author/Autor
-	-	-	-
-	-	-	-




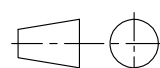
Front



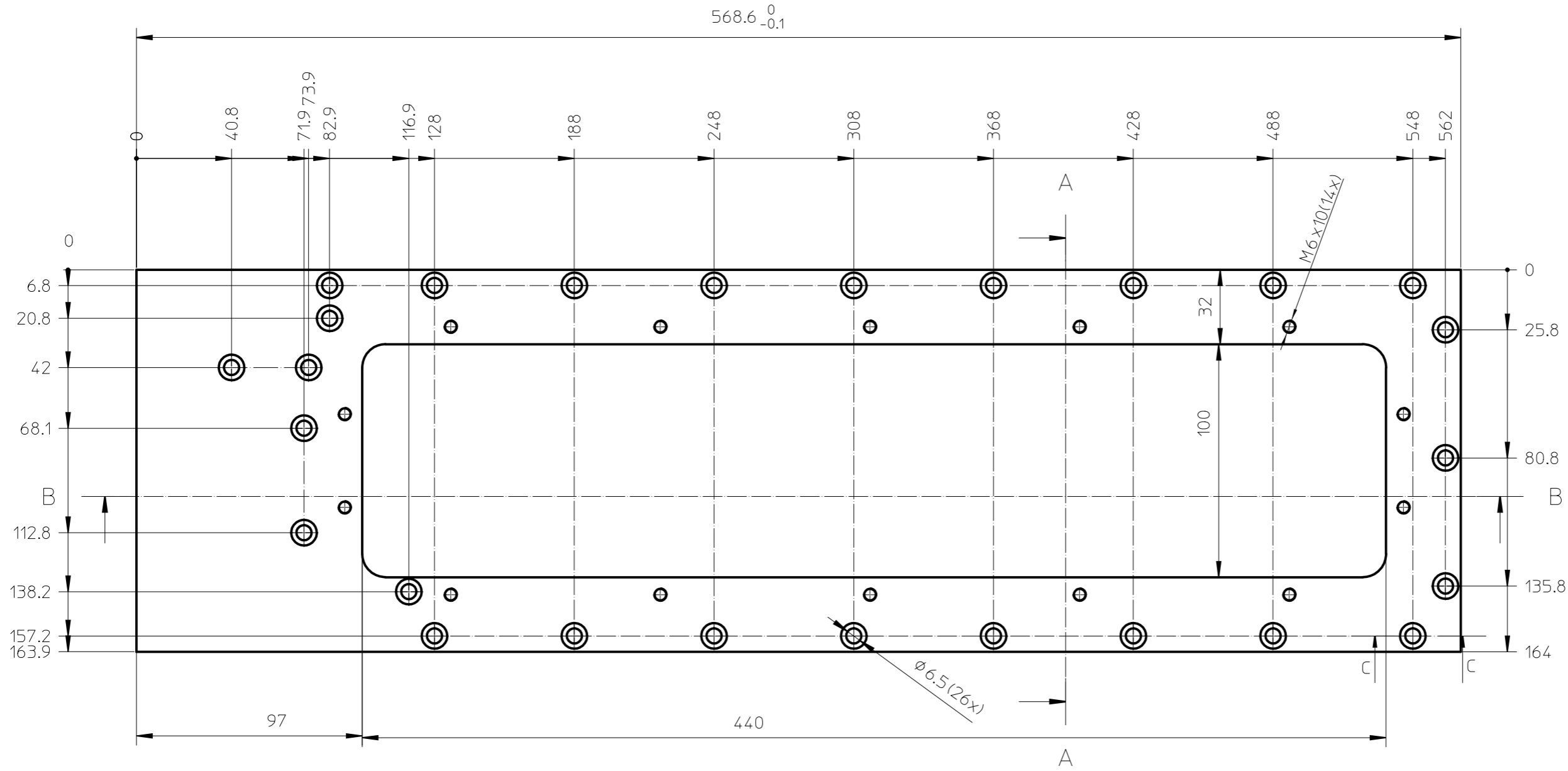
Left



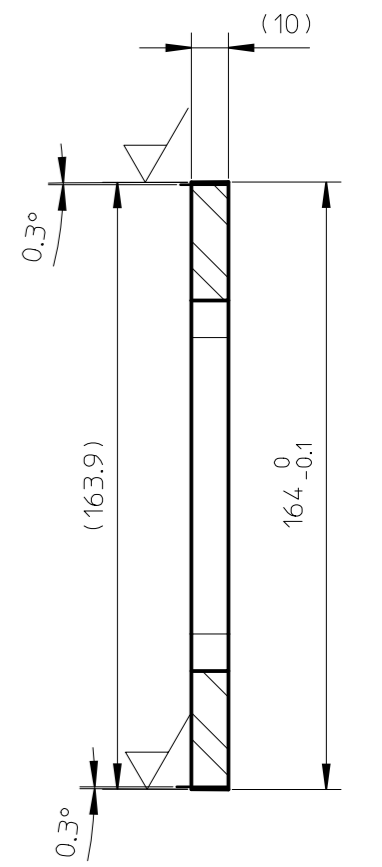
Scale 1:2

Materjal / Mat.	Tolerants / Tol	Pind/Surf.	Proj.nr./Proj.nr.		Mass(kg)	Arv/Count 4	Mööti/Scale 1:1	Format A4
AW5083	ISO 2768-m		006107		Tellija / Cust.		Objekt/Object Pakendinurgad	
Pinna L/Treatment		Nimi/Name	Kuup./Date	Alk./Sign	Nimetus / Drw. name		Kirjeldus/Description	
	Joon. / Drawn	KP	15.01.2018		Kinnitusklots-143x12x12			
	Kontr./Check.							
Proj. /Proj first angle	 Teamwork Engineering OÜ Kadaka tee 42f 12915 Tallinn, Estonia www.twe.ee				Joonise nr. / Drw. nr.		Leht/Sh.	
					006107-2110		1	
Fail						Ver./Rel 1		

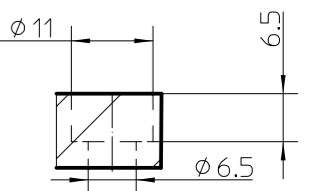
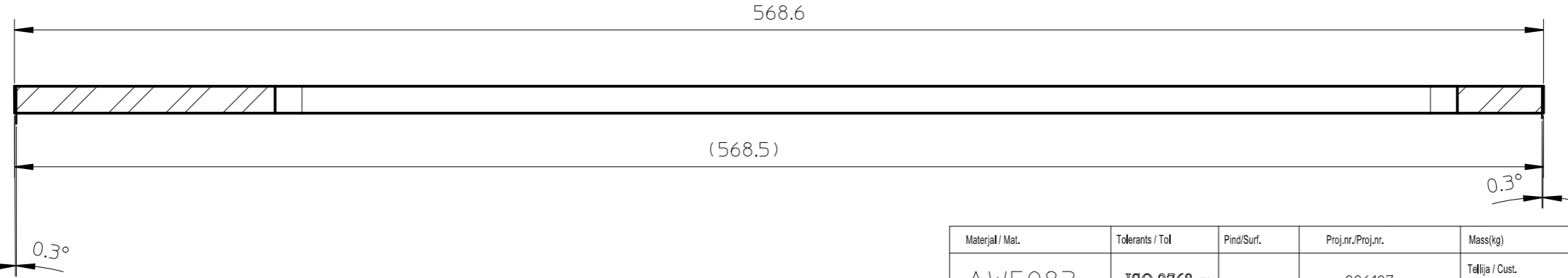
Sign/Märge	Date/Kuupäev	Description/Kirjeldus	Sektor/Section	Author/Autor
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-



Section A-A



Section B-B

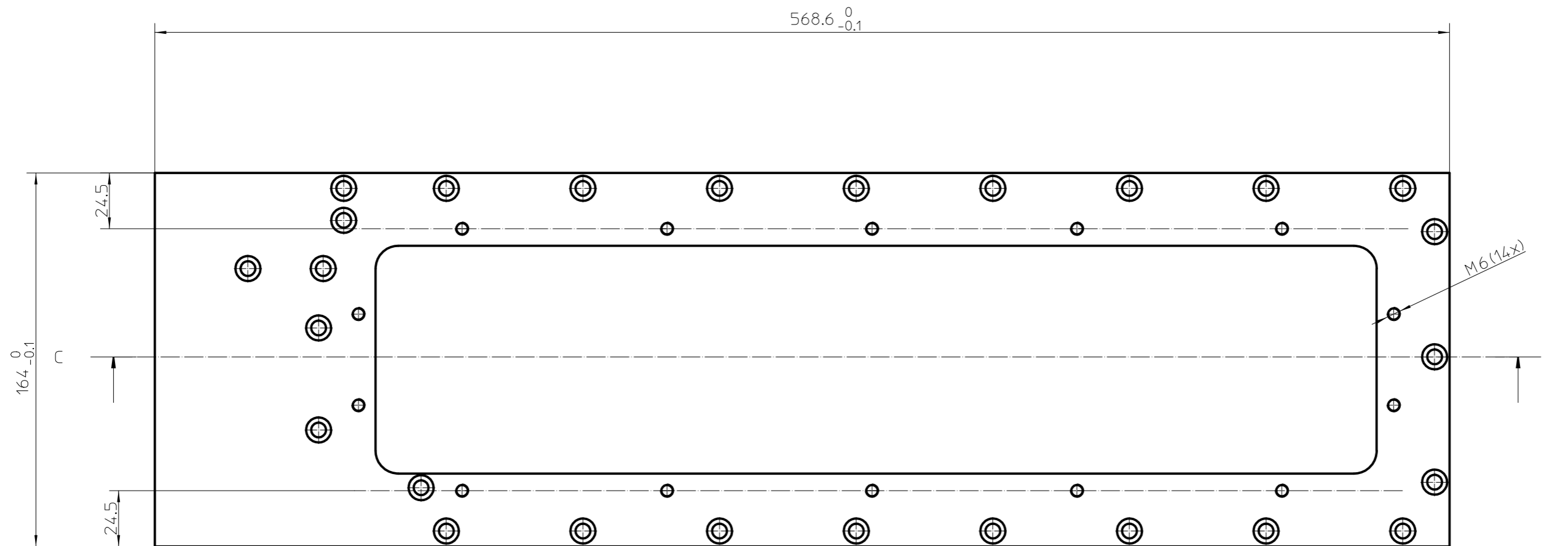


Section C-C
Scale 1:1


Materjal / Mat.	Tolerants / Tol	Pind/Surf.	Proj.nr./Proj.nr.	Mass(kg)	Arv/Count	Mõõli/Scale	Format
AW5083	ISO 2768-m		006107		4	1:2	A3
Pinna L/Treatment				Nimetus / Drw. name		Objekt/Object	
Joon. / Drawn		Nimi/Name	Kuup./Date	Vaheplaat-570x165x10		Kirjeldus/Description	
Kontr./Check.		KP	15.01.2018				
Proj. / Proj first angle				Joonise nr. / Drw. nr.			Leht/Sh.
							1
				006107-2101			2
Fail						Ver./Rel. 1	

Teamwork
ENGINEERING
Teamwork Engineering OÜ
Kadaka tee 42f
12915 Tallinn, Estonia
www.twe.ee

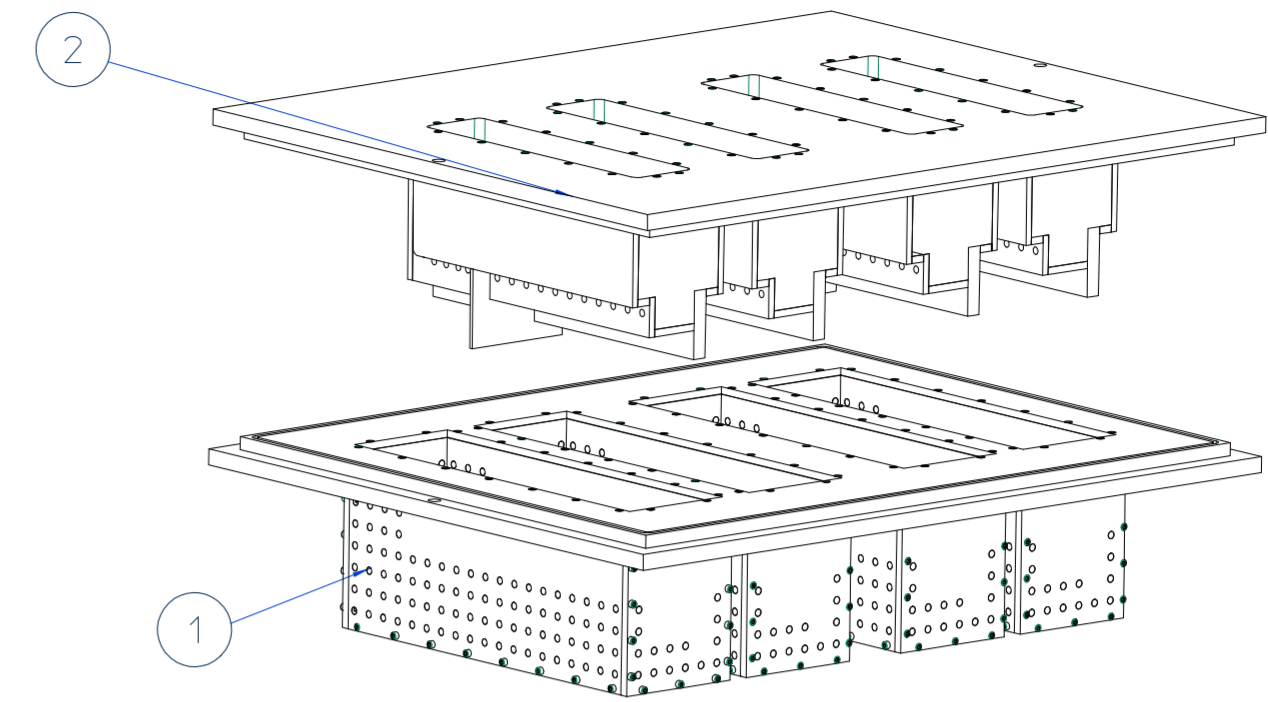
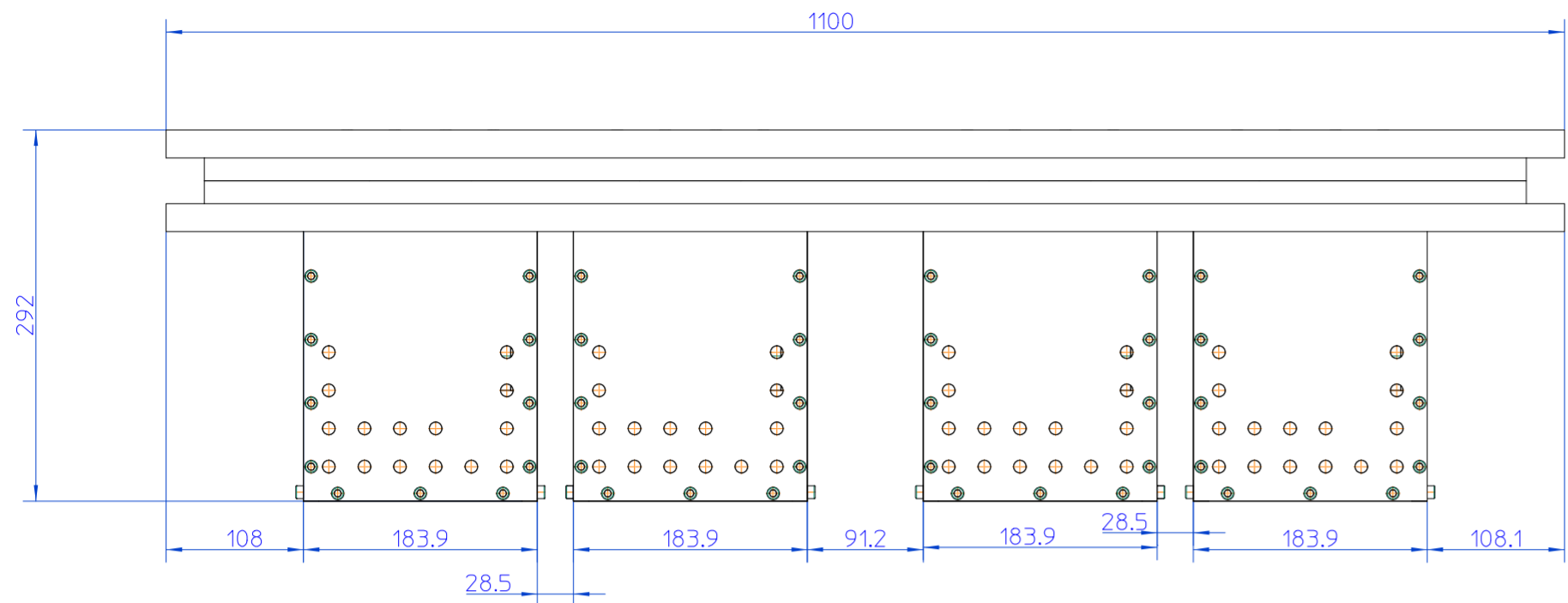
Sign/Märge	Date/Kuupäev	Description/Kirjeldus	Sektor/Section	Author/Autor
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-



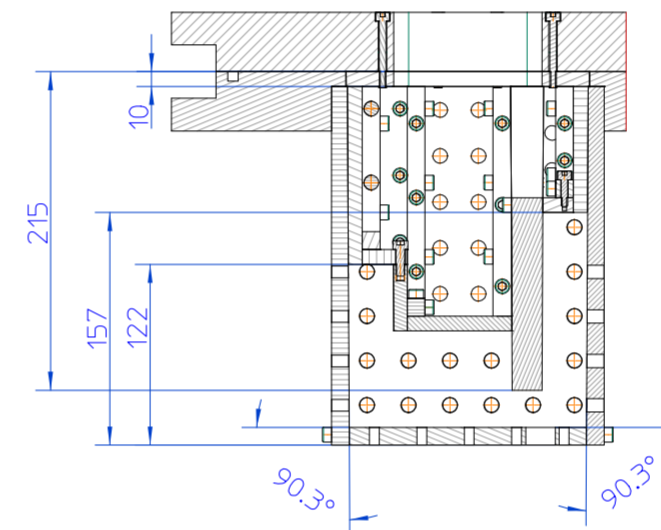
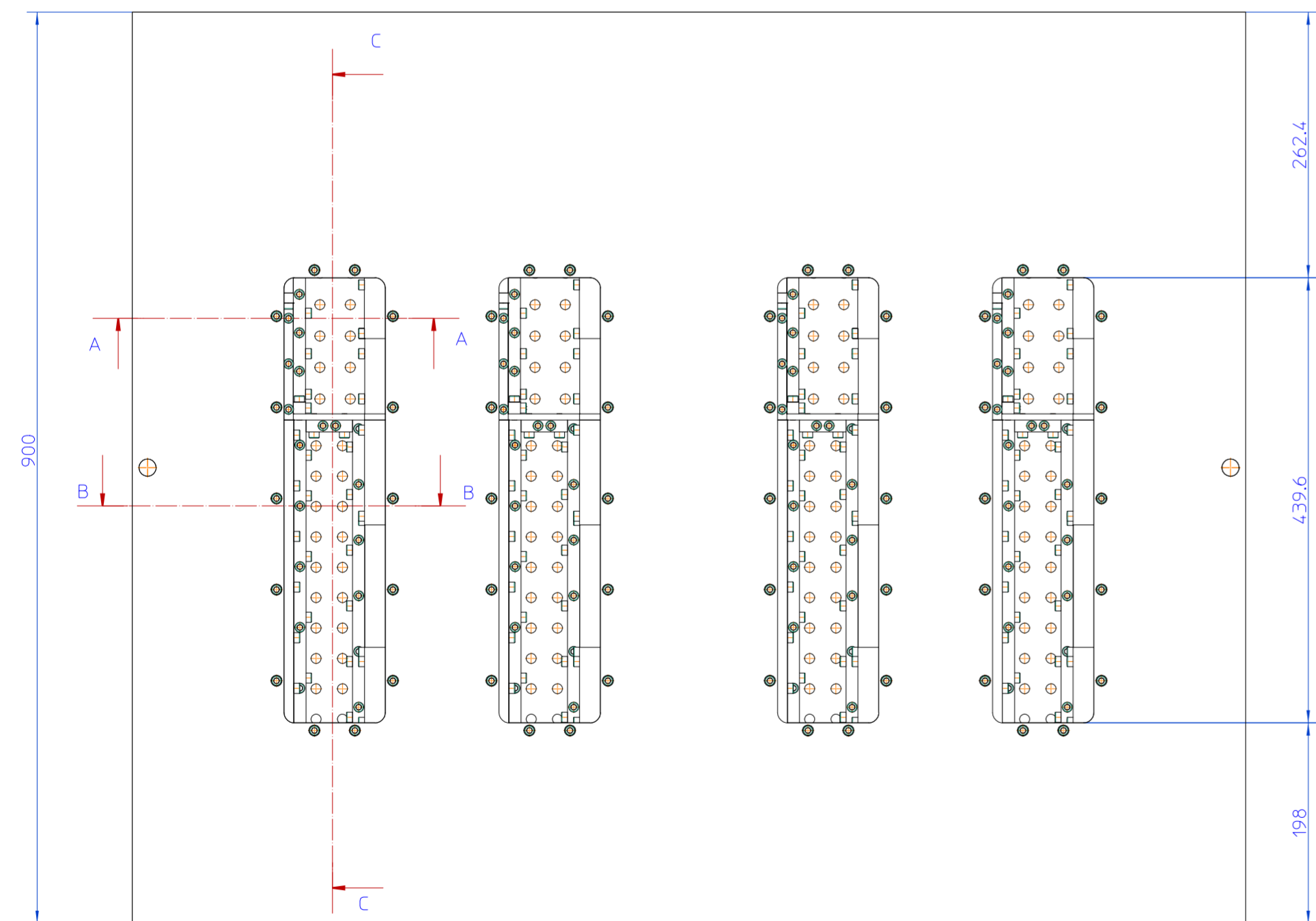
Section C-C

Materjal / Mat.	Tolerants / Tol	Pind/Surf.	Proj.nr./Proj.nr.	Mass(kg)	Arv/Count 4	Mõõli/Scale 1:2	Format A3
AW5083	ISO 2768-m		006107	Tellija / Cust.		Objekt/Object Pakendinurgad	
Pinna L/Treatment	Nimi/Name	Koop./Date	Alk./Sign	Nimetus / Drw. name		Kirjeldus/Description	
	Joon. / Drawn	KP	15.01.2018	Vaheplaat-570x165x10			
	Kontr./Check.						
Proj. / Proj first angle	 Teamwork Engineering OÜ Kadaka tee 42f 12915 Tallinn, Estonia www.twe.ee			Joonise nr. / Drw. nr.		Leht/Sh.	
				006107-2101		2	
				Fail	Ver./Rel. 1		

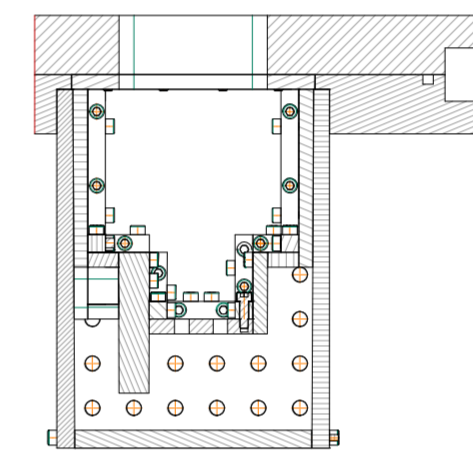
Sign/Märke	Date/Kuupäev	Description/Kirjeldus	Sektor / Section	Author/Autor
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-



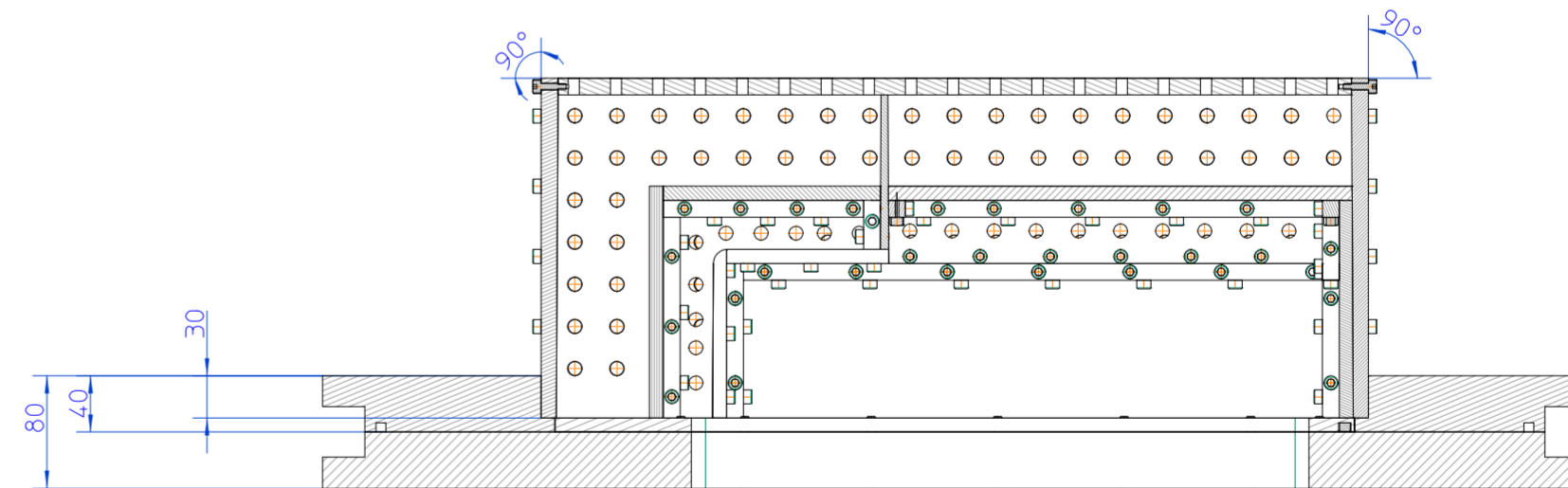
Scale 1:10



Section A-A
Scale 1:5

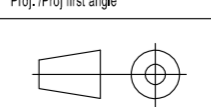


Section B-B
Scale 1:5



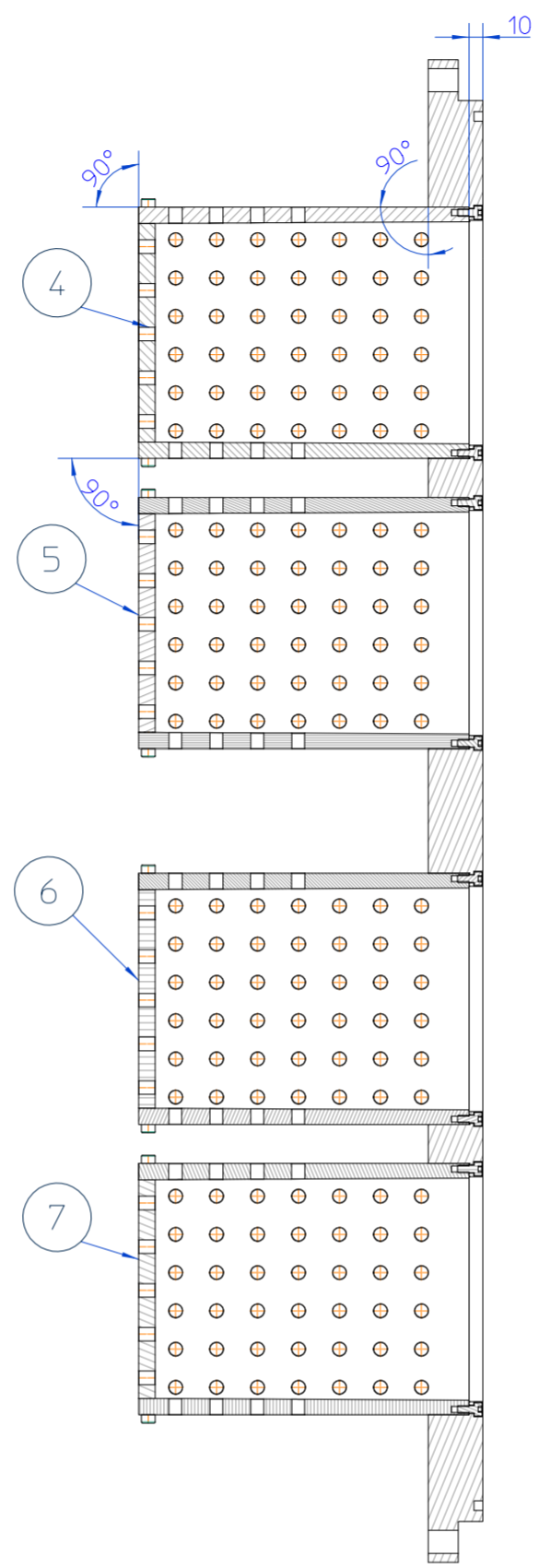
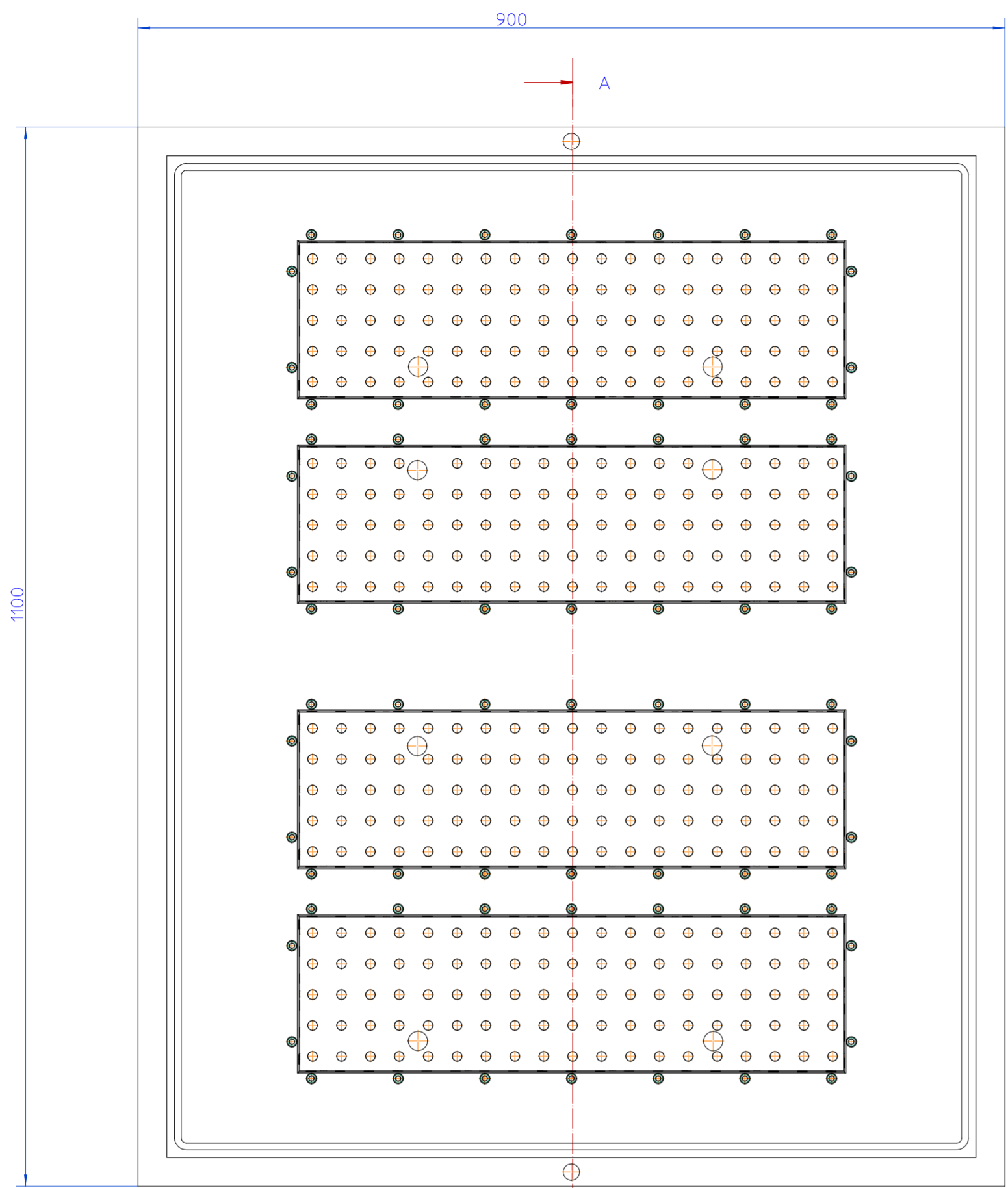
Section C-C

2	1	Seisev pool	006107-2000		
1	1	Liikuv pool	006107-1000	Liikuv pool	
Pos	Qty	Part Name	Part No.	Description	Material
Material / Mat.	Tolerants / Tol	Pind/Surf.	Proj.nr./Proj.nr.	Massi(kg)	Arv/Count 1
	ISO 2768-m		006107	Tellijä / Cust.	Mõõti/Scale 1:5
					Format A2
Pinna L/Treatment	Nimi/Name	Kuup./Date	AK/Sign	Nimetlus / Dnw. name	Objekt/Object
	Joon. / Drawn	KP	15.01.2018	Pakendinurgad koost	Pakendinurgad
	Kontroll./Check.				Kirjeldus / Description
Proj. / Proj first angle				Joonise nr. / Dnw. nr.	Leht/Sh.
				006107-0000	1
					1
				Fail	Ver./Rev. 1

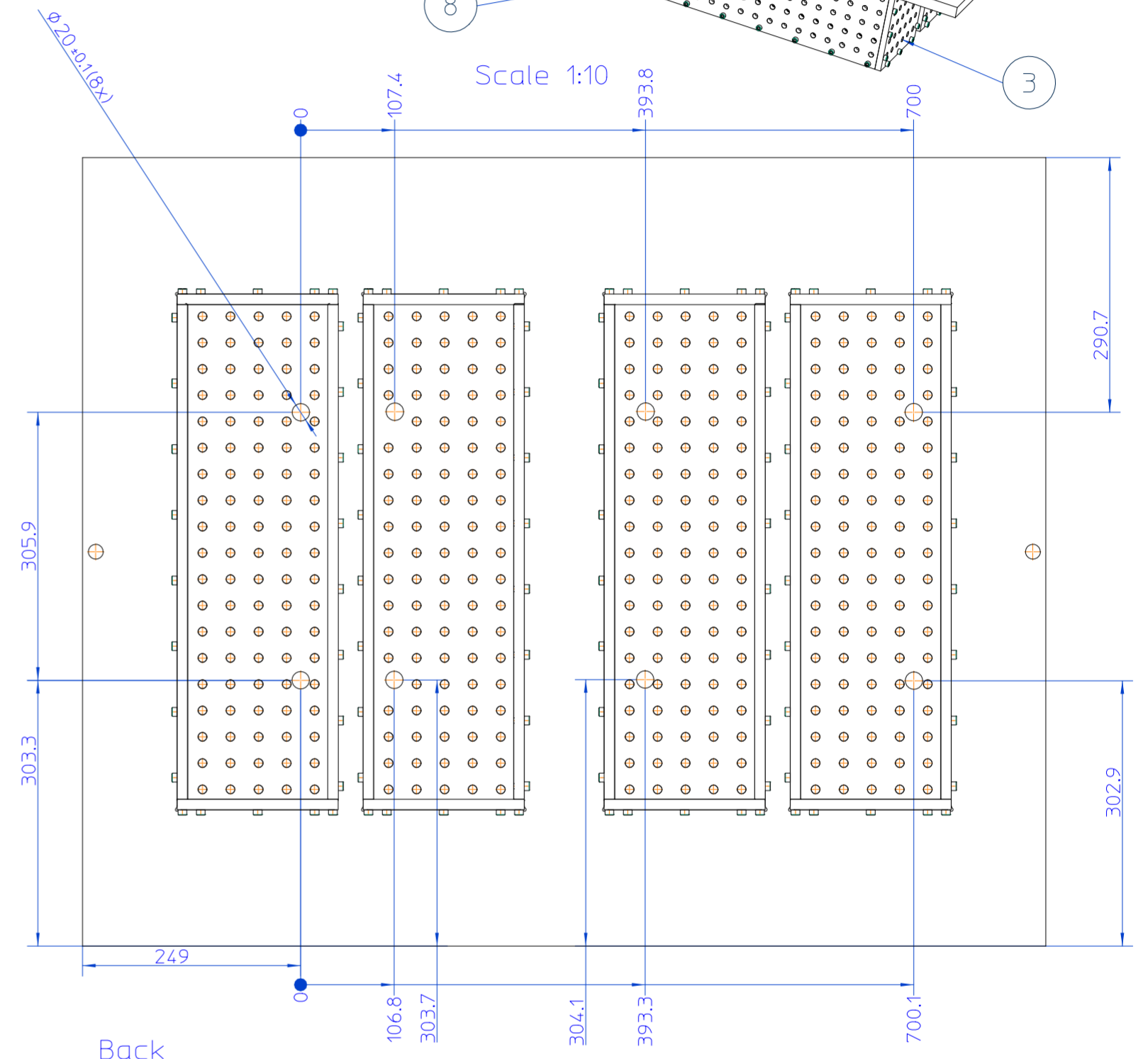
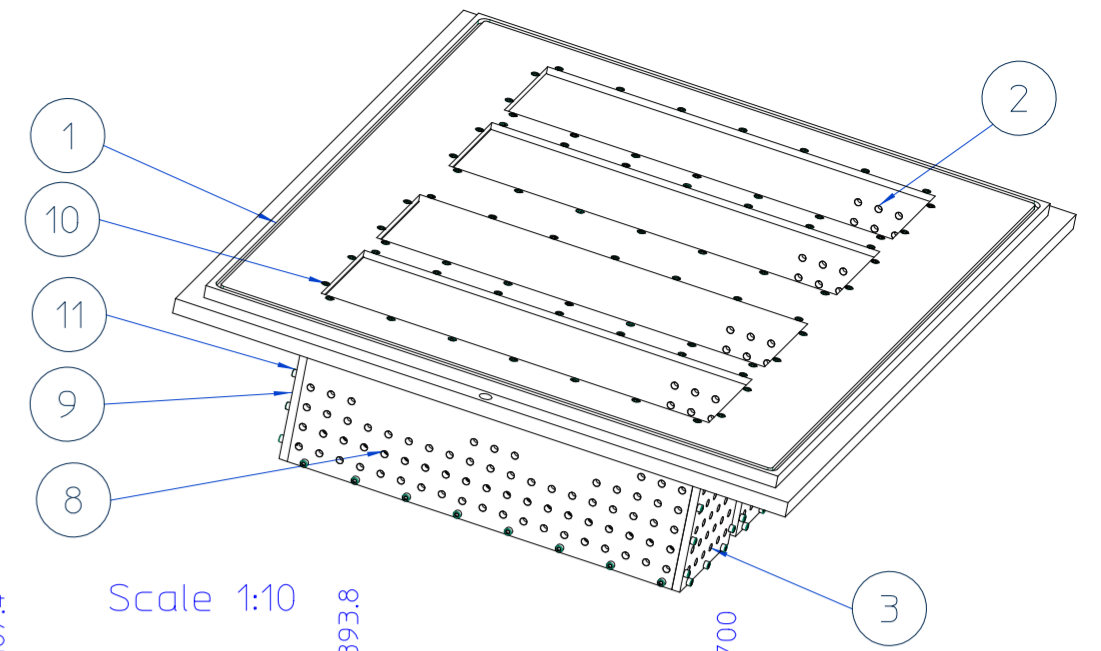


Teamwork Engineering OÜ
Kadaka tee 42f
12915 Tallinn, Estonia
www.tve.ee

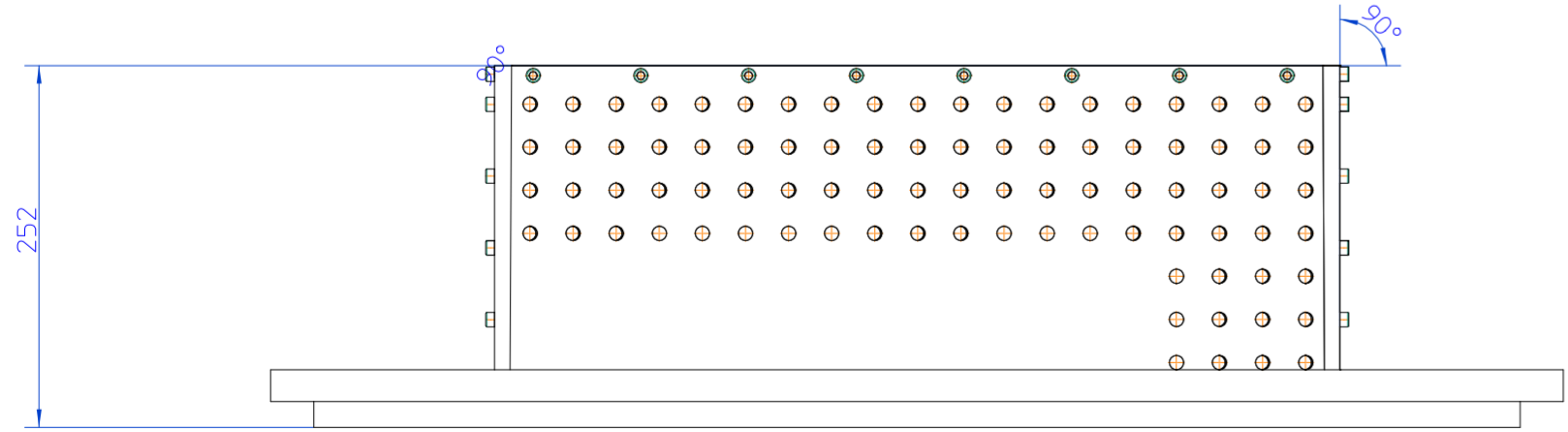
Sign/Märge	Date/Kuupäev	Description/Kirjeldus	Sektor / Section	Author/Autor
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-



Section A-A



Back



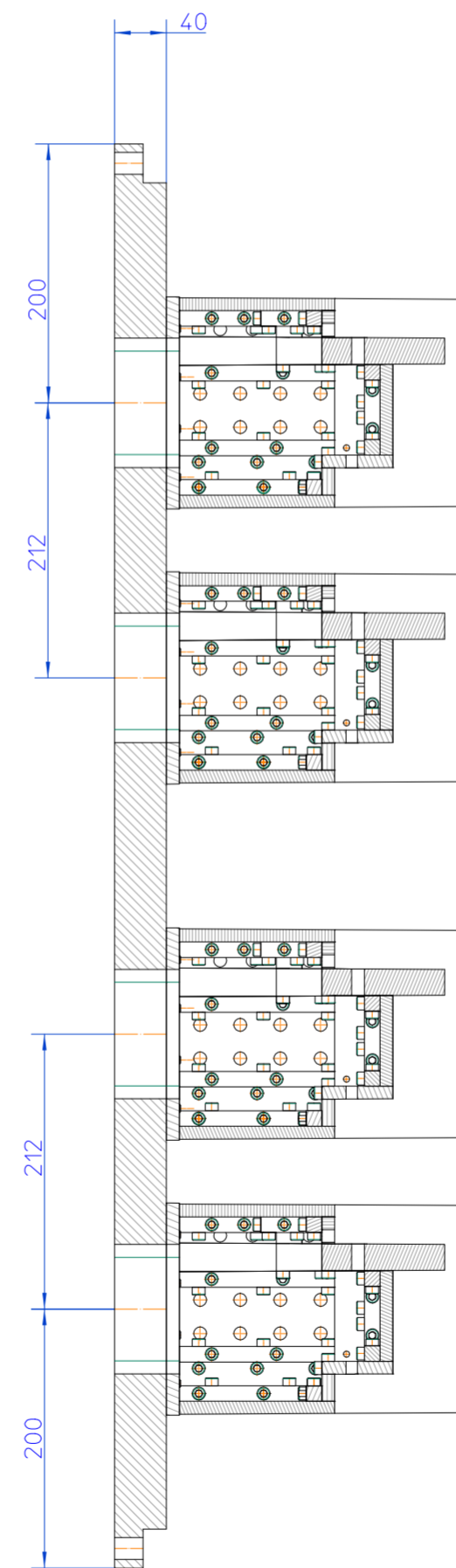
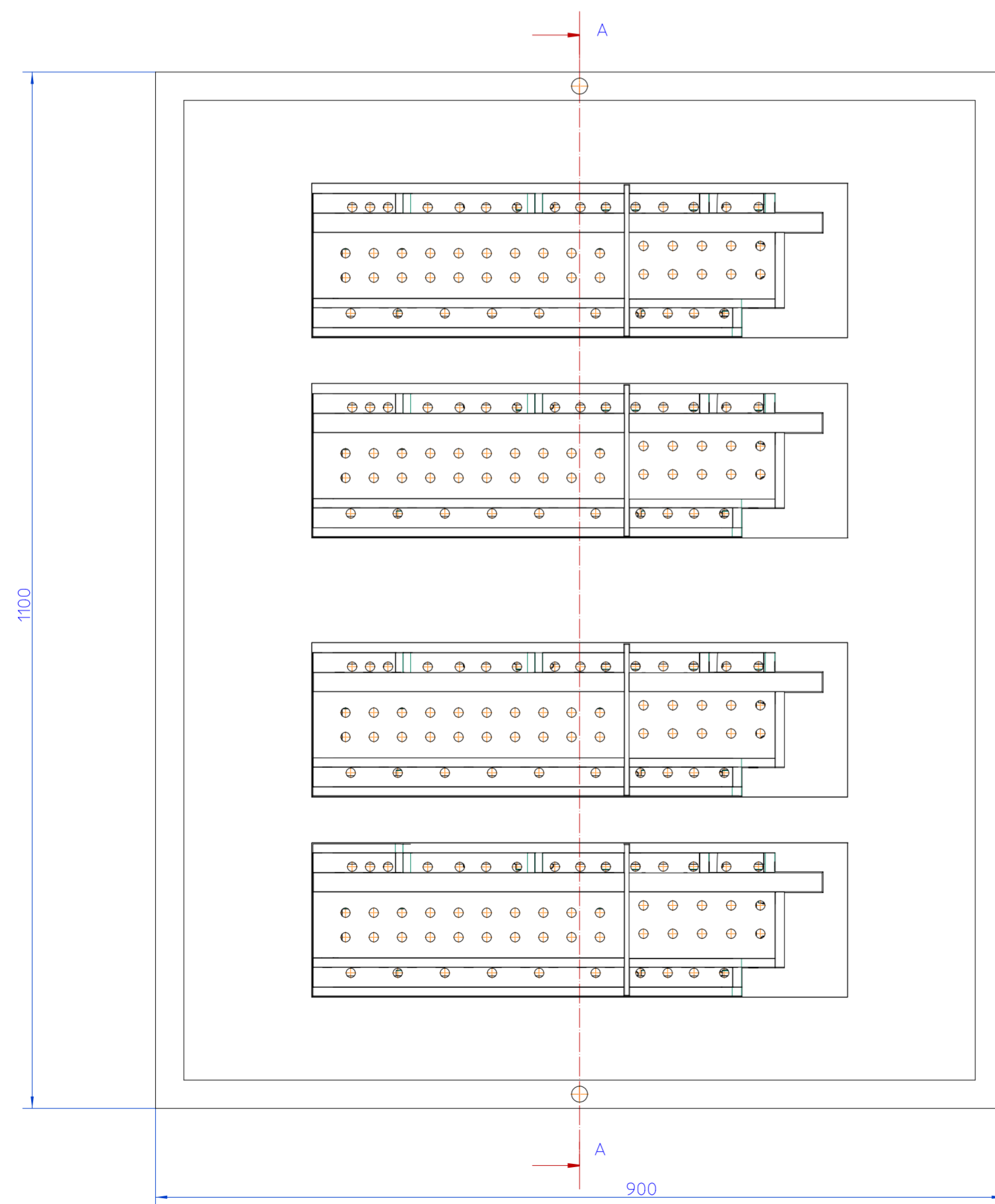
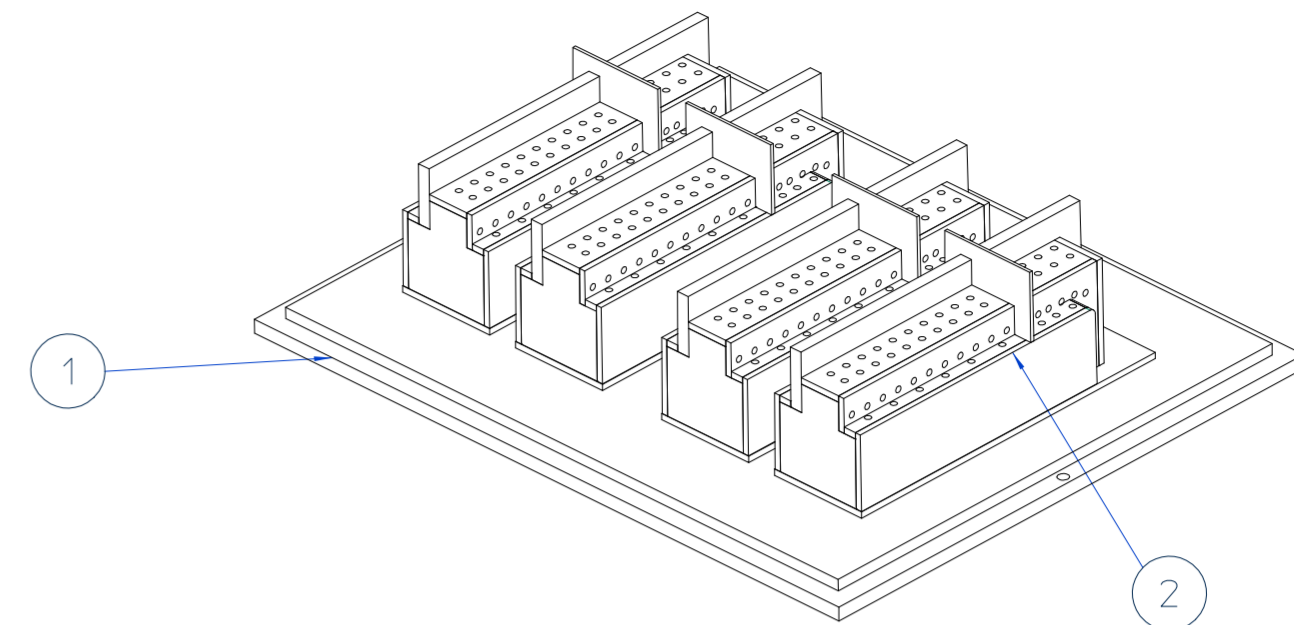
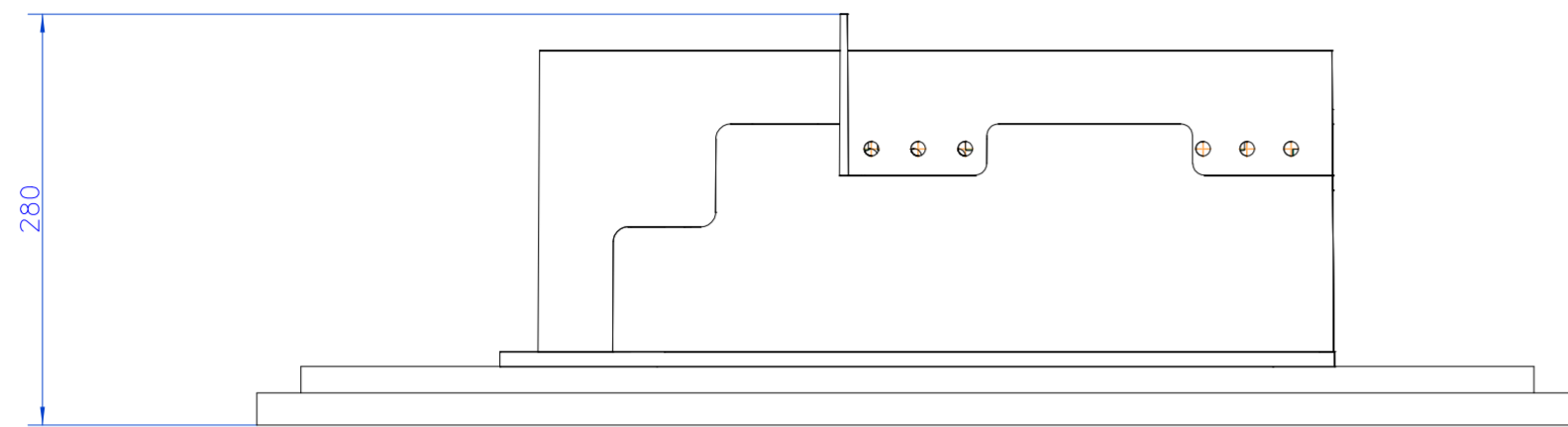
Top

Pos	Qty	Part Name	Part No.	Description	Material
11	152	DIN_912_M6x20	DIN_912_M6x20		
10	72	DIN_912_M6x16	DIN_912_M6x16		
9	4	Otsaplaat-184x242x12	006107-1009	Otsaplaat	AW5083
8	4	Külgplaat- 568x242x12	006107-1008	Külgplaat	AW5083
7	1	Põhjaplaat 4-565x160x12	006107-1007	Põhjaplaat 4	AW5083
6	1	Põhjaplaat 3-565x160x12	006107-1006	Põhjaplaat 3	AW5083
5	1	Põhjaplaat 2-565x160x12	006107-1005	Põhjaplaat 2	AW5083
4	1	Põhjaplaat 1-565x160x12	006107-1004	Põhjaplaat 1	AW5083
3	4	Otsplaat-184x242x12	006107-1003	Otsplaat	AW5083
2	4	Külgplaat-568x242x12	006107-1002	Külgplaat	AW5083
1	1	Kinnitusplaat liikuv - 1100x900x40	006107-1001	Kinnitusplaat liikuv	AW5083

Material / Mat.	Tolerants / Tol	Pind/Surf.	Proj.nr./Proj.nr.	Massi/Kg	Arv/Count	Mõõti/Scale	1:5	Format	A2
			006107	Tellijä / Cust.		Objekt/Object			
Pinna L/Treatment		Nimi/Name	Kuup./Date	AK/Sign	Nimetus / Dwg. name	Kirjeldus / Description			
	Joon./ Drawn	KP	15.01.2018		Liikuv pool	Liikuv pool			
	Kontroll./Check								
Proj./Proj first angle					Joonise nr. / Dwg. nr.	006107-1000		Leht/Sh.	1
								1	
					Fail			Ver./Rel.	1

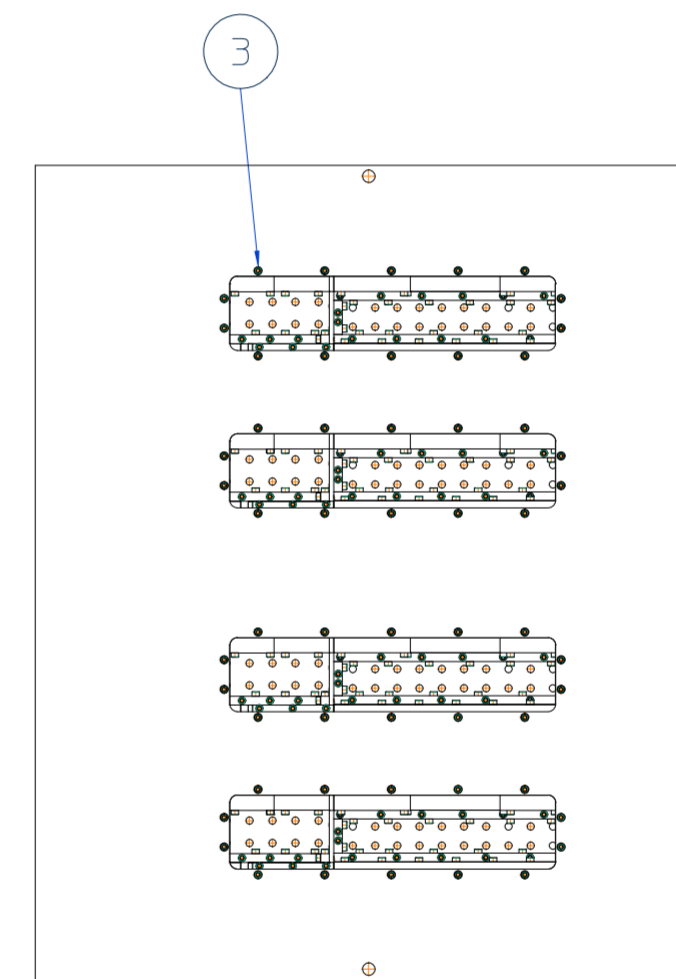


Sign/Märge	Date/Kuupäev	Description/Kirjeldus	Sektor / Section	Author/Autor
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-



Section A-A

Scale 1:10

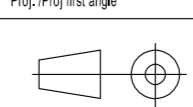


Scale 1:10

Märkused:

Kinnitusplaat ühendada pesade külge M6x45 poltidega.

3	56	DIN_912_M6x45	DIN_912_M6x45		
2	4	Seisev pesa	006107-2100		
1	1	Kinnitusplaat-1100x900x40	006107-2001		AW5083
Pos	Qty	Part Name	Part No.	Description	Material
Material / Mat.	Tolerants / Tol	PindSurf.	Proj.nr./Proj.nr.	Mass(kg)	Arv/Count
			006107	Tellijä / Cust.	Mõõti/Scale 1:5
					Format A2
Pinna L/Treatment	Nimi/Name	Kuup./Date	AK/Sign	Nimetus / Dnw. name	Objekt/Object
	Joon. / Drawn	KP	15.01.2018	Seisev pool	Kirjeldus / Description
	Kontroll./Check.				
Proj./Proj first angle				Joonise nr. / Dnw. nr.	Leht/Sh.
				006107-2000	1
					1
				Fail	Ver./Rev. 1



Teamwork
ENGINEERING

Teamwork Engineering OÜ
Kadaka tee 42f
12915 Tallinn, Estonia
www.tve.ee

006107-2000

Leht/Sh.
1

1

Ver./Rev. 1