

LAPPEENRANNAN TEKNILINEN YLIOPISTO

LUT School of Energy Systems

LUT Kone

Mikko Kiema

MEKAANINEN KARTONGIN PINNANMUOKKAUS

MECHANICAL SURFACE MODELING ON PAPERBOARD

Tarkastaja(t) Professori Juha Varis

TkT Panu Tanninen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT Energiajärjestelmät
LUT Kone

Mikko Kiema

Mekaaninen kartongin pinnanmuokkaus

Diplomityö

2017

77 sivua, 59 kuvaa, 4 taulukkoa ja 36 liitettä

Tarkastajat: Professori Juha Varis
TkT Panu Tanninen

Ohjaajat: Ville Ribu (Stora Enso)
Nina Miikki (Stora Enso)

Hakusanat: Systemaattinen koneensuunnittelu, funktionalliset pinnat, pinnanmuokkaus

Diplomityön tavoitteena tutkittiin erilaisia funktionaalisten pintojen ominaisuuksia ja sovelluskohteita ja suunnitella kartongin pinnanmuokkauksen mekaanisesti suorittava laite, joka pystyy tuottamaan funktionaalisia pintoja kartongille. Työ jakaantuu kahteen osaan: Funktionaalisten pintojen tutkimiseen kirjallisuuskatsauksena ja pinnanmuokauslaitteen suunnitteluun.

Laite suunniteltiin systemaattista koneensuunnittelun metodia käyttäen, jossa ensin laitteelle laadittiin vaatimuslista, jonka jälkeen laitteelle tehtiin toimintorakenne ja osakohtainen suunnittelu. Suunnittelun apuna käytettiin epälineaarista elementtimenetelmää selvittämään rakenteen taipumia, pinnanmuokkauksessa vaadittua pintapainetta ja sen synnyttämiseen tarvittavaa voimaa. Laitteen 3d- mallinnus ja suunnittelu tapahtuivat Solidworks-ohjelmalla.

Työn tuloksena suunniteltiin laite, joka kykenee tuottamaan sopivan suuruisen pintapaineen kartongille halutulla tuotantonopeudella. Halutunlainen funktionaalinen pintakuvio siirtyy kartongille riittävän suuren pintapaineen ja lämmön ansiosta. Kuvion painaminen kartongille toteutetaan useiden telojen avulla, telalta telalle menetelmällä. Jatkotutkimusaiheiksi työstä jää täsmällisen pintapaineen ja lämpötilan löytäminen telalta telalle suoritettavassa kartongin pinnanmuokkauksessa.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Mikko Kiema

Mechanical surface modeling on paperboard

Master's thesis

2017

77 pages, 59 figures, 4 tables, 36 appendices

Examiners: Professor Juha Varis
D. Sc. (Tech) Panu Tanninen

Instructors: Ville Ribu (Stora Enso)
Nina Miikki (Stora Enso)

Keywords: Systematic machine design, Functional surfaces, surface modification

The aim of this thesis were to research the properties and applications of different functional surfaces and to design a mechanical surface-modeling machine that is capable of producing functional surfaces for cardboard. The work is divided into two parts: the study of functional surfaces as a literature review and the design of a surface modeling device.

The device was designed using a systematic machine design method, where a requirement list was first created for the device, after which a machine functional structure and part-designs were made. The nonlinear element method was used to design the bending of the structure, the surface pressure required for surface conversion and the force required to produce it. The 3D modeling and design of the device was done with Solidworks.

As a result of the work, plans for the device was designed that was able to produce a suitable surface pressure on the board at the desired production speed. The desired functional surface texture is transferred to the board due to the high surface pressure and heat. Printing the pattern on the board is accomplished by means of a number of rollers, in the roll-to-roll method. For further research on the subject there is to find the exact surface pressure and temperature for the roll-to-roll micropatterning

ALKUSANAT

Haluan kiittää Lappeenrannan teknillisen yliopiston ohjaajia TkT Panu Tannista ja professori Juha Varista työn ohjauksesta ja neuvoista työn aikana. Kiitos myös Stora Enson ohjaajille Ville Ribulle ja Nina Miikille, sekä muilla Stora Enson työntekijöille jotka ovat projektiin vaikuttaneet tai siitä vastanneet. Kiitos myös pakkaustekniikan muulle väelle, jotka ovat kerenneet auttamaan minua muiden töidensä ohella.

Suuri kiitos myös ystävilleni, joiden kanssa olen viettänyt tämän seitsemän vuotta yliopistolla. Erityisesti maailmanparannus hetket kahvilla auttoivat jaksamaan opiskelussa ja monena kertana myös auttoivat ratkaisemaan ongelmia erilaisissa projekteissa. Kiitos myös ystävilleni koulun ulkopuolelta, joiden kanssa olen viettänyt monet hauskat illat ja jotka ovat omalta osaltaan auttaneet jaksamaan opiskelujen aikana. Opiskeluaikani lähestyy loppuaan ja työelämä odottaa, mutta kaikkien teidän kanssanne tapaamme varmasti vielä jatkossakin.

Lopuksi suurimmat kiitokset vanhemmilleni ja veljilleni, jotka ovat tukeneet ja kannustaneet minua läpi opiskeluaikani.

Mikko Kiema

Mikko Kiema

Lappeenrannassa 29.8.2017

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO

1	JOHDANTO	9
1.1	Tutkimusongelma	11
1.2	Tutkimuskysymykset	11
1.3	Tavoitteet ja rakenne	11
1.4	Rajaus.....	11
1.5	Metodit.....	11
1.6	Funktionaaliset pinnat.....	12
1.6.1	Funktionaaliset pinnat luonnossa	12
1.6.2	Kontaktikulma.....	13
1.6.3	Hydrofobisuus/hydrofiilisyyt, itsestään puhdistuvuus	15
1.6.4	Hydrofobisen pinnan muodostuminen.....	15
1.6.5	Pintojen adhesiivisuus.....	17
1.6.6	Kitkan ja virtausvastuksen vähentäminen	19
1.6.7	Pinnan heijastavuus	21
1.7	Seos vahvikkeet – Filler reinforcement	23
1.8	Pintojen mekaaninen mikrotason muokkaaminen	23
1.8.1	Kohokuviointi – embossing	23
1.8.2	Hot Embossing.....	24
1.9	Hot embossing – kohokuviointi.....	25
1.9.1	P2P.....	25
1.9.2	R2P ja R2R.....	25
1.10	Pintapaineen määrittäminen	26
1.11	Pinnan kuviointi.....	27
2	MENETELMÄT.....	30

2.1	Telan kuvioinnin hinta	30
2.2	Telan induktiolämmitys	30
2.3	ANSYS Workbench	32
2.4	FEM-mallinnus	32
2.5	Solidworks	34
2.6	Telojen mallintaminen	34
2.7	Laitteen suunnittelu	38
2.7.1	Vaatimuslistan laatiminen	39
2.7.2	Abstrahointi	40
2.7.3	Toimintorakenteen laatiminen	41
2.7.4	Ratkaisuvaihtoehtojen luominen osatoiminnoille	43
2.7.5	Pintapaineen tuottaminen	43
2.7.6	Tarvittavan voiman määrittäminen ja telojen taipumien minimointi	44
2.7.7	Työkalun lämmittäminen	48
2.7.8	Laitteen toimiminen osana isompaa koneistoa	49
2.7.9	Laitteen linjaus	50
2.7.10	Kuviotelan pyörittäminen	52
2.7.11	Puristusvoiman tuottaminen	53
2.8	Ideamatriisi	53
3	TULOKSET	56
3.1	Ratkaisuvaihtoehtojen arviointi ja valinta	56
3.2	Laitteen rakenne	58
3.3	Osatoimintojen jatkokehitys	59
3.3.1	Rungon yläosa	59
3.3.2	Rungon alaosa	63
3.3.3	Moottori ja hammashihnavälitys	65
3.3.4	Ulkopuolinen induktiolämmitys	67
3.3.5	Linjaus ja korkeussäätö	69
3.4	Valmis laite	70
4	TULOSTEN ANALYSOINTI	72
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	74

LIITE I-II Induktiolämmityksen tekniset tiedot ja alustava tarjous

LIITE III Moottorin vääntömomentti ja teho

LIITE IV Hammashihnanpituus ja hammasluku

LIITE V Ostettavien osien osaluettelo

LIITE VI-VII Valmistettavien osien osaluettelo

LIITE VIII-XXXVI Valmistettavien osien valmistuspiirustukset

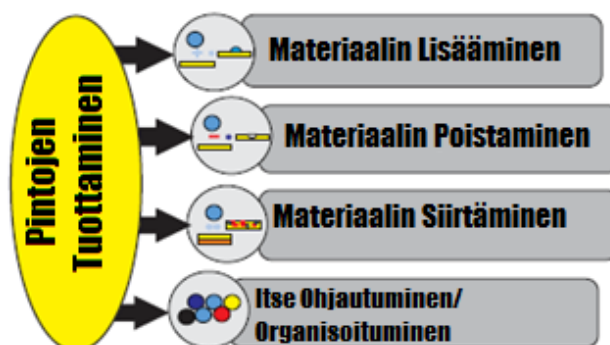
SYMBOLILUETTELO

A	Pinta-ala [m ²]
a	Ulokkeiden leveys [m]
b_u	Ulokkeiden etäisyys toisistaan [m]
b	Kahden telan kosketuspinta-ala [m ²]
C	Nesteen ja pinnan kontaktialue [m ²]
DOF	Vapausaste
E	Kimmokerroin
F	Voima [N]
H	Ulokkeiden korkeus [m]
K_n	Kontaktin jäykkyys [N]
KV	Kiinteä vaatimus
L	Kontaktin pituus [m]
$nippi$	Kahden telan kosketuspinta-ala
p	Paine [Pa]
R	Säde [m]
T	Toive
ν	Poissonin kerroin
VV	Vähimmäisvaatimus
W	Karhennetun ja kostutetun alueen suhde
γ_{sg}	Kiinteän faasin (s) ja kaasufaasin (g) välinen pintajännitys [N/m]
γ_{sl}	Kiinteän faasin ja nestefaasin välinen (l) pintajännitys [N/m]
γ_{lg}	Nestefaasin ja kaasufaasin välinen pintajännitys [N/m]
X_p	Painautumisen syvyys [m]
θ_i	Ominaiskontaktikulma [°]
θ_i^c	Cassie-tilan ominaiskontaktikulma [°]

1 JOHDANTO

Luonto on käyttänyt mikro ja nano mittakaavan pinnanmuotoja hyväkseen saavuttaakseen haluttuja mekaanisia ominaisuuksia jo kauan ennen kuin ihminen alkoi huomaamaan tällaisten pintojen hyödyn. Tällaisia pintoja kutsutaan funktionaaliseksi eli toiminnallisiksi pinnoiksi, joilla pyritään saavuttamaan tiettyjä mekaanisia ominaisuuksia, kuten mm. hydrofobisuutta, itsestään puhdistuvuutta ja matalakitkakertoimisia tai heijastamattomia pintoja. Luonnosta löytyy laaja kirjo maa- ja vesi eläimiä, kasveja ja bakteereja jotka ovat miljoonien vuosien aikana kehittäneet näitä ominaisuuksia, joita nyt tutkimalla pystytään kehittämään uudenlaisia pintoja, pintaominaisuuksia ja tuotteita. Tunnetuimpia esimerkkejä tällaisista kasveista ja eläimistä on Lotus – kasvin vettä hylkivät lehdet ja gekko – liskon, jopa lasipinoille tarttuvat jalat. (Bhushan, Yong Chae 2010, s. 3)

Kartongin pinnan funktionaalisuuden lisäämistä ja parantamista on viime vuosikymmenenä dominoinut laminointi sen halvan tuotannon ja materiaalien helpon saatavuuden ansiosta. Kuitenkin yhä lisääntynyt tietoisuus ympäristöystävällisyydestä ja sen markkina-arvosta on pakottanut kartongin valmistajat etsimään yhä uusia kohteita ja tapoja käyttää kartonkia. Etenkin ruokateollisuudessa kartongilla pyritään korvaamaan muovipakkaukset, ympäristöystävällisenä vaihtoehtona. Tällöin tarvitaan helposti avattavia ja uudestaan suljettavia pakkauksia, joiden vaatimukset terveellisyyteen ja hygieenisyyteen ovat korkealla. Haasteena onkin kehittää uusia tapoja tuottaa funktionaalisia pintoja, jotka ovat ekologisesti ja funktionaalisesti kilpailukykyisiä nykyisten menetelmien kanssa (Andersson 2008, s. 1). Funktionaalisten pintojen tuottaminen voidaan jakaa karkeasti neljään eri toimintatapaan, jotka nähdään kuvassa 1.



Kuva 1. Pintojen tuottaminen (Hisham 2016, s. 7).

Materiaalin lisääminen tapahtuu yleensä päällystämällä tai tulostamalla tasaisia tai kuvioituja pintoja (esim. mustesuihkutulostus, plasmapäällystys, kemiallinen kaasufaasikasvatus ym.), pintaa voidaan muokata myös kemiallisesti. Materiaalin poistaminen tai muovaaminen vaatii pinnan fyysistä muokkaamista kuten litografiaa, syövyttämistä (etching), valamista, tai kohokuviointia (embossing). Jossain tapauksissa pinnan molekyylien muokkaaminen ja niihin vaikuttaminen (esim. säteilyllä) voi luoda itse organisoituvia tasoja. Yleensä kuitenkin usean eri menetelmän yhdistäminen on käytännöllisesti järkevää. Vaihtoehtojen valintaa ohjaavat ensisijaisesti pinnalta vaadittavat ominaisuudet ja tuotantokulut. (Hisham 2016, s. 7)

Tämä diplomityö tutkii mahdollisuutta tuottaa funktionaalisia pintoja mekaanisesti kartongille ja työssä keskitytään ensisijaisesti materiaalia siirtäviin menetelmiin, kuten kohokuviointi(embossing) tekniikkaan. Kohokuviointi soveltuu kartongille parhaiten, koska joissain kartonkilaaduissa oleva muovipinta on hyvin ohut ja sen leikkaaminen tai muulla tavalla materiaalin poistaminen olisi vahingollista kartongille.

Työn tehdään Stora Enson Imatran tutkimuskeskukselle. Stora Enso perustettiin 1998, kun Enso Oyj ja Stora Kopparbergs yhdistyivät. Stora Enso tuottaa pakkausmateriaaleja, biomateriaaleja, puutuotteita ja paperia ja toimittaa niitä maailmanlaajuisesti. Stora Enson Imatran tehtailla tuotetaan pääasiassa sellua, nestepakkauskartonkia ja paperia.

1.1 Tutkimusongelma

Tutkimuksen tutkimusongelmaksi muodostuu sopivan menetelmän löytäminen tuottamaan funktionaalisia pintoja kartongille. Työn tarkoituksena on suunnitella laite, joka toimintavarma ja jonka työkalujen vaihtaminen olisi mahdollisimman helppoa.

1.2 Tutkimuskysymykset

Tutkimuskysymykset on johdettu tutkimusongelman avulla ja niillä pyritään selkeyttämään työltä haluttuja tavoitteita. Tutkimuskysymykset ovat seuraavat.

- Mitä ominaisuuksia voidaan saavuttaa pintaa mekaanisesti muokkaamalla?
- Mitä käytännön sovelluksia näillä ominaisuuksilla voidaan saavuttaa?
- Mitä pinnoille on mekaanisesti tehtävissä ja miten kopioitavaa se on?
- Mitä vaaditaan pintoja muokkaavalta laitteelta?

1.3 Tavoitteet ja rakenne

Työn tavoitteena on tutkia mekaanisesti muokkaamalla tuotettujen funktionaalisten pintojen ominaisuuksia ja minkälaisia sovelluksia on. Työssä tutkitaan myös mitä mekaanisia muokkaustapoja pinnoille on mahdollista hyödyntää. Tutkimuksen lisäksi suunnitellaan muokkauslaite, jolla on tarkoitus tuottaa funktionaalinen mikropinta muokkaamalla kartongin pintaa.

1.4 Rajaus

Työ rajataan koskemaan vain muokkauslaitteen suunnittelua ja valmistuspiirustusten tekemistä, jättäen laitteen valmistuksen ja testauksen mahdollisiin jatkotutkimuksiin.

1.5 Metodit

Työ aloitetaan kirjallisuuskatsauksella funktionallisista pinoista mekaanisista muokkauslaitteista, joilla niitä voisi tuottaa. Tutkimuksen perusteella valikoidun laitteen suunnittelussa käytetään systemaattista koneensuunnittelumetodia eli suunnittelun apuna käytetään vaatimuslistaa, jonka perusteella luodaan ideamatriisi mahdollisista toteutustavoista. Laitteen suunnittelussa ja osien mallinnuksessa käytetään SolidWork 3d-mallinnusohjelmaa ja Ansyksen FEM-mallinnusta.

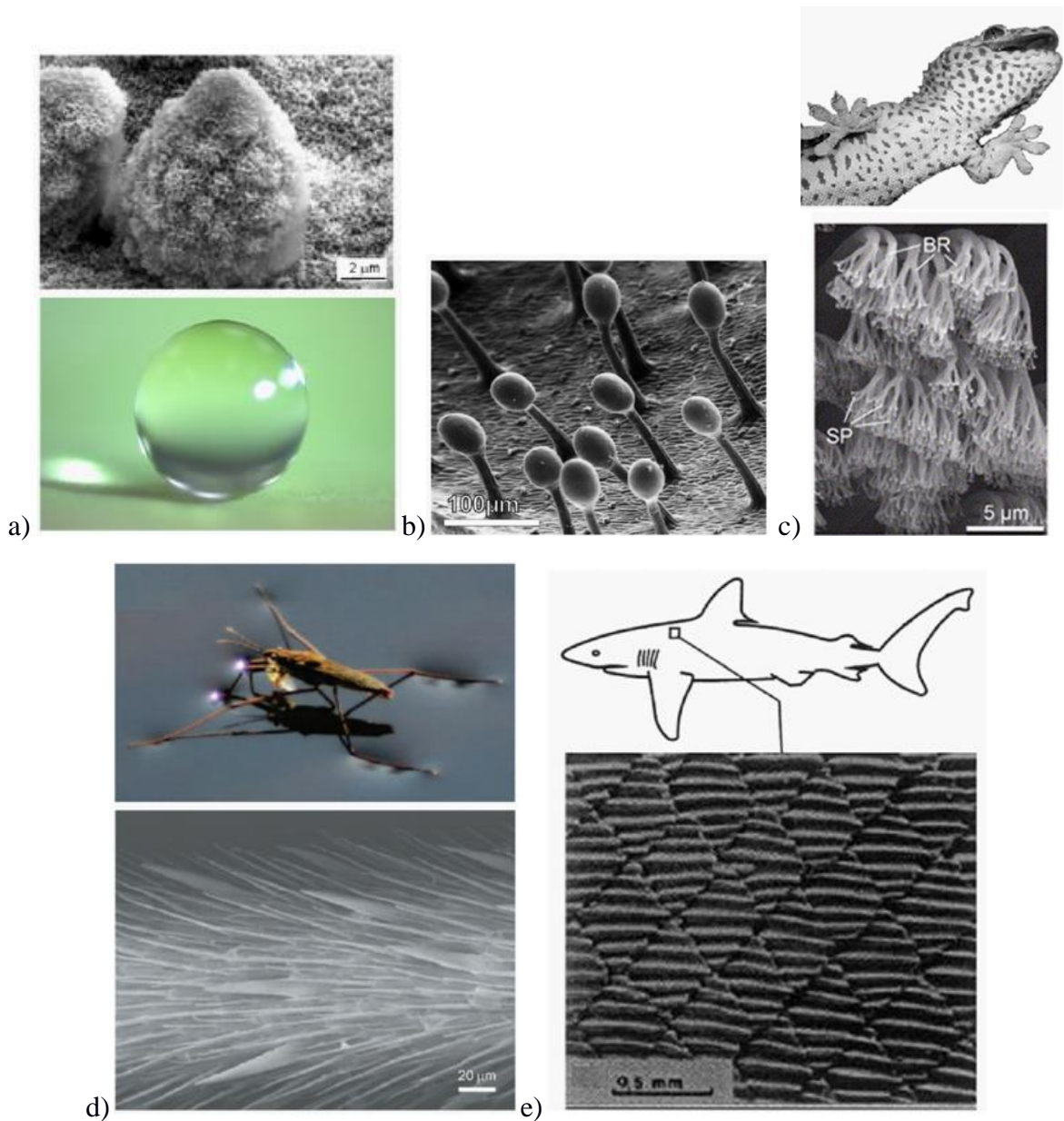
1.6 Funktionaaliset pinnat

Funktionaaliksi pinnoiksi kutsutaan pintoja, joilla on pyritty saavuttamaan haluttuja teknisiä ominaisuuksia, kuten vettä hylkivyyttä, kitkan vähentämistä, itsepuhdistuvuutta, matalaa tai korkeaa adheesiota ym. Nämä ilmiöt saadaan aikaan erilaisilla pinnanmuodoilla, jotka ovat kokoluokaltaan vain mikro- ja nanometrejä. Seuraavat kappaleet selventävät mitkä mekaaniset tekijät vaikuttavat erilaisiin pinnan ominaisuuksiin ja miten luonto ja tekniikka ovat käyttäneet niitä hyväkseen. Lisäksi tarkastellaan kohokuviointia, pintapaineen muodostumista ja sen mallintamista sekä metallipintojen kuviointia.

1.6.1 Funktionaaliset pinnat luonnossa

Monet nykypäivän funktionaalista pinnoista on kehitetty jäljittelemällä luonnon kasvien ja eläimien selviytymismenetelmiä. Lotus – kasvin lehdet ovat hyvä esimerkki, sillä niiden superhydrofobinen pinta on todella vettä hylkivää ja itsestään puhdistuvaa, puhutaan niin sanotusta lootusefektistä. Lotus lehtien pinnanominaisuudet syntyvät lehtien pinnalla olevan vahakerroksen mikroskooppisten nystyröiden avulla (Kuva 2, a). Nystyrät luovat lehden pinnalle topografialtaan hyvin karkean pinnan, jolloin pinnan ja lian väliin jää pieniä ilmataskuja, jotka estävät lian tarttumisen lehden pinnalle. Myös muut kasvit käyttävät funktionaalisia pintoja hyväkseen esim. jotkin lihansyöjäkasvit pyydystävät hyönteisiä tahmeiden tai luistavien pintojen avulla. (Bhushan, Yong Chae 2010, s. 3)

Funktionaalisten pintojen hyötyjä voi huomata myös monissa eläimissä. Gekko voi kiivetä ja laskeutua lähes pystysuoria seinämiä sen jaloissa olevien lukemattomien pienien oksamaisten ulokkeiden ansiosta, jotka luovat hyvin adheesioisen pinnan (Kuva 2, c). Vesimittari voi kävellä veden päällä kastumatta, sillä sen jalat ovat mikroluokan karvojen vahakerroksen peitossa (Kuva 2, d). Hain nahka koostuu pienistä suomumaisista kuviosta, jotka vähentävät veden virtauksesta johtuvaa kitkaa ja turbulenssia. (Kuva 2, e). (Bhushan, Yong Chae 2010, s. 3)



Kuva 2. a) Lotus lehden pinta, b) lihansyöjäkasvin tarttuvat ”kynnet”, c) geckon jalat, d) vesimittarin jalat veden pinnassa, e) Hain nahka (Bhushan, Yong Chae 2010, s. 4).

1.6.2 Kontaktikulma

Pinnan kostumista kuvaavaa parametria kutsutaan staattiseksi kontaktikulmaksi. Kontaktikulma määritetään kulmasta, jonka nesteen pisaran tangenti muodostaa kohtaamansa pinnan kanssa. Kontaktikulman suuruus riippuu useista eri tekijöistä, mitkä ovat pinnan energia, pinnankarheus, ja sen pinnan puhtaus. Nesteen kostuttaessa pinnan on kontaktikulman oltava välillä $0 \leq \theta \leq 90^\circ$, pinnan hylkiessä vettä kontaktikulma on välillä

$90 \leq \theta \leq 180^\circ$. kontaktikulman ollessa 0° pinta on täysin kostunut. (Bhushan, Yong Chae 2010, s. 5)

Kontaktikulman voi karkeasti arvioida myös kostutetun pinnan pisaran muodoista. Kontaktikulman kasvaessa yli 90° :teen pisara alkaa kuroutua ”helmen” kaltaiseksi. Kontaktikulman ollessa alle 90° pisara alkaa lässähtää ja levitä pinnalle kulman pienuudesta riippuen. Kontaktikulman suuruuden vaikutus pisaran muotoon nähdään kuvassa 3. (Bhushan, Yong Chae 2010, s. 5)

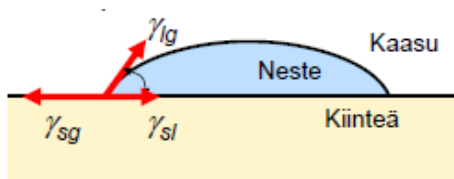


Kuva 3. Kontaktikulman vaikutus pisaran muotoon (Vieno 2013).

Kontaktikulma lasketaan tasapainotilanteessa, kun systeemin energia ei enää muutu pinta-alan kasvaessa, eli jolloin pisaran muoto ei enää muutu. Kontaktikulma lasketaan kaavalla 1, joka tunnetaan Young’in yhtälönä. (Österberg 2016, s. 3)

$$\gamma_{sg} = \gamma_{sl} + \gamma_{lg} \cos \theta \quad (1)$$

Jossa γ_{sg} on kiinteän faasin (s) ja kaasufaasin (g) välinen pintajännitys, γ_{sl} kiinteän faasin ja nestefaasin välinen (l) pintajännitys ja γ_{lg} nestefaasin ja kaasufaasin välinen pintajännitys. Kulmien välinen yhteys nähdään kuvassa 4.



Kuva 4. Kontaktikulmaan vaikuttavat voimat (Österberg 2016, s. 3).

1.6.3 Hydrofobisuus/hydrofiilisyyys, itsestään puhdistuvuus

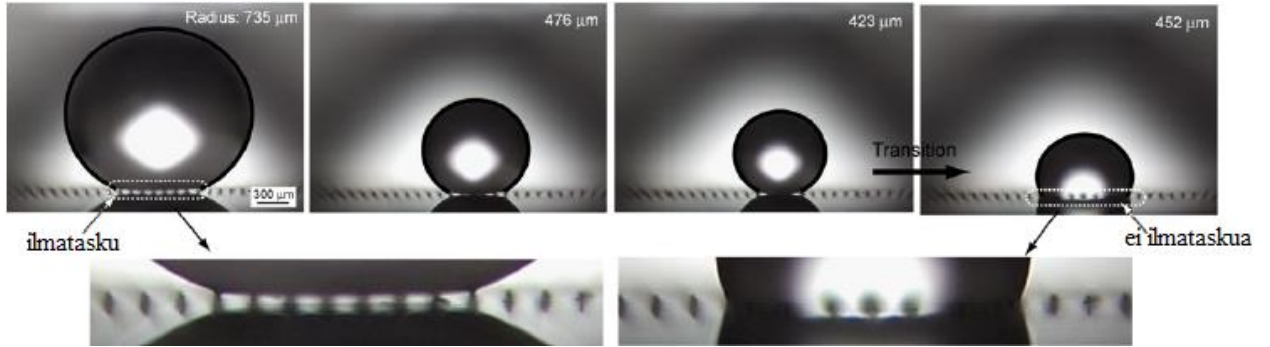
Sana ”hydro” tulee kreikasta ja tarkoittaa vettä, jolla kuvataan pinnan kostumista millä tahansa nesteellä. Pintoja joiden kontaktikulma on yli 90° , kutsutaan hydrofobiseksi kun taas alle 90° kontaktikulmaisista pintoja kutsutaan hydrofiiliseksi. Kontaktikulman ollessa yli 150° puhutaan superhydrofobisesta pinnasta, kontaktikulman taas ollessa alle 10° puhutaan superhydrofiilisestä pinnasta. Suuren kontaktikulman lisäksi superhydrofobisella pinnalla on oltava myös hyvin matala kontaktikulman hystereesi, jolloin pisaroiden vuorovaikutus pinnan kanssa jää hyvin vähäiseksi. Kontaktikulman hystereesiin vaikuttaa pinnankarheus ja sen heterogeenisuus. Matala kontaktikulman hystereesi vaikuttaa pisaroiden poisvierintäkulmaan. Näin ollen jo pieni kallistus saa pisarat vierivät pinnalta pois. Pyöriessään pisarat pyyhkivät pintaa poistaen samalla likapartikkeleita, jolloin pinnasta tulee itsepuhdistuva. Kontaktikulman hysterial ollessa alle 10° pintaa kutsutaan yleensä itsestään puhdistuvaksi. Itsepuhdistuvuutta on käytetty hyödyksi monissa tekniikan sovelluksissa, kuten auton tuulilaseissa, ikkunoissa, maalipinnoissa, tekstiileissä, aurinkokennoissa ym. (Bhushan, Yong Chae 2010, s. 5, s. 19)

1.6.4 Hydrofobisen pinnan muodostuminen

Luonnossa pintojen funktionallisuuteen vaikuttaa yleensä pinnakuviointi ja mahdollisesti jonkinlainen kemiallinen yhdiste, esim. vahakerros vahvistamaan pinnan toimintaa. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on kuitenkin tuottaa funktionaalisia pintoja kartongille puhtaasti mekaanisesti ilman lisäkemikaaleja tai pinnoitteita, joten nyt tarkastellaan lähemmin funktionaalisten pintojen mekaanisia rakenteita. Rakenteellisesti pintojen funktionallisuuden saa aikaan erilaiset pinnanmuodot mikro- ja nanotasossa, jossa pinnanmuodot vaikuttavat esim. kontaktikulman suuruuteen tai kitkan syntymiseen. (Kwon, Patankar, Choi, Junghoon 2009, s 1)

Funktionalliset pinnat muodostuvat erilaisista mikroskooppisista ulokkeista, joiden koolla ja välimatkalla toisiinsa on suuri merkitys pinnan ominaisuuksien muodostumisessa. Samanlaisilla pinnanmuodoilla voi olla hankala saavuttaa useampia eri ominaisuuksia, mutta esim. suuresti hydrofobiset pinnat ovat myös yleensä hyvin matala adheesioisia. Hydrofobinenkin pinta voi kuitenkin käyttäytyä eri tavoin riippuen pinnankarheudesta, niinpä oikeanlaisen pinnan hierarkian suunnittelu on tärkeää. Pinta on hydrofobinen kontaktikulman ollessa yli 90° , mutta neste voi silti täyttää karheen pinnan tai ”helmiytyä”

sen päälle. Nesteen täyttäessä pinnankarheudet puhutaan Wenzel-tilasta. Nesteen jäädessä pisarana pinnan päälle ”helmenä” puhutaan Cassie-tilasta. Sekä Cassie- että Wenzel-tilat esitetään kuvassa 5, jossa haihtuminen aiheuttaa pisaran siirtymisen Cassie-tilasta Wenzel-tilaan 60 s aikana. (Kwon, Patankar, Choi, Junghoon 2009, s 1)



Kuva 5. Haihtumisen aiheuttama pisaran siirtyminen Cassie-tilasta Wenzel-tilaan (Bhushan, Yong Chae 2010, s. 57).

Cassie-tilassa pisaran alle jää ilmatasku, joka erottaa pisaran melkein kokonaan pinnalta. Juuri Cassie-tilassa nesteellä on pinnan kanssa hyvin matala kontaktikulman hysteria. Sekä Wenzel-tilan, että Cassie-tilan malleille on kummallekin mahdollista laskea oma kontaktikulma. Wenzel-tilan kontaktikulma θ_i^W lasketaan karhennetun alueen ja kostutetun alueen suhteen funktiona, kaavalla. (Kwon, Patankar, Choi, Junghoon 2009, s 1)

$$\cos\theta_i^W = W \cos\theta_i \quad (2)$$

Jossa W on karhennetun alueen ja kostutetun alueen suhde ja θ_i ominaiskontaktikulma. Cassie-tilan kontaktikulma θ_i^C taas lasketaan pinnan ja nesteen kontaktialueen avulla, kaavalla.

$$\cos\theta_i^C = C \cos\theta_i - (1 - C) \quad (3)$$

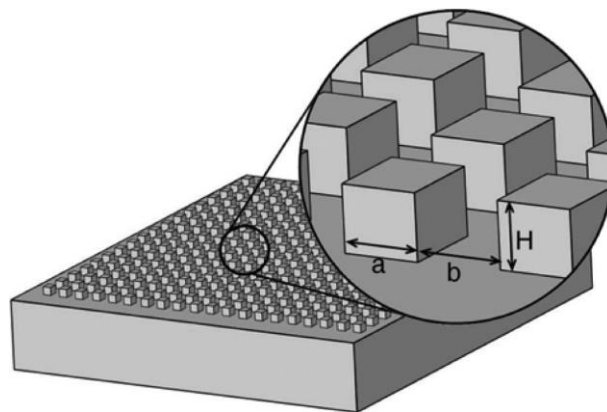
Jossa C on nesteen ja pinnan kontaktialueen osuus. Jos pinnankarheus on ilmaistu neliömäisillä ulokkeilla, kaavat 2 ja 3 voidaan ilmaista myös muodossa.

$$W = 1 + 4C/\left(\frac{a}{H}\right) \quad (4)$$

$$C = 1/\left(\frac{b_u}{a} + 1\right)^2 \quad (5)$$

Jossa a on ulokkeiden leveys, b_u niiden etäisyys toisistaan ja H korkeus, kuvan 6 mukaisesti. Yhdistämällä nämä yhtälöt saadaan pinnan ulokkeiden etäisyyden ja korkeuden suhteen laskemiseen kontaktikulman ja ulokkeiden korkeuden avulla, kaavalla 6. (Kwon, Patankar, Choi, Junghoon 2009, s 2)

$$b_u/a = \sqrt{-\frac{4\cos\theta_i}{(\cos\theta_i + 1)(a/H)} - 1} \quad (6)$$



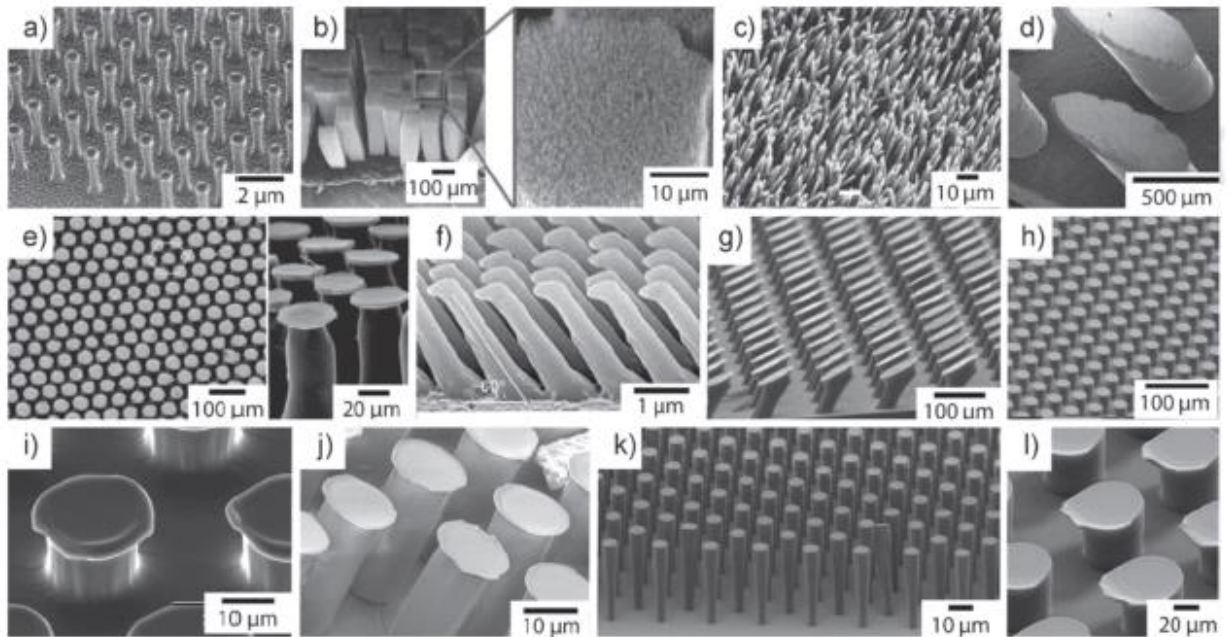
Kuva 6. Pylväiden jaotus (Kwon, Patankar, Choi, Junghoon 2009, s 2)

1.6.5 Pintojen adhesiivisuus

Adhesiivisuudella tarkoitetaan nesteen tai pinnan partikkeleiden kykyä kytkeytyä toisiinsa. Matala adhesiivisiin pintoihin ei tartu helposti yleensä mikään, jolloin myös vesipisarot vierivät pinnalta helposti pois. Itsepuhdistuvat pinnat ovat siis aina myös hyvin vähän adhesiivisia. Korkea adhesiiviset pinnat ovat taas helposti tarttuvia, kuten esimerkiksi juuri gekon jalat tai huomattavasti selvemmin karkeakuvioiset tavalliset tarranauhat. (Grossiord 2016, s. 306)

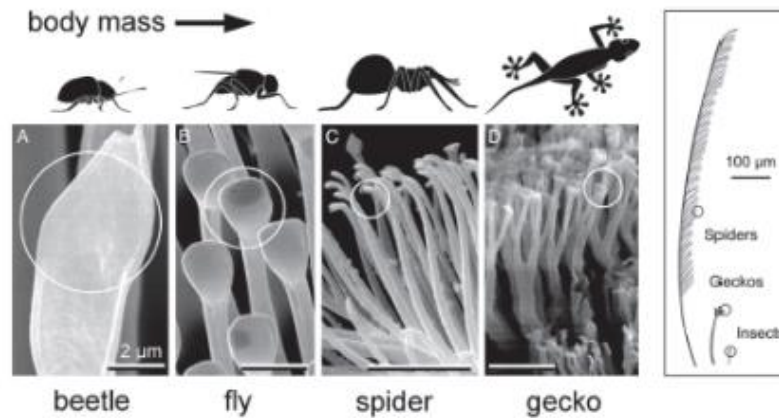
Luonnossa adheesioon vaikuttavia tekijöitä yleensä ovat mikroskooppisten ulokkeiden koko, muoto ja kuinka tiheästi ne peittävät kosketuksessa olevan pinnan. Varsinkin

ulokkeiden muodolla on suurempi vaikutus adheesioon kuin niiden koolla. Esimerkiksi sieni tai lastamaiset ulokkeet tuottavat kymmeniä kertoja suuremman adheesiovaikutuksen kuin tasapäiset ulokkeet. Myös ulokkeiden päiden muoto itsessään vaikuttaa adheesion laatuun, kuvassa 7 esitellään erilaisia adheesiivisiä pintoja ja pinnanmuodostustapoja. (Hisham 2016, s. 17)

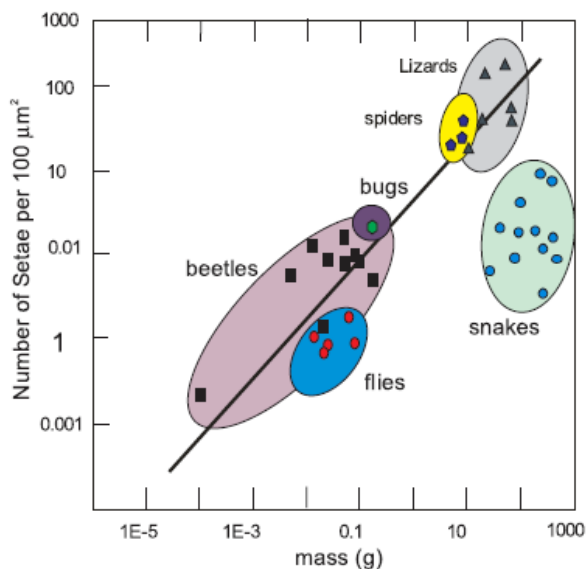


Kuva 7. Erilaisia adheesioisia pintoja, jossa pinta on muodostettu a) nanolitografialla, b) kemiallisella kaasufaasilla, c) puristamalla huokoiskuitukalvolla, d) & e) mikrotyöstöllä, f) syövyttämällä, h) – l) photolitografia malleilla (Hisham 2016, s. 17).

Ulokkeiden pintatiheydellä on suuri vaikutus adheesiovoimaan. Ulokkeiden tiheyden vaikutus määräytyy niin että massan kasvaessa myös tarttuvien ulokkeiden pintatiheys kasvaa. Kuvista 8 ja 9 huomataan kuinka luonnossa eläimen painon kasvaessa adheesiivinen rakenne muuttuu tiheämmäksi ja hienommaksi. Paras adheesiovoima siis saavutetaan tiheästi sijoitetuilla ja mahdollisimman ohuilla ulokkeilla. (Hisham 2016, s. 18)



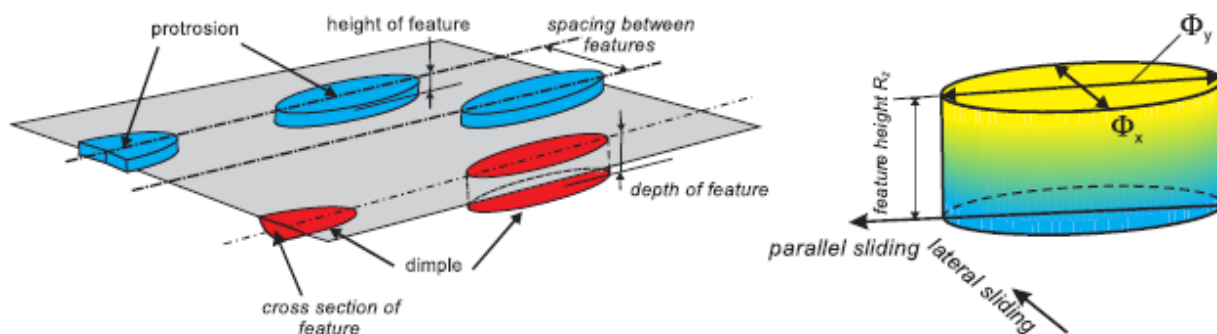
Kuva 8. Adhesiivisen rakenteen muutos painon kasvaessa (Hisham 2016, s. 17).



Kuva 9. Adhesiivisen rakenteen muutos painon kasvaessa (Hisham 2016, s. 18).

1.6.6 Kitkan ja virtausvastuksen vähentäminen

Hydrofobisuuden ja adheesion lisäksi funktionaalisilla pinnoilla pystytään tuottamaan kitkaa vähentäviä pintoja, jotka voivat olla myös aero- ja hydrodynaamisia. Kitkan vähentämisessä perusidea on luoda pieniä, joko pinnasta nousevia pilareita tai pintaan uppoavia lommoja. Näin pinnan kosketuspinta-alaa saadaan pienemmäksi, mikä oikein toteutettuna vähentää kitkaa. Pinnan muodot tehostavat myös voiteluaineen käyttöä, kosketuspinnan ollessa pieni ja voiteluaineen täyttäessä matalammat pinnanmuodot. Vähäkitkainen pinta muodostuu yleensä erilaisten muotojen (ellipsi, kartio, puolipallo ym.) sarjoista., jotka täyttävät pinnan, kuva 10 tavalla.



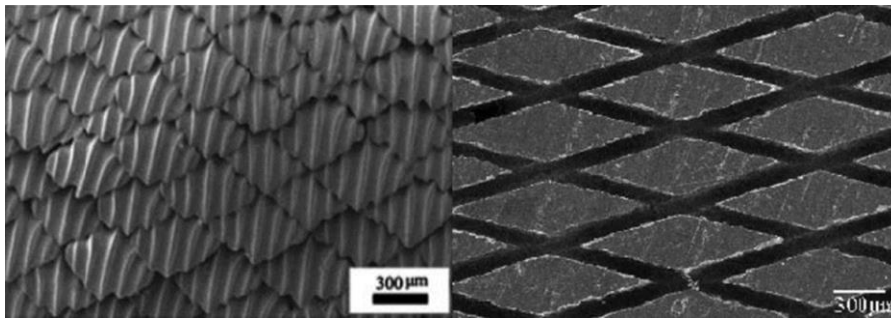
Kuva 10. Pinnan muodostuminen (Hisham 2016, s. 11).

Kuvioiden koolla ja sijoittumisella on väliä pinnan ominaisuuksien muodostumiseen. Taulukosta 1 esittää yksinkertaistetusti, mitkä kuvioiden ominaisuudet vaikuttavat niiden toimintaan. (Hisham A Abdel-Aal 2016, s. 18)

Taulukko 1. Kuvioiden ominaisuuksien vaikutus sen toimintaan (Hisham 2016, s. 11).

Toiminta	Pintarakenne
Voitelun laatu	Alustan muutokset
	Kuvion poikkileikkaus
	Kulmien terävyys
Geometria	Muotosuhde
	Muotokerroin
	Liukusuuntaan poikittainen kuvio
Topologia	Kuvioiden keskilinjan etäisyys toisistaan
	Pinnan leveys

Kuten aikaisemmin todettiin myös monien vesieläinten kuten delfiinien ja haiden nahkan kuviointi auttaa vähentämään veden virtaamisesta aiheutuvaa kitkaa. Nahkan kuvioinnin muodostavat pienet suomumaiset väkäset, joissa on veden virtaukseen nähden suoraviivaisia uria. Väkäsiä urat tasoittavat virtausta, vähentävät turbulenssia ja pinnan naarmuuntumista. Virtausvastuksen väheneminen säästää näin eläimen energiaa ja vähentää abrasiiivista kulumista. Hain nahkan pinnan kuviointia tutkimalla on pystytty luomaan pintoja, jotka lisäävät aero -ja hydrodynaamisuutta ja näin pystyvät säästämään energiaa. Lähikuva hain nahasta ja sen perusteella tehdystä pinnasta nähdään kuvassa 11. (Dean, Bhusthan 2010, s. 4795)

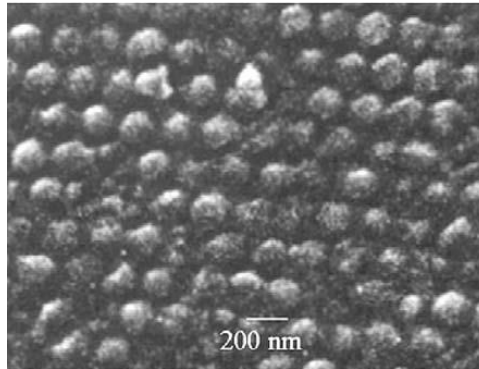


Kuva 11. Lähikuva hain nahasta ja koneellisesti kuvioidusta pinnasta (Hisham 2016, s. 21).

Tekniikkaa on käytetty hyväksi mm. vähentämään virtauksen aiheuttamaa vastustusta lentokoneissa, putkistoissa, uimapuvuissa ym. Toimiva pinta voi vähentää energian kulutusta useilla prosenteilla, esim. virtausvastuksen vähentäminen kehon peittäväällä uimapuvulla. (Hisham A Abdel-Aal 2016, s. 21). Puvun hyöty on niin suuri, että uimapuvut kiellettiin kansainvälisissä kilpailuissa 2008 olympialisten jälkeen, jossa niiden avulla rikottiin useita maailmanennätyksiä. (Smiths 2009)

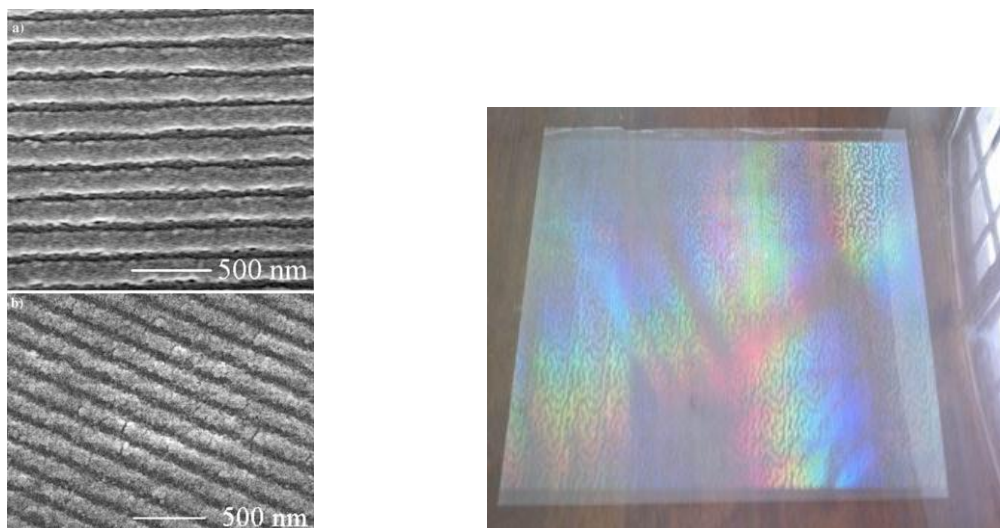
1.6.7 Pinnan heijastavuus

Pinnan kuviointia muuttamalla voidaan myös vaikuttaa pinnan kykyyn absorboida tai heijastaa valonsäteitä. Näin tuotteeseen voidaan saada joko valoa heijastamaton tai heijastava pinta. Pinnan heijastavuuteen vaikuttaa kuitenkin myös aina pinnanmateriaali, joka itsessään vahvistaa tai heikentää heijastavuutta. Kohokuvioinnilla aikaansaatu pinnan heijastavuus mahdollistaa ekologisen ja myrkyttömän valmistuksen, jolloin tuotetta voi käyttää helposti myös elintarvikkeissa. Pinnan heijastamattomuuteen on kehitetty koinsilmää matkiva pinta, jonka heijastamattomuus syntyy pinnanrakenteesta, joka on valon aallonpituuden kanssa samalla tasolla ja näin ollen absorboi tulevan valonsäteen heijastamisen sijaan. Kuva koinsilmä kuvioista nähdään kuvassa 12. Kuvio on painettu 3 mm paksulle PMMA substraatille embossing – menetelmällä. Menetelmällä on monia käyttökohteita auton tuulilaseista tietokoneen ruutuihin. (Kimerling, Liu, Kim 2006, s. 734)



Kuva 12. Koinsilmäkuvio painettuna PMMA substraatille (Kimerling, Liu, Kim 2006, s. 734).

Myös valoa heijastava pinta voidaan saavuttaa esimerkiksi painamalla puristimien avulla pinnalle siniaaltomainen kuvio, jolloin siitä kimpoavat valonsäteet hajoavat ja luovat holografisen pinnan. Valonsäteiden hajotessa pinnasta, pinta tuottaa prisman tavoin monia eri värejä. Siniaaltomainen pinta nähdään kuvassa 13. (Kimerling, Liu, Kim 2006, s 734). Holographisia pintoja tuottaa mm. Iscent Oy, joka on erikoistunut holografisten muovi-, paperi- ja kartonkipakkausten valmistukseen. Yhtiö käyttää valmistukseen rullalta rullalle menetelmää, mikä mahdollistaa halvan massatuotannon. Yhtiön tuote nähdään kuvassa 13. (Raukola, Iscent Oy, s. 1)



Kuva 13. Siniaaltomainen pinta ja Iscent Oy:n valmistama hologrammimuovi (Kimerling, Liu, Kim 2006, s. 734), (Raukola, Iscent Oy, s. 1).

1.7 Seos vahvikkeet – Filler reinforcement

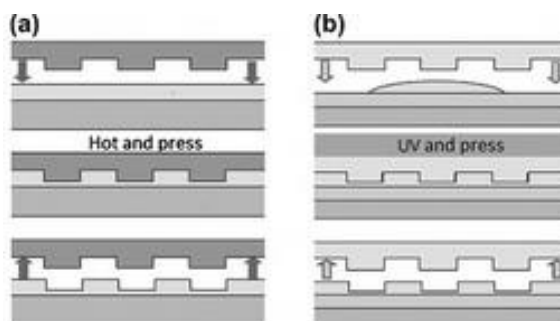
Yksi tapa vahvistaa kartonkia ja vähentää sen päällystyksestä aiheutuvia kuluja on lisätä kartongin päällyskerrokseen täyteaineita tai nanokomposiitteja. Täyteainetta muuttamalla voidaan myös mm. vahvistaa tai heikentää kartongin läpäisevyyttä riippuen täyteaineen ja polymeerin adheesioisista ominaisuuksista ja sopivuudesta toisiinsa. Myös nanoteknologiaa voidaan soveltaa täyteaineissa ja partikkelikoon ollessa n. 100 nm puhutaankin nanotäyteaineista. (Andersson 2008, s. 20)

1.8 Pintojen mekaaninen mikrotason muokkaaminen

Käytännössä funktionaalisten pintojen mekaaninen toteutus kartongille kannattaa suorittaa puristamalla, jotta kartongin pinta ei kärsi ylimääräisiä vahinkoja. Puristuksessa haluttu kuviointi painautuu muotin avulla kartongin pinnalle. Kuvioinnin voi tehdä joko vertikaalisesti liikkuvalla ”leimasimella” tai jatkuvasti pyörivällä telalla. (Izdebska, Thomas 2016, s. 279)

1.8.1 Kohokuviointi – embossing

Kohokuviointi eli embossing on yksinkertainen tapa tuottaa tarkkoja ja hyvälaatuisia mikro/nanokokoluokan kuvioita polymeeripinnoille. Prosessi tapahtuu puristamalla kuvioitu muotti valitulle polymeeripinnalle, jolloin muotin kuviointi siirtyy negatiivina pinnalle kuvan 14 näyttämällä tavalla. Muotoilu voidaan suorittaa suoraan kuumennetulla pinnalla tai pinnalle voidaan lisätä erillistä lisäainetta, joka kuumennetaan UV-valolla ja kovettuu jäähtyessä muotoonsa. (Izdebska, Thomas 2016, s. 279)



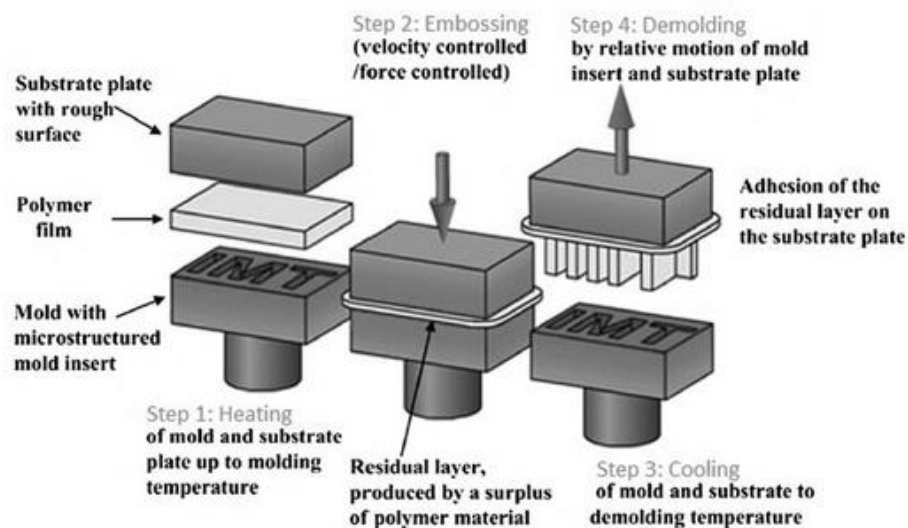
Kuva. 14 Luonnoskuva hot embossing tekniikasta (a) ja UV-valokovettamisesta (Izdebska, Thomas 2016, s. 279).

kohokuviointitekniikka jakaantuu hot embossing tekniikkaan, UV – kohokuviointi tekniikkaan ja pehmeään kohokuviointi tekniikkaan. Riippuen muotin valinnasta puristaminen jakaantuu kovaan tai pehmeään puristamiseen. SiO_2 , Ni, Si, Si_3N_4 ja SiC ovat yleensä muottimateriaaleja kovaa puristamista varten. Yleensä polymeerit PDMS, PMMA, PUA, PVA, PVC ja PTFE ovat päällysteenä pehmeässä puristamisessa. Polymeerin muodon kovetustapa määrää yleensä käytetäänkö puristamisessa hot embossing vai UV-kovettamista. Polymeerillä päällystetyn kartongin puristamiseen kannattaa käyttää hot embossing tekniikkaa sen ollessa varma ja hinta-laatusuhteeltaan hyvä vaihtoehto. (Izdebska, Thomas 2016, s. 279)

1.8.2 Hot Embossing

Hot embossing tekniikkaa on kehitetty yli 40 vuoden ajan ja sitä on käytetty teollisuudessa jo vuodesta 1970. 1972 sillä pystyttiin tuottamaan 7 μm levyisiä ja 3 μm syvyisiä uria lasikuituun. 1995 Princeton Yliopisto demonstroi 25 nm kokoisia ja 100 nm syvyistä kuviota painettuna polymeeriin, josta lähtien tekniikkaa on voinut kutsua nanokohokuviointi tekniikaksi. (Izdebska, Thomas 2016, s. 280)

Hot Embossing –prosessi voidaan jakaa karkeasti neljään eri osa-alueeseen: (1) muotin ja mahdollisesti kuviotavan aineen kuumentamiseen, (2) itse puristamiseen, (3) kuvioidun pinnan ja muotin jäähtymiseen ja (4) muotin avaamiseen ja valmiin kappaleen poistamiseen muotista. Prosessi tapahtuu kuvan 15 mukaisesti. (Izdebska, Thomas 2016, s. 280)



Kuva 15. Luonnoskuva hot embossing kohokuvionnista (Izdebska, Thomas 2016, s. 280).

1.9 Hot embossing – kohokuvionti

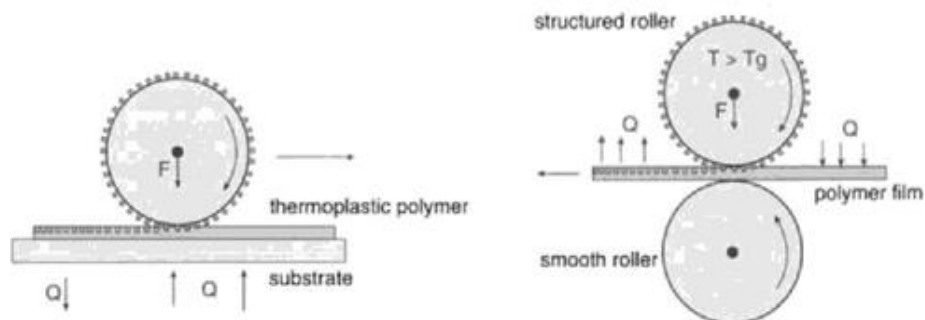
Hot Embossing – kohokuvionti voidaan jakaa kolmeen ryhmään kuvioinnissa käytettyjen työkalujen mukaan. taso tasoa vasten (P2P), Tela tasoa vasten (R2P) tai tela telaa vasten (R2R). (Izdebska, Thomas 2016, s. 280)

1.9.1 P2P

P2P on yksinkertaisin kaikista kolmesta kohokuviointimenetelmästä, siinä kuvioitu suoritetaan muotti toista tasoa vasten. Tämä tekee siitä varsinkin teollisuudessa laajasti käytetyn menetelmän, sitä käytetäänkin esim. CD:den ja DVD:den valmistuksessa. Menetelmän tehokkuus perustuu kuitenkin yleensä pieneen nippiin ja suureen voiman tarpeeseen, joka vain kasvaa muotin pinta-alan kasvaessa. (Izdebska, Thomas 2016, s. 280)

1.9.2 R2P ja R2R

R2P kuten myös R2R saavutetaan telan pyörimisen ansiosta jatkuva kuviointijälki. Pyörivällä liikkeellä saavutetaan suuremmat toimintanopeudet, mutta tasopainolla kohokuvioinnista voidaan tehdä korkeampi ja sen muotosuhde on parempi. Prosessissa yleensä ylempi tela vastaa pinnan muotoilusta ja lämmityksestä ja alempi taso tai tela puristaa filmin muottia vasten. R2R etuna R2P nähden on että R2R:lla voidaan ajaa ohuempia filmejä toisen telan toimiessa vetoapuna. R2P etuna on ymmärrettävästi helpompi ja halvempi toteutus. R2P ja R2R kohokuviointimenetelmiä nähdään kuvassa 16. (Worgull 2009, s. 163)



Kuva 16. R2P ja R2R menetelmät (Worgull 2009, s. 163).

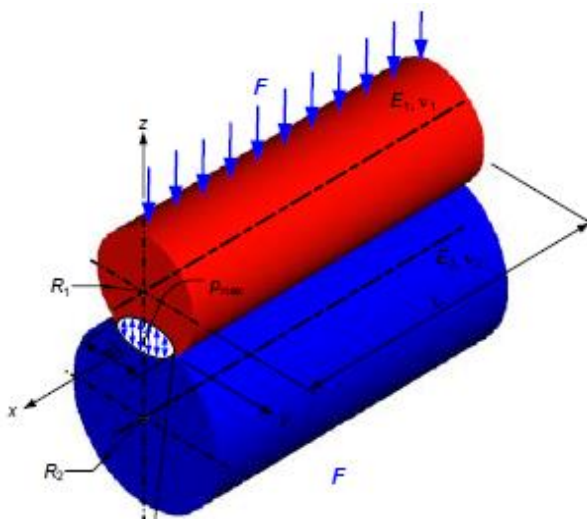
1.10 Pintapaineen määrittäminen

Pintapaine määritetään jakamalla kuormittava voima pintojen välisellä kosketuspinta-alalla. Pintapaineen suuruus on siis suoraan verrannollinen käytettävän voiman suuruuteen ja kosketuspintojen pienenuteen. Tasomaisilla kappaleilla pintapaine määritetään kaavalla 7.

$$p = \frac{F}{A} \quad (7)$$

Jossa p on paine, F voima ja A kosketuspinta-ala.

Pyöreiden pintojen pintapaineen laskenta on kuitenkin hankalampaa, sillä teoriassa kaksi sylinterimäistä telaa muodostavat 1-ulotteisen kosketuspinnan jolloin paine niiden välissä kasvaisi äärettömästi ja murtaisi näin molemmat kappaleet. Käytännössä telojen rakenteen myötääminen synnyttää pienen kontaktipinnan, joka laskee paineen normaalille tasolle. Tällaista pintapainetta kutsutaan Hertz:in pintapaineeksi. Hertz:in pintapaineen mukaan linjassa olevien telojen kosketuspinta muodostuu ellipsin muotoiseksi kuvan 16 mukaan. Telojen kosketuspinta-ala b lasketaan kaavan 8 mukaisesti. (Contact Stresses and Deformations. ME EN 7960-Precision Machine Design, s. 2)



Kuva 16. Hertz:n pintapaine (ME EN 7960-Precision Machine Design, s. 9).

$$b = \sqrt{\frac{4F \left[\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right]}{\pi L \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}} \quad (8)$$

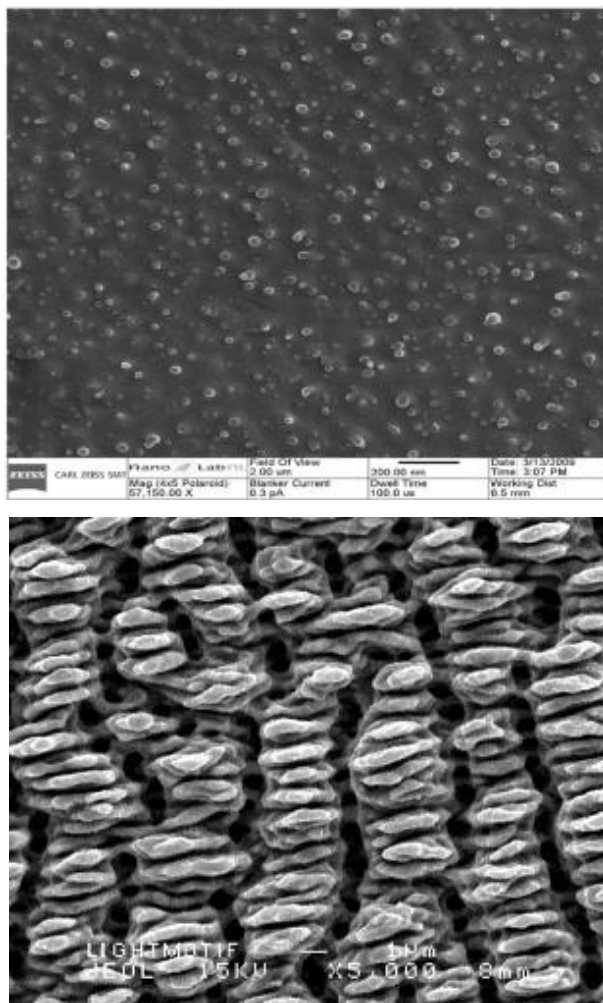
Missä ν on Poissonin kerroin, E kimmokerroin ja L kontaktin pituus, F molempiin teloihin kohdistuva voima ja R telojen säde. Kosketuspinnan avulla saadaan laskettua pintapaineen maksimi kaavalla 9.

$$p_{max} = \frac{2F}{\pi bL} \quad (9)$$

1.11 Pinnan kuviointi

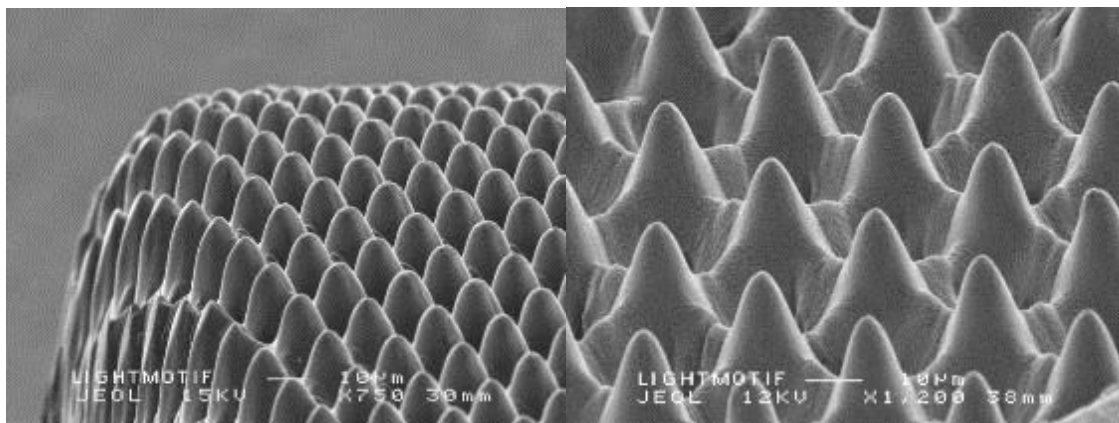
Funktionaalisen pinnanmuotojen koostuessa n. $10 \times 10 \mu\text{m}$ tai pienemmistä olakkeista, vaaditaan kuvion telaan tuottavalta laitteistolta suurta tarkkuutta. Vaadittavaan tarkkuuteen päästään käytännössä vain lasertyöstön avulla. Viime vuosikymmenenä femto- ja pikosekuntilaserit ovat kehittyneet tuottamaan hyvin tarkkoja mikro-rakenteita erilaisille pinnoille. Laserien pulssin pituuden eli ajan ollessa vähemmän kuin $t < 10 \text{ ps}$, ne tuottavat vähemmän lämpövahinkoa käsiteltävälle pinnalle. Tällaisia lasereita kutsutaan ultralyhyiksi pulssilasereiksi, juuri niiden pulssin nopeuden vuoksi. (Kaakkunen, Laakso, Päiväsaari, 2013, s. 4)

Pulssilaserilla tuotetun pinnankuviointi voidaan jakaa kahteen eri toteutustapaan: työstävään ennalta ohjelmoidun kuvion tuottamiseen ja itse-organisoidun kuvion muodostamiseen ultralyhyiden pulssien vaikuttaessa lasermateriaaliin. Itse-organisoidulla toteutustavalla saadaan tuotettua implisiittisiä eli ei-jaksollisia kuvioita monenlaisille materiaaleille kuten, metalleille, keraameille, lasille ja puolijohdeille. Tuotetut kuvat ovat riippumattomia tarkennetusta laserin pistekoostaja ja voivat olla, jopa pienempiä kuin laserin aallonpituus. Tärkeitä parametreja kuvion latuun ovat aallonpituus, polarisaatio ja laser ”annoksen” koko eli käytetty energiamäärä kohdealueella. Pienillä laserannostuksilla saadaan aikaan hyvin pieniä, jopa $10 - 50 \text{ nm}$ nystyröitä käsitetylle pinnalle. Annostusta kasvattamalla saadaan aikaan suurempia muotoja, kuten kuvassa 17 esitetään. (Lightmotif 2017)



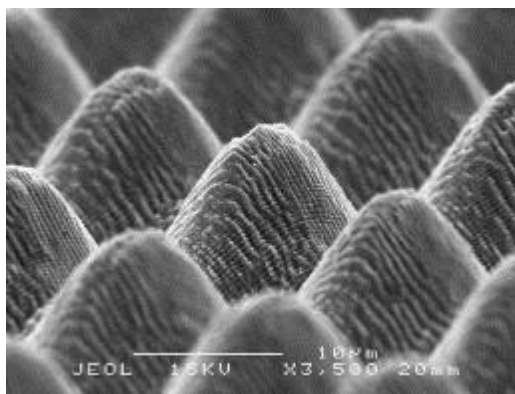
Kuva 17. Itse-organisoituvalla tavalla tuotettuja pintoja. (Lightmotif 2017)

Valmiiksi ohjelmoidun kuvion tuottaminen onnistuu laserporaamisen tai kaiverruksen lailla kohdistetulla lasersäteellä, jolla materiaalia voidaan poistaa määritetyllä tavalla tuotteen pinnalta. Pinnan tuottamisen määrää valmiiksi määritelty kuvio ja työstävän laserpisteen koko. Tällaisella työstöllä tyypillinen huippujen korkeus ja niiden ero toisistaan on n. 10 μm , kuvan 18 mukaisesti, jossa kuvien pilarit on työstetty ruostumattomaan teräkseen. (Lightmotif 2017)



Kuva 18. Tarkasti määritelty pilarikuvio ruostumattomassa teräksessä (Lightmotif 2017).

Määriteltyjen pintojen pilarin korkeutta ja muotoa voidaan myös tarkasti kontrolloida, kuten vastaavasti useasti käytettyjen kuoppakuvioiden syvyyttä ja kuoppien tiheyttä. Molemmat tekniikat voidaan myös yhdistää luomalla itse-organisoiuva kuvio määritetylle pilaripinnalle kuvan 19 tavoin. Kuvassa nähdään pilareiden pinnalla oleva rosoinen kuvio, joka on saatu aikaan itse-organisoiuvalla menetelmällä. (Lightmotif 2017)



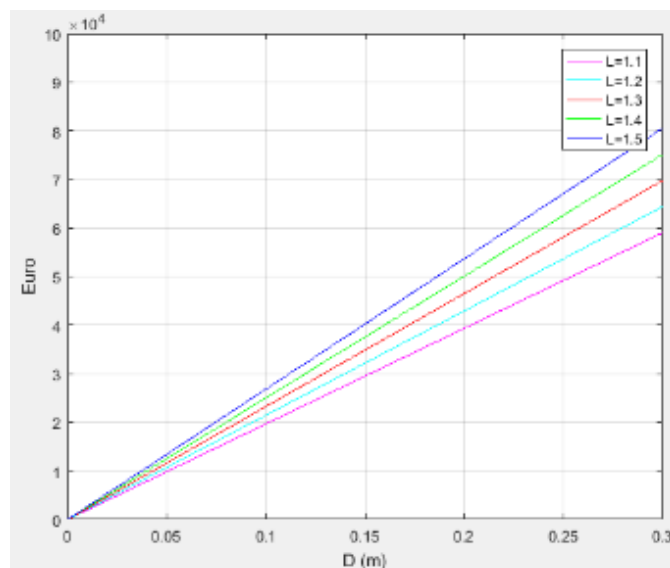
Kuva 19. Pilarien pinnalla oleva itse-organisoiuva kuvio (Lightmotif 2017).

2 MENETELMÄT

Seuraavaksi käsitellään pinnanmuokkaukseen liittyviä menetelmiä kuten kuviotelan kuvioinnin hintaa ja lämmitystä. Lisäksi selostetaan tutkimuksessa käytettyjen ohjelmien teoriaa ja käsitellään mallinnettujen telojen taipumista ja saavutettuja pintapaineita. Kappale käsittää myös laitteen vaatimuslista ja sen perusteella tehdyn ideamatriisin.

2.1 Telan kuvioinnin hinta

Telan kuvioinnin vaatiessa hyvin tarkkaa pinnanmuotoilua, vaikuttaa telan koko laitteen hintaan merkittävästi. Lasertyöstön hinnan kehitys telan pituuden ja halkaisijan mukaan esitetään kuvassa 20, josta huomataan hinnan nousevan voimakkaasti, kuvioitan pinta-alan kasvaessa. Kuvassa esitetty käyrästä kuvaa pelkää lasertyöstön hintaa ilman kromausta ja hiontaa.



Kuva 20. Lasertyöstön hintakehitys pituuden ja halkaisijan mukaan.

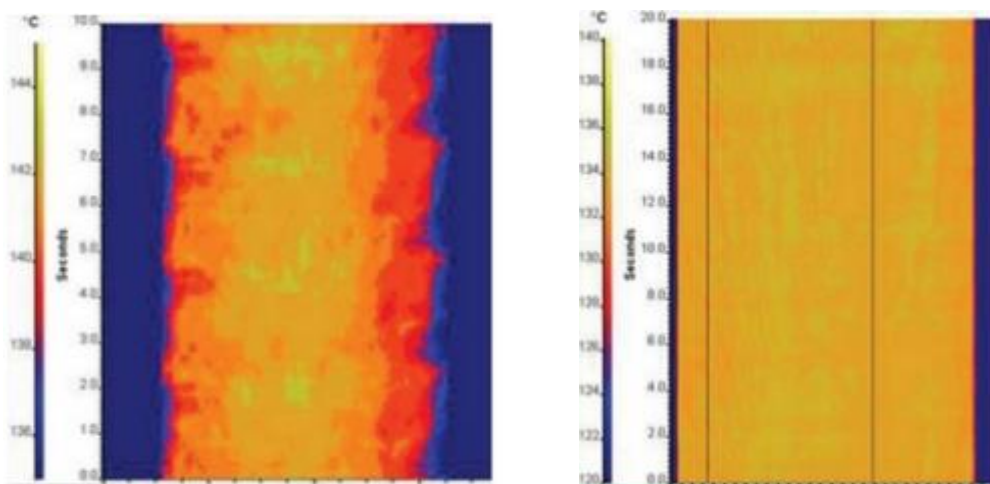
2.2 Telan induktiolämmitys

Telan lämmittämistä käytetään parantamaan tuotteen laatua, tuotantonopeutta ym. monenlaisissa paperin/kartongin tuotannon sovelluksissa kuten laminoinnissa, kohokuvioinnissa, kiillotuksessa ym. Näissä sovelluksissa telan lämmittäminen suoritetaan yleensä käyttäen nestelämmitteisiä järjestelmiä, joissa käytetään vettä, öljyä tai höyryä.

Nestelämmitys tuo mukanaan kuitenkin omia haasteita huollon, turvallisuuden, energian kulutuksen, lämmön kontrolloinnin ja lämmön tasaantumisen kanssa. Induktiolämmittimet vastaavat moniin nestelämmityksessä syntyviin ongelmiin. (Hyllberg, Schut, 1999)

Induktiolämmityksen periaate on käämien sijoittaminen metallisen työkalun sisä- tai ulkopuolelle, jolloin telan pyöriessä käämit luovat telan pinnalle magneettivuon, jolloin resistanssi telassa lämmittää sen. Nestelämmitystä käyttäessä neste on ensin lämmitettävä jossain muualla ja sitten tuotava lämmitettävään telaan. Tässä tuontiprosessissa energiaa voi mennä hukkaan jo 10 - 15 % nestekanavien pituudesta riippuen. Induktiolämmityksessä tela itse toimii lämmönlähteenä. (Hyllberg, Schut, 1999)

Öljyyn verrattuna induktiolämmityksellä on useita hyötyjä, induktiolämmitys on hygieenisempi ja puhtaampi ilman mahdollisia öljyvuoja. Öljylämmitys, kuten muut nestelämmittimet myös kuumentavat koko telan, johon voi kulua aikaa kymmenistä minuuteista tunteihin. Induktiolämmitin kuumentaa vain telan pinnan ja voi näin kuumentaa telan alle kymmenessä minuutissa riippuen induktiolämmittimen tehosta. Induktiolämmityksellä saadaan aikaan myös paljon tasaisempi lämmityspinta telalle kuin esim. öljylämmityksessä. Kuvassa 21 vertaillaan öljy ja induktiolämmityksen telan lämmitetty aluetta ajan kuluessa. Kuvasta huomataan, että induktiolämmityksellä on huomattavasti tasaisempi lämmitys jälki. (Rice 2015)



Kuva 21. 610 mm levyisen öljy ja 400 mm levyisen induktion lämmittimien lämpöjälki (Rice 2015).

2.3 ANSYS Workbench

ANSYS Workbench on ANSYS Inc. kehittämä monipuolinen 3D-kappaleiden mallinnus ja simulointi ohjelma. ANSYS Inc. perustettiin 1970 ja sen pääkonttori on Pennsylvaniassa Yhdysvalloissa. Tässä työssä ANSYS Workbenchiä käytetään mallintamaan laitteen telojen taipumista ja pintapaineen muodostumista. Simulointi tapahtuu elementtimenetelmän avulla, josta kerrotaan seuraavaksi lyhyesti.

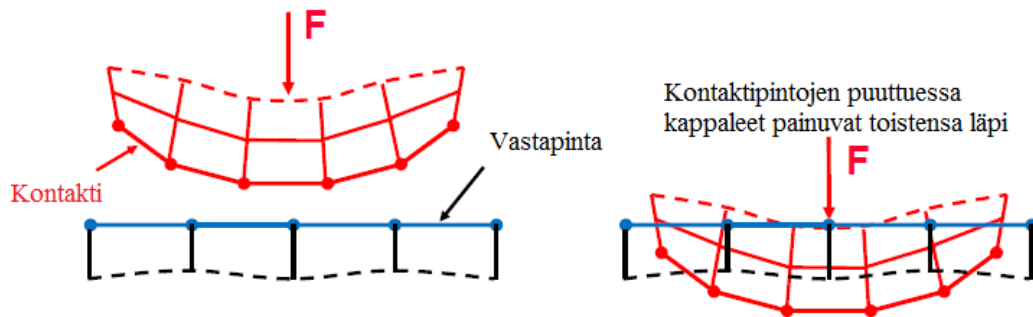
2.4 FEM-mallinnus

Pintapaineen ja telayksiköiden taipumien määrittämisessä käytetään hyväksi FEM-mallinnusta. FEM lyhentyy sanoista finite element method eli elementtimenetelmä. Elementtimenetelmä on numeerisesti kehitetty menetelmä analysoimaan rakenteita ja niiden ilmiötä. Elementtimenetelmää käytetään, kun ongelma on liian monimutkainen ratkaistavaksi analyttisesti. Elementtimenetelmä kehitettiin alun perin ratkaisemaan rakenteiden jännitysanalyysejä, mutta nykyään sillä voidaan ratkaista mm. rakenteiden pintapainetta, lämmön johtuvuutta, nesteen virtausta ym. Elementtimenetelmässä kappaleet jaetaan nimensä mukaisesti erikokoisiin elementteihin, joita on yksinkertaisuutensa vuoksi helppo analysoida kokonaisten kappaleiden sijaan. Elementit yhdistyvät toisiinsa niin sanottujen ”solmujen” avulla. Yksinkertaisesti selitettynä kappaletta tutkitaan numeerisesti yhtälöiden avulla, joiden muuttujat ratkaistaan solmukohtien liikkeen avulla. Elementtiverkon tiheys tutkittavassa kohdassa lisää ratkaisun tarkkuutta, mutta tiheämpi verkotus vie aina enemmän laskentatehoa ja aikaa. Elementtimenetelmällä ratkaistut tulokset ovat aina eri ilmiöiden approksimaatiota. (Cook, Malkus, Plesha, Witt 2001 s. 1)

Tässä työssä mallintaminen tapahtui epälineaarista elementtimenetelmää käyttäen. Pintapainetta määrittäessä kappaleiden kosketuspintaa tutkitaan epälineaarisesti niiden kosketuspinnan ja jäykkyyden muuttuessa. Pintapaineen selvittämiseen käytettiin erityisesti ANSYS-ohjelman contact tool ominaisuutta, joka ratkaisee suoraan kappaleiden pintapaineen niiden liitoskohdassa. Telojen taipuminen selvitettiin normaalisti tutkimalla rakenteiden liikettä kuorman alaisena.

ANSYS-ohjelma tarjoaa useaa eri ratkaisuvaihtoehtoa kuvaamaan kappaleiden välistä kosketusta ja kosketuksen voiman mittausta. Fyysisessä kosketuksessa kappaleet eivät luonnollisesti painaudu toistensa läpi. Mallinnuksessa kappaleiden välille luodaan

kontaktipinnat, jotka välittävät kappaleissa vaikuttavan voiman eteenpäin ja estävät kappaleita painumasta toisiinsa. Ohjelman ratkaisijat ”pakottavat” kappaleiden kosketuspinnat painautumaan toisiaan vasten. Ilman kontaktipintoja kappaleet painautuisivat toistensa läpi kuvan 22 tavoin. (ANSYS, Inc. 2010, s. 4)

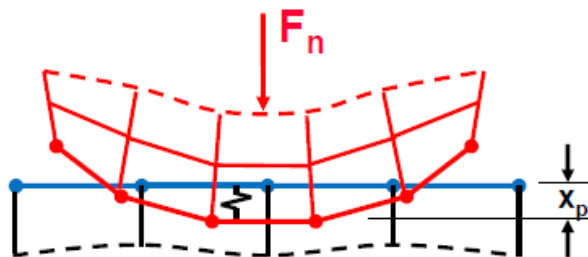


Kuva 22. Kontaktipinta (2010, ANSYS, Inc., s. 4).

Vaikka ratkaisijat luovat vuorovaikutuksen kappaleiden välille useat kaavat käyttävät niin sanottua rankaisumenetelmää määrittämään kosketuksen voiman, jossa voima määritetään pintojen toisiinsa painautumisen avulla. Peruskaava rankaisumenetelmälle on (ANSYS, Inc. 2010, s. 5)

$$F_n = k_n x_p \quad (10)$$

Jossa F_n on kontaktivoima, x_p painautumisen syvyys ja k_n kontaktin jäykkyys. k_n :n suuruus vaikuttaa kappaleiden painautumiseen toisiinsa kuvan 23 mukaisesti. Ideaalitulossa k_n olisi ääretön, eikä painautumista tapahtuisi. Numeerisesti tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, tällä ratkaisumallilla, mutta painautumisen ollessa pientä tulokset saadaan tarkoiksi. (ANSYS, Inc. 2010, s. 5)

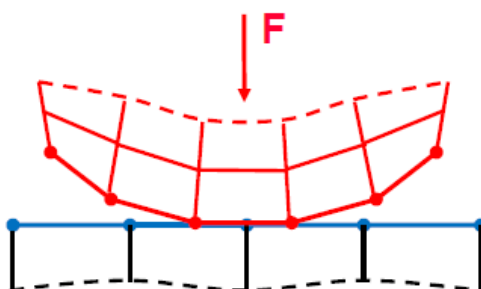


Kuva 23. Rankaisumallinen ratkaisija (ANSYS, Inc. 2010, s.5).

Kontaktivoima voidaan myös ratkaista ilman kappaleiden painautumista toisiinsa. Jäykkyyden ja painasumisen sijaan kontaktivoimaa kuvataan ylimääräisellä vapausasteella, DOF (Degrees of Freedom). (ANSYS, Inc. 2010, s. 7)

$$F_n = DOF \quad (11)$$

Vapausaste estää pintoja painautumasta toisiinsa kuvan 24 tavoin. Ratkaisu tällä menetelmällä on yleensä koneellisesti raskaampaa.



Kuva 24. Ylimääräinen vapausaste (ANSYS, Inc. 2010, s. 7).

Tässä työssä kontaktipintojen mallintamisessa käytetään Augmented Lagrange kaavaa, joka käyttää kontaktivoiman määrittämiseen rankaisumenetelmää.

2.5 Solidworks

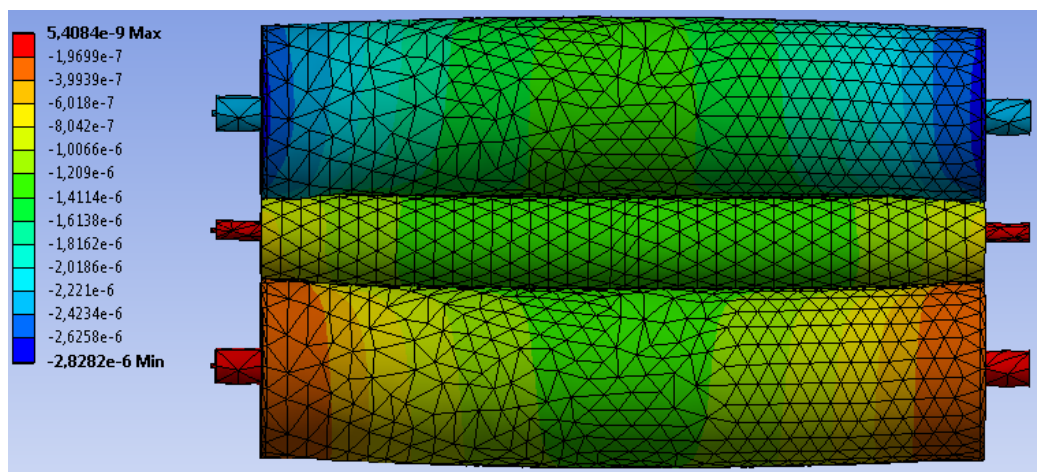
Solidworks on 3d-mallinnusohjelma, jonka avulla suunniteltavat koneenosat voidaan helposti mallintaa ja sovittaa yhteen. Solidworks ohjelman avulla kappaleiden toimintaa ja jäykkyyttä voidaan myös yksinkertaisesti simuloida. Myös valmistuspiirustusten teko suoritetaan Solidworks ohjelmalla. Tässä diplomityössä käytetään Solidworks:n 2015 – versiota.

2.6 Telojen mallintaminen

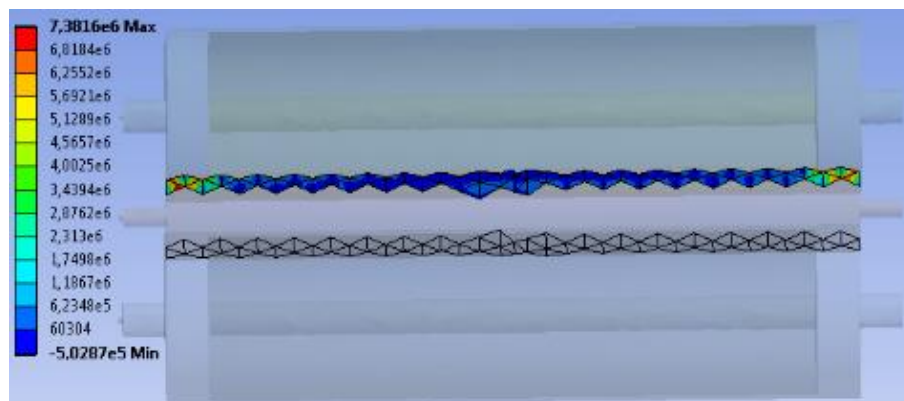
Telakokoonpanojen mallintaminen aloitettiin yksinkertaisesti kolmen päällekkäisen telan mallintamisella, johon viitattiin jo aikaisemmin. Alin tela on tukitela keskimmäinen kuviotela ja ylin painotela. Systemi tuettiin jäykästi tuki- ja kuviotelan päistä ja kuormittava voima kohdistettiin painotelan päihin. Kuormitustilanteessa huomattiin telan taipuvan keskeltä ylöspäin, jolloin kuviotelan pinnalle ei syntynyt pintapainetta. Kuten telakokoonpanojen suunnittelussa esitettiin, taipumisen estämiseksi suunniteltiin erilliset

painotelat. Telakokoonpano mallinnettiin mahdollisimman yksinkertaisesti, jotta laskennasta saataisiin mahdollisimman kevyt. Mallintamista rajoitti myös jonkin verran ohjelmassa oleva rajoitus sallituille laskutoimituksille. Laskentaa saatiin kevennettyä myös mallintamalla tiheällä verkotuksella vain telojen kosketuspinnat, jolloin mallin tarkkuus ei kärsinyt suuresti.

Seuraavaksi tarkastellaan eri telakokoonpanojen mallinuksessa saatuja tuloksia. Kaikissa tapauksissa telaa/teloja kuormitettiin yhteensä 30000 N, joka valittiin aikaisempien laskujen perusteella takaamaan riittävä kuorman kesto ja paineen synty teloissa. Kaikissa tapauksissa tukitela sekä kuviotela tuettiin kiinteästi päistään. Kaikkien telojen päiden liike rajoitettiin vain y-akselin suuntaiseksi. Kuvissa 25 ja 26 nähdään ison painotelan taipuminen ja saavutettu pintapaine. Telan koko estää taipumisen tehokkaasti, mutta tela taipuu päistään enemmän kuin keskeltä, mikä estää tarvittavan pintapaineen syntymisen.

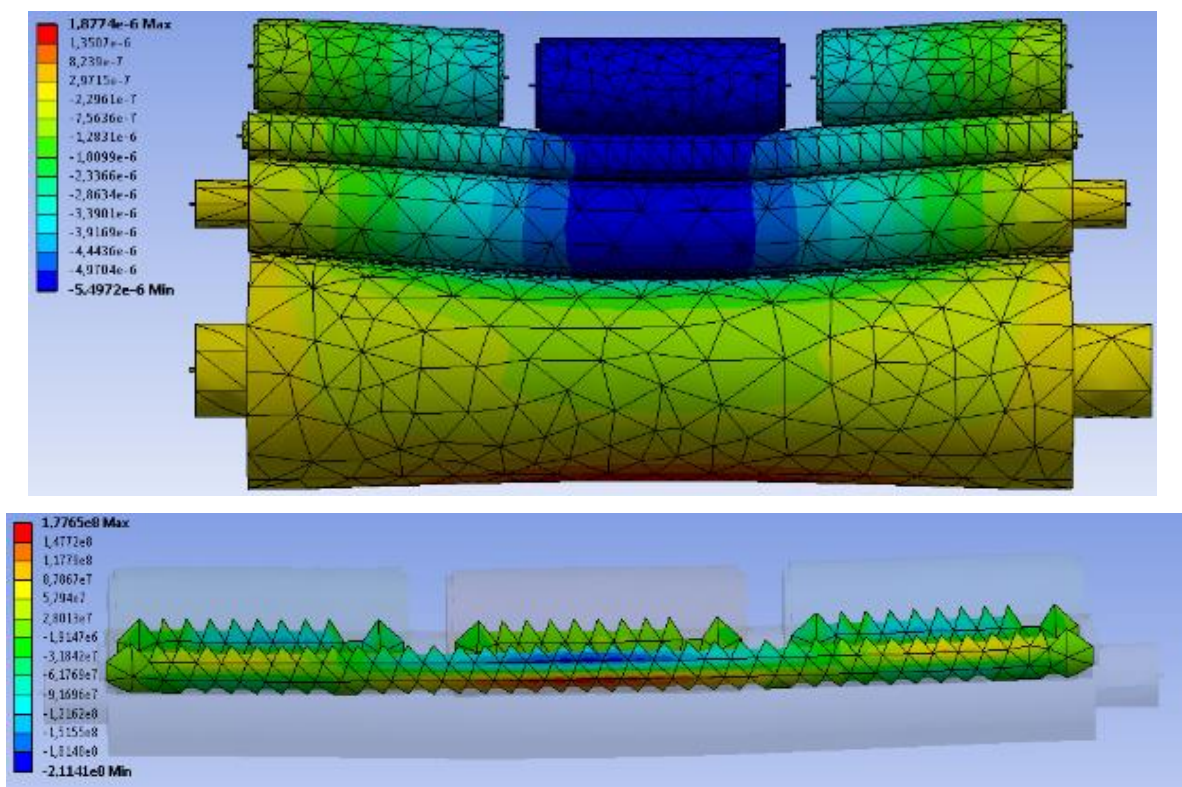


Kuva 25. Ison painotelan taipuminen.



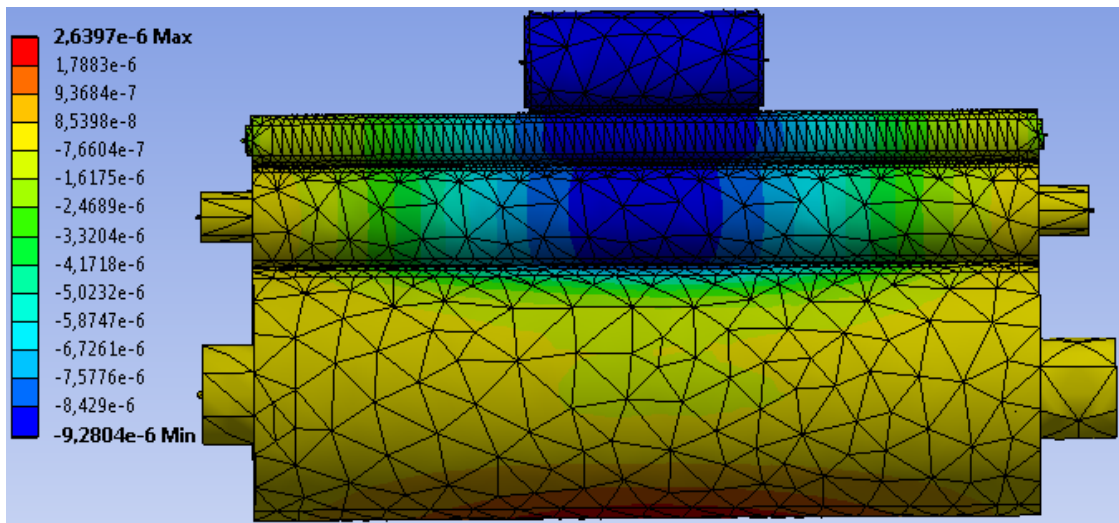
Kuva 26. Ison painotelan pintapaine.

Kuvassa 27 nähdään pienien painotelojen aiheuttama taipuma. Mallinuksessa jokaista pientä telaa kuormitettiin 10000 N voimalla. Kuvasta 27 huomataan taipumisen olevan suurimmillaan alle $5,5 \mu\text{m}$, väripaletista nähdään myös hyvin, miten tukitela pysäyttää taipumisen nopeasti. Pintapaineeksi systeemille saavutettiin n. 31 Mpa, millä täytetään pintapaineen vaatimus. Kuvassa keskellä näkyvä pintapaineen kohoaminen johtuu luultavasti mallin telojen liiallisesta sisään painautumisesta, joten sen voi tulkita virheeksi mallinnuksessa.

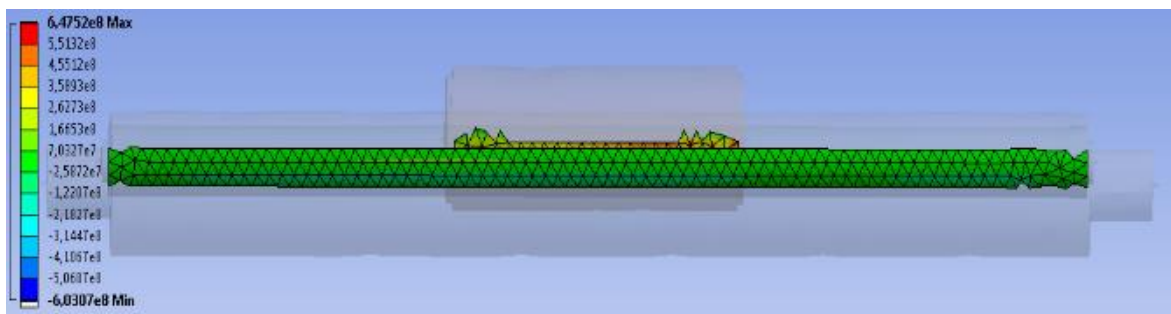


Kuva 27. Pienten telojen taipumakuva ja pintapaine.

Jos kartongin puristaminen suoritettiin vain yhdellä telalla keskeltä ja kapean telan päistä tulokset olivat melko lähellä kolmella pienellä telalla puristamista. Systemi kuitenkin taipui n. $4 \mu\text{m}$ enemmän eikä pintapaine kasvanut kuin 25 MPa. Systemin taipuminen ja pintapaine esitetään kuvissa 28 ja 29. Kuvassa 29 nähtävä pintapaine on nyt tasainen, sillä nyt telojen mallinnuksessa ei esiintynyt ylimääräistä painautumista.

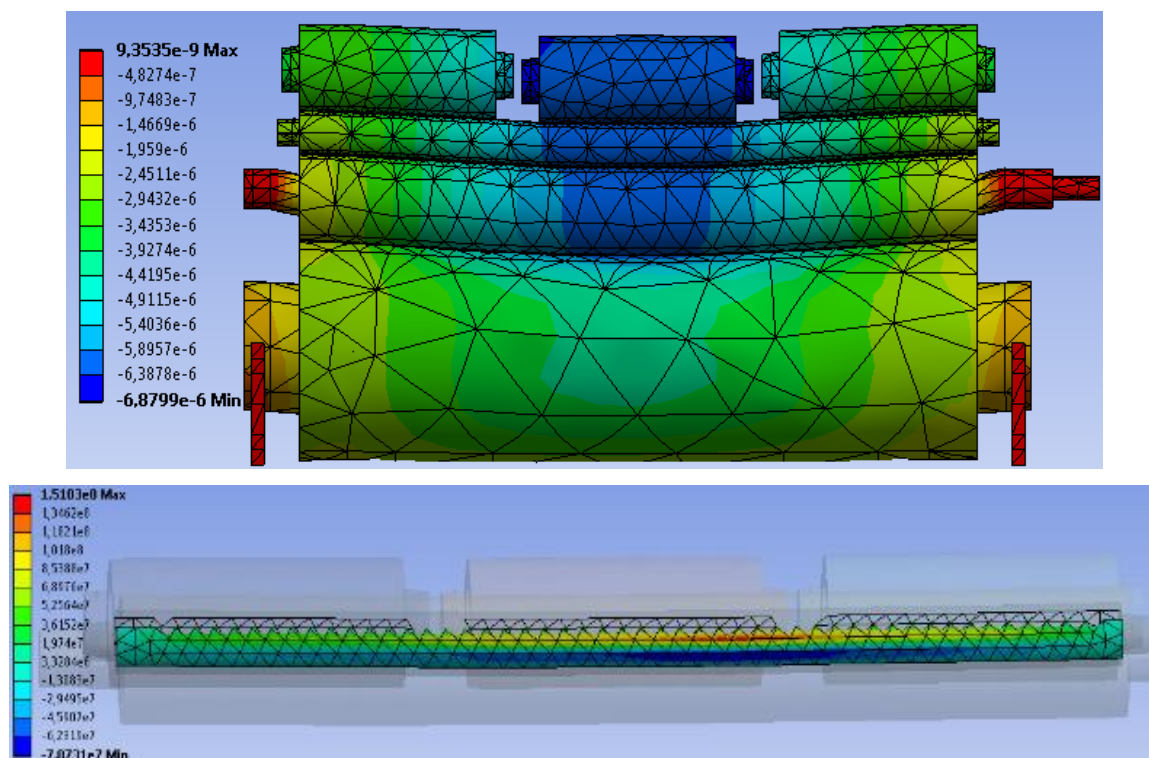


Kuva 28. Painaessa vain keskeltä ja päistä, taipumakuva



Kuva 29. Painaessa vain keskeltä ja päistä, pintapaine.

Lopulliseksi kokoonpanoksi teloilte valikoitui kolmen pienen painotelan avulla suoritettu pinnan muokkaaminen, saavutetun pintapaineen ja vähäisen taipumisen ansiosta. Systemistä suoritettiin vielä lopullinen mallinnus. Loppumallinnuksessa suunnittelun jatkuessa telojen pituutta on hieman kasvatettu, sekä tukitelojen seinämän paksuutta on kasvatettu 20 mm, mallista tehtiin myös yksityiskohtaisempi, tukitelan sisältäen nyt laakerit oikealla paikoillaan, sekä sen tuenta on mallinnettu erikseen, akseleilla on oikeat laakerinpaikat. Lopullinen mallinnus esitetään kuvassa 30.



Kuva 30. Lopullinen taipuma ja pintapaine.

Loppukokoonpanon mallinnuksen tulokset ovat samanlaiset kuin aikaisemmin kolmella pienellä telalla tehty mallinnus. Telat taipuvat nyt hieman enemmän, mutta muutosta on vain n. 1 μm , lisääntynyt taipuma johtuu luultavasti hieman pidemmistä teloista ja niiden tarkemmasta mallintamisesta tuennassa. Pintapaineen arvo pysyy lähes muuttumattomana mallien välillä.

2.7 Laitteen suunnittelu.

Laitteen suunnittelu aloitetaan systemaattista koneensuunnittelua mukaillen tehtävänasettelun selventämisellä. Tehtävänasettelun selventäminen on tärkeää, jotta konstruktion suunnittelussa päästään optimaaliseen ratkaisuun. Alussa selvennettävät tavoitteet helpottavat ja vähentävät myöhemmin tehtäviä mahdollisia muutoksia. Tavoitteiden selventämiseksi tehtiin vaatimuslista, joka myöhemmin toimii ratkaisujen ja päätösten perustana. (Pahl & Beitz, 1992, s. 62 – 63.)

Tehtävänasettelun selventämisen jälkeen toteutettiin konstruktion luonnostelu. Luonnostelussa suunnitelmaa abstrahoidaan ja koneelle suunnitellaan toimintorakenne.

Toimintorakenteen laatimisen jälkeen etsitään sopivat vaikutusperiaatteet toteuttamaan sovittuja vaatimuksia. (Pahl & Beitz, 1992, s. 71.)

2.7.1 Vaatimuslistan laatiminen.

Vaatimuslista tehdään selventämään koneelta vaadittavia ominaisuuksia tai dimensioita. Vaatimuslistassa luetellaan kaikki vaatimukset ja toiveet, joita halutaan koneen suorittavan. Vaatimuslista antaa myös perustaa myöhemmin tapahtuvalla arvioinnille ja päätöksenteolle. Vaatimuslistassa vaatimukset jaetaan kolmeen luokkaan, kiinteisiin vaatimuksiin (KV), jotka on täytettävä kaikissa tilanteissa. Vähimmäisvaatimuksiin (VV), joiden on täytyttävä tiettyyn vähimmäisarvoonsa. Toivomukset (T) otetaan huomioon mahdollisuuksien mukaan ja ne voivat nostaa koneen loppukustannuksia, riippuen toiveen laadusta. (Tuomaala, 1995, s. 80)

Tämän työn vaatimukset muodostuvat koneen käyttötarkoituksen ja siltä vaadittavien voimien ympärille. Työn vaatimuksista suurin osa on tullut luonnollisesti Stora Enson ohjaajilta, jotta suunniteltava kone vastaisi heidän tarpeitaan. Vaatimukset koneen geometriasta ja nopeudesta syntyvät siitä, että konetta on tarkoitus käyttää yhdessä muun kartongin konvertointilinjaston kanssa. Näin ollen koneen leveyden halutaan olevan mahdollisimman suuri, voimien ja telan taipumisen kuitenkin kasvamatta liian suuriksi. Koneen toimintanopeus muodostuu muun koneiston toimintanopeudesta. Koneen sijoittuminen osana isompaa konetta tuo myös vaatimuksen koneen linjaukselle, muuhun koneistoon nähden. Koneella saavutettava pintapaineen lukuarvo on saatu pakkaustekniikan laboratorion aikaisempien tutkimusten tuloksena, joten lukuarvoa voidaan pitää luotettavana. Vaatimuslista esitetään taulukossa 2.

Taulukko 2. Vaatimuslista.

KV VV T	VAATIMUS
	GEOMETRIA
KV	Painettava leveys 500 – 1500 mm
KV	Toimintatapa: kartonki ohjautuu yhtäjaksoisesti rullalta rullalle
KV	Kartongille siirrettävän kuvioinnin oltava yhtäjaksoinen
	VOIMAT
VV	saavutettava pintapaine 30 MPa/mm ²
VV	Toimintanopeus 60 m/min
KV	Työkalun lämmitysmahdollisuus
KV	Työkalun lämpötilan säätö
	KÄYTTÖ
KV	Hygieeninen
KV	Työkalun nopea vaihdettavuus
KV	Telojen linjaus mahdollista
T	Tarkka automaattinen säätö kartongin paksuuden mukaan
KV	Turvallinen käyttö ja kotelointi
	KUNNOSSAPITO
KV	Ei huoltoa normaalikäytössä
	KV = Kiinteä vaatimus VV = vähimmäisvaatimus T = toivomus

2.7.2 Abstrahointi

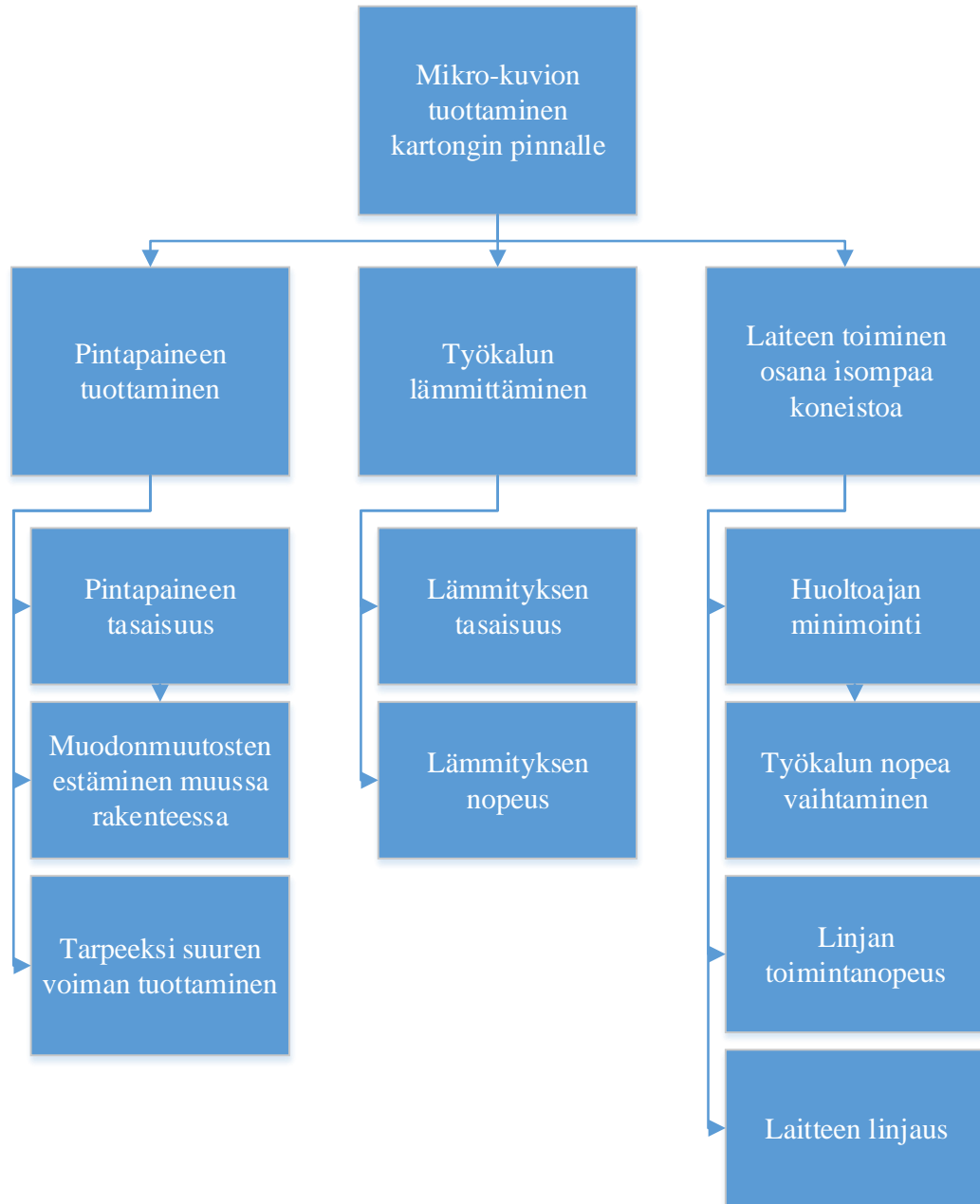
Konstruktiota suunnitellessa halutaan pyrkiä aina parhaaseen optimaaliseen ratkaisuun. Ajan kuluessa aikanaan optimaaliset ratkaisut harvoin pysyvät optimaalisina tekniikan, työmenetelmien ja ajattelutavan muuttuessa. Suunnittelun alkuvaiheessa saattaa olla syntynyt jo tarkkoja mielikuvia, kuinka vaatimuksiin ja niistä syntyviin ongelmiin lähdetään vastaamaan. Abstrahoinnissa on kyseessä kuitenkin oleellisten ongelmien tunnistamisesta ja mahdollisuudesta löytää uudentyyppisiä ratkaisuja. (Pahl & Beitz, 1992, s. 73.)

2.7.3 Toimintorakenteen laatiminen

Koneelle laaditussa vaatimuslistassa asetetut vaatimukset määräävät koneen toiminnon eli materiaalin käsittelyn koneen tulon ja lähdön välillä. Abstrahoinnilla ongelman muotoilusta saadaan aikaan tarvittava toiminto. Toimintorakenteen laatiminen tapahtuu yksinkertaisesti lohkokaaavion avulla, jossa materiaalille tapahtuvat toiminnot nivotaan tiiviisti yhteen. Lohkokaaviossa koneen toiminnat jaetaan kokonais- ja osatoimintoihin. Osatoimintoihin jakoa käytetään koneen kompleksisuuden kasvaessa, selventämään kokonaistoimintoja. Kompleksisuudella tarkoitetaan yleensä tulo- ja lähtösuureiden riippuvuuden epähavainnollisuutta, fysikaalisten tapahtumien moninaisuutta sekä rakenneryhmien ja osien lukumäärää. Lohkokaavio esitetään niin yksinkertaisesti ja konkreettisesti kuin mahdollista. (Pahl & Beitz, 1992, s. 81 – 82.)

Nyt suunnitteilla olevalla laitteella kokonaistoiminnot ovat varsin yksinkertaisia, mutta kartongille haluttujen muotojen hyvin tarkat yksityiskohdat lisäävät toimintojen vaatimuksia. Koneen toimintorakenne esitetään kaaviossa 1.

Kaavio. 1 Koneen toimintorakenne.

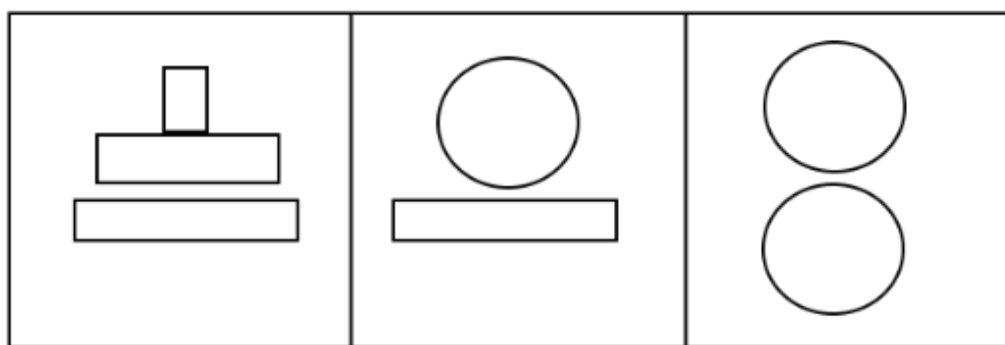


2.7.4 Ratkaisuvaihtoehtojen luominen osatoiminnoille

Toimintorakenteen jakaantuessa osatoimintoihin, osatoimintojen toteuttamiseen on hyvä kehittää useampia ratkaisuvaihtoehtoja. Ratkaisuvaihtoehdoissa otetaan huomioon osatoimintojen vaatimat fysikaaliset ilmiöt, sekä geometriset ja aineelliset vaatimukset. Erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja lähdetään etsimään kirjallisuudesta, tutustumalla jo olemassa oleviin samantapaisiin laitesovelluksiin, kuten erilaisiin stansseihin ja kohokuviointi -laitteisiin. Uusia fysikaalisia ilmiötä ei näin ollen tarvitse lähteä etsimään, sillä kartongin pinnanmuokkauksen perusidea on jo varsin vanha ja samantapaisia sovelluksia on ollut jo pitkään käytössä. Ratkaisuvaihtoehdoissa arvioidaan ratkaisun toteuttamisen järjestyttä ja soveltuvuutta annettuihin vaatimuksiin. Eri ratkaisuvaihtoehdoista kootaan lopuksi ideamatriisi, jossa esitellään kaikki osatoiminnoille esitetyt ratkaisut. Ideamatriisin avulla on helppo valita kokonaisratkaisun kannalta lopulliseen kokoonpanoon sopivat elementit. Näitä elementtejä aletaan taas kehittää eteenpäin. (Pahl & Beitz, 1992, s. 73.)

2.7.5 Pintapaineen tuottaminen

Koneen tärkein ominaisuus on tuottaa tarpeeksi suuri pintapaine kartongin pinnalle, jotta haluttu mikrokuvio saadaan synnytettyä kartongille. Mekaanisesti on toki olemassa muitakin pinnanmuokkausmenetelmiä kuin kohokuviointi esim. leikkaaminen, mutta joidenkin kartonkilaatujen pinnalla oleva ohut muovikerros voisi vahingoittua, joten tällaiset menetelmät karsiutuivat heti alussa. Lappeenrannan teknillisen yliopiston pakkaustekniikan laboratorio oli myös jo valmiiksi aikaisemmin tutkinut mikrokuvion siirtämiseen vaadittavaa pintapainetta ja lämpötilaa, joten pinnanmuokkauksen tuottaminen kohokuvioinnilla on varsin luonnollinen valinta sen tutun toimintamenetelmän takia. Menetelmiä pintapaineen tuottamiseen on esitelty kuvassa 31.



Kuva 31. Taso tasoa vastaan, tela tasoa vastaan, tela telaa vastaan.

Kuten aikaisemmin painotapojen esittelyssä vaihtoehdot rajautuvat taso tasoa vastaan, tela tasoa vastaan ja tela telaa vastaan tehtävään puristamiseen. Taso tasoa vastan puristamisen etuna on rakenteen yksinkertaisuus ja muotin helppo vaihtaminen, huolto, lämmityksen helppous ja tason aseman paikan tukeminen. Vaaditun pintapaineen ollessa kuitenkin 30 MPa/mm² jotta, tasolla päästäisiin haluttuun tuotantonopeuteen pitäisi tason pinta-alan olla varsin suuri, mikä nostaisi pintapaineen luomiseksi tarvittavaa voimaa merkittävästi. Myös vaatimusta yhtäjaksoisesta kuvioinnista on käytännössä mahdotonta toteuttaa tason avulla.

Tela tasoa vasten suoritettavassa puristamisessa, saavutetut höydyt ovat samat kuin taso tasoa vastaan. Telaa käyttäessä vaadittava puristusvoima pienenee merkittävästi, telan ja tason nipin eli kosketuspinta-alan pienenyessä suuresti. Tela tasoa vastaan puristamisen ongelmana on kuitenkin se että tason pysyessä paikallaan, on telaa pyöritettävä tason yli haluttu matka. Tämä lisää laitteen kompleksisuutta, eikä täyttää vaatimusta kuvion yhtäjaksoisuudesta saavuteta vielääkään. Myös laitteen toimintanopeuden saaminen haluttuun nopeuteen voi olla hankalaa.

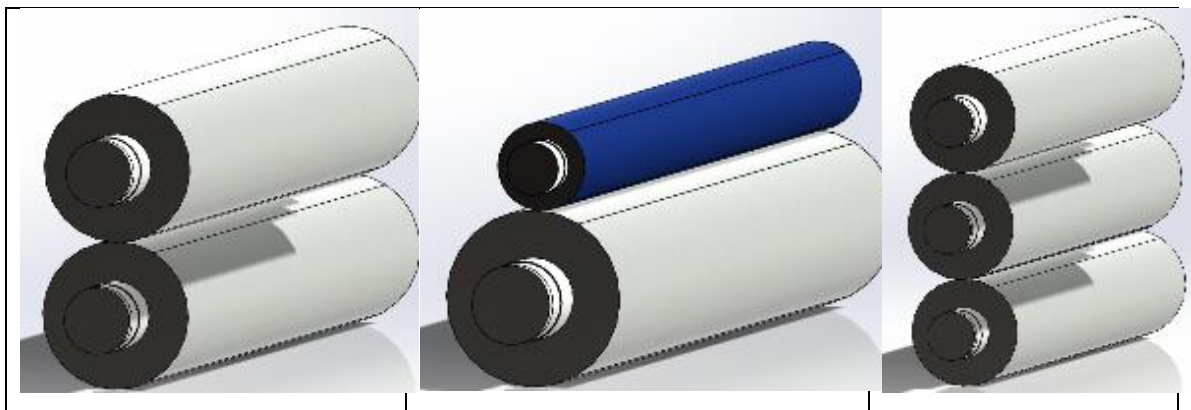
Tela telaa vasten suoritettu puristaminen on yleisin kohokuviointi muoto tämän tyyppisissä sovelluksissa. Kahden telan pieni nippi mahdollistaa suuren pintapaineen jo pienempääkin voimaa käyttäen. Samalla voidaan toteuttaa myös vaatimus kuvion yhtäjaksoisuudesta, tela kuvioinnin ollessa yhtäjaksoinen. Tällä menettelyllä saavutetaan myös tavoitenopeus kaikista yksinkertaisemmin. Menetelmän haittapuolina on pitkien pyörivien telojen taipumien estäminen ja telan lämmityksen hankaluus verrattuna kiinteään tasoon.

Valitulla kuviointitavalla on suuri merkitys suunnittelun jatkoa ajatellen ja suunnittelun muut osa-alueet ja päätökset tulevat ohjautumaan tämän päätöksen mukaisesti, joten kartongin kuviointitapa on järkevää päättää ennen kaikkea muuta. Kohokuviointi menetelmäksi valitaan tela vastaan telalla puristaminen sen ollessa yksinkertainen ratkaisu ja mahdollistaessa kaikkien vaatimusten täyttymisen.

2.7.6 Tarvittavan voiman määrittäminen ja telojen taipumien minimointi

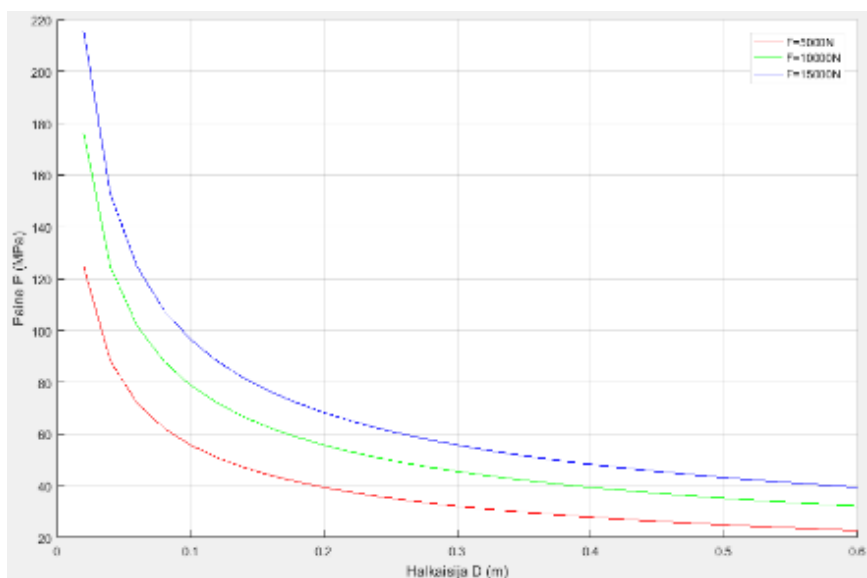
Kuten aikaisemmin funktionaalisten pintojen esittelyssä todettiin, pintojen muodostaminen vaatii n. 10 µm kokoisia muotoja. Tämä asettaa telojen taipumiselle erittäin pienet toleranssit, jotta kuvio saadaan muokattua hyvin kartongille. Telojen taipumiseen vaikuttaa

pääasiassa telojen halkaisija ja paineen synnyttämiseen käytetty voima. Suuri pintapaine saavutetaan suurella voimalla ja pienellä akselin halkaisijalla, mutta akselin taipumat kasvaisivat liian suuriksi. Telojen koon ja kokoonpanon suunnittelussa on löydettävä optimaalinen ratkaisu, joka tasapainottaa voiman, telanhalkaisija ja pintapaineen välillä. Tarvittavan voiman ja taipumien selvittämiseksi telojen pintapainetta ja taipumia lasketaan ensin yksinkertaisella mallilla analyttisesti, jonka jälkeen erilaisia ratkaisuja simuloidaan ANSYS workbench -ohjelmalla. Tätä prosessia iteroimalla päästiin haluttuun lopputulokseen. Telojen kokoonpanon suunnittelu aloitettiin kuvan 32 mukaisista kokoonpanoista.



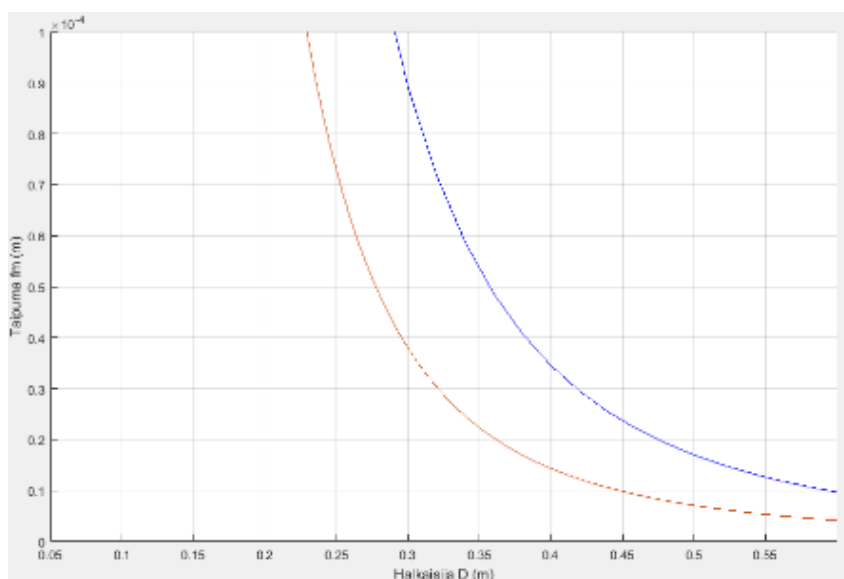
Kuva 32. Telojen kokoonpanoja.

Kaikista yksinkertaisin ratkaisu olisi kaksi päällekkäistä telaa, jolloin kartonki kulkisi niiden välistä. Ylemmällä telalla painettaisiin paikallaan pysyvää alatelaa. Helppo keino pintapaineen lisäämiseksi ilman voiman kasvattamista on myös toisen telan halkaisijan pienentäminen, jolloin alempi, paksumpi tela vielä tukee systeemiä ja estää taipumisen. Taipumia voi myös vähentää lisäämällä kolmannen tukitelan. Seuraavaksi selvitetään käytetyn voiman ja halkaisijan vaikutusta pintapaineeseen. Kahden samankokoisen telan pintapaine halkaisijan funktiona esitetään kuvassa 33.



Kuva 33. Pintapaine halkaisijan funktiona.

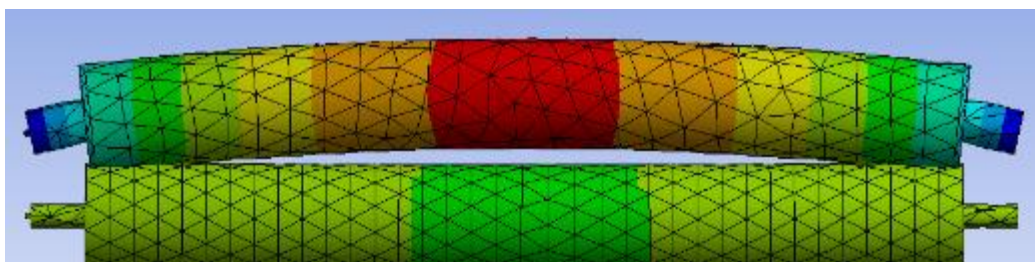
Käyrät ovat suuntaa antavia, sillä niissä teloja puristetaan toisiaan vasten samalla voimalla sekä ylä- että alapuolelta, kun taas suunniteltavassa laitteessa telaa painetaan vain yläpuolelta. Kuvaaja ei näin ota myöskään telan taipumaa huomioon, sillä vastakkaiset voivat tukevat toisiaan. Kuvasta saadaan kuitenkin hyvät lähtöarvot FEM-mallintamista varten. Seuraavaksi tarkastellaan telan halkaisijan vaikutusta telan taipumiseen. Yläpuolelta 30 000 N kuormalla rasitettuna umpiakselin ja putken taipuma halkaisijan funktiona esitetään kuvassa 34.



Kuva 34. Taipuma halkaisijan funktiona.

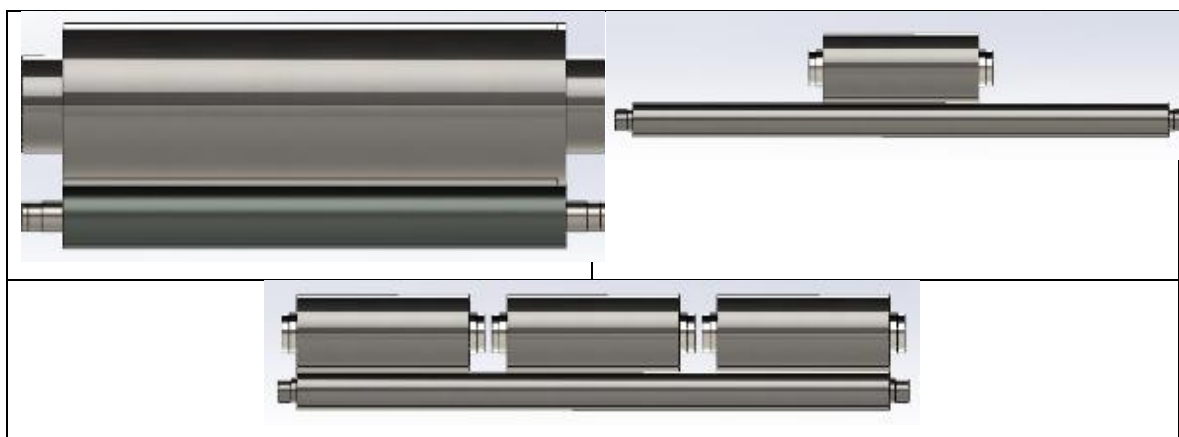
Jossa punainen käyrä kuvaa umpiakselia ja sininen 20 mm putkea. Kuvan 34 käyristä huomataan, että telan halkaisijalla on suuri vaikutus telan taipumiseen. Akselin ollessa 1500 mm pitkä, halkaisijan vaikutus taipumisen vähentämisessä alkaa pienentyä halkaisijan ollessa 500 mm. Taipumisen vähentämiseksi, joko siis kuvioidun telan on oltava halkaisijaltaan suuri tai sitä on tuettava suurella tukitelalla.

Telojen yhdessä taipumista tarkasteltiin analyttisten laskujen sijaan FEM-mallinuksella. Simuloinnilla nähtiin eri telojen taipuminen, telojen painautuessa toisiaan vasten. Simuloidessa halkaisijaltaan 200 mm, 1500 mm pituisen telojen painautumista toisiaan vasten huomattiin päällimmäisen telan taipuvan keskeltä ylöspäin kuvan 35 mukaisella tavalla. Tarkemmin systeemin mallinnuksesta kerrottiin ”Telojen mallinnus” kappaleessa.



Kuva 35. Ylätelan taipuminen.

Kuvassa 35 telan taivunta on ylikorostettu, eikä todellinen taipuminen ole kuin n. 10 μm . Ylöspäin suuntautunut taipuminen estää kuitenkin pintapaineen syntymisen telojen keskellä. Ylätelan ylöspäin taipumisen estämiseksi ideoituja vaihtoehtoja esitetään kuvassa 36.

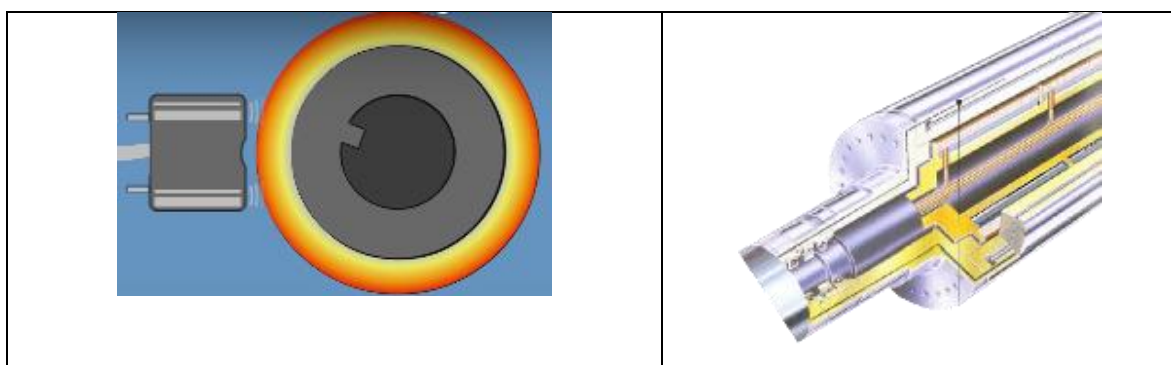


Kuva 36. Ideoita taipumisen estämiseksi.

Yksinkertaisin vaihtoehto olisi kasvattaa painotelan kokoa niin paljon, että taipuminen estyisi, tämä kasvattaisi koneen kokoa reilusti, eikä telan keskellä päästä tarvittaessa vaikuttamaan. Toisena vaihtoehtona telaa painettaisiin molemmista päistä ja keskeltä yhdellä 200 mm halkaisijaisella, lyhyellä tela, jolloin paine saadaan vaikuttamaan myös suoraan telan keskellä. Vaihtoehto on ensimmäistä monimutkaisempi, sillä se vaatii johteet lyhyen telan ohjaamiseen. Kolmas vaihtoehto on painaa alinta painotelaa pelkästään kolmella lyhyellä painotelalla. Vaihtoehto ei lisää osien määrää paljon verrattuna edelliseen ratkaisuun sille molemmissa vaihtoehdoissa myös sivuilla täytyy olla johteet ohjaamassa telojen liikettä. Kolmannessa vaihtoehdossa paine jakaantuu tasaisemmin kolmen telan välityksellä alemmalle telalle.

2.7.7 Työkalun lämmittäminen

Aikaisemmissa kartongin kohokuviointi kokeissa selvisi, että muotin lämmittämisellä on suuri vaikutus kuvion muovautumisessa kartongin pinnalle. Muotin tai tässä tapauksessa telan lämmityksellä saavutetaan suurempi hyöty kuin pelkän puristusvoiman suuruuden lisääminen. Lämmitystavan valinnassa otettiin erityisesti huomioon lämmön jakaantuminen kuviotelalle sekä kuviotelan vaihdettavuus lämmityslaitteet huomioon ottaen. Kuvassa 37 esitellään havainnekuvat ulko- ja sisäpuolisesta induktiolämmityksestä. Ulkopuolisessa lämmitysjärjestelmässä telan vireen asetetaan monta käämiä, jotka lämmittävät telan pinnan. Sisäpuolisessa lämmityksessä telan sisällä oleva käämistö saa telan lämpenemään ja lämpö jakaantuu tasaisesti kuoressa olevien kanavien kautta.



Kuva 37. Telan lämmitystapoja (Comaintel 2017; Tokuden Co.,Ltd 2017).

2.7.8 Laitteen toimiminen osana isompaa koneistoa

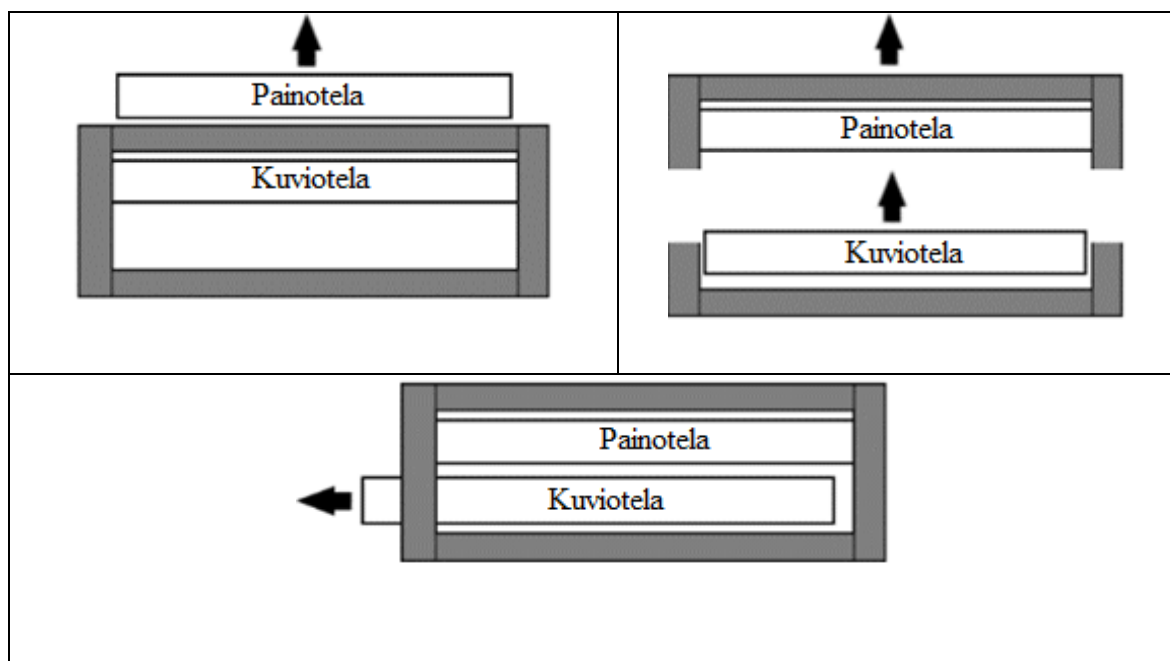
Laitteen ensimmäisessä suunnittelupalaverissa päätettiin, että laite tulisi toimimaan osana muuta kartongin käsittelykoneistoa. Näin ollen koneen nopeuden ja linjauksen täytyy olla muun koneiston mukainen. Laitteella on myös tarkoitus pystyä tuottamaan erilaisia pinnanmuotoja, kuviotelasta riippuen, eikä telan vaihtaminen saisi keskeyttää koneiston toimintaa kuin muutamien tuntien ajaksi.

Laitteen rungon suunnittelussa mallia haettiin teollisuuden vastaavista laitteista. Pinnan puristamiseen vaatimien voimien takia, vastaavia rakenteita lähdettiin etsimään rotaatiostansseista. Rotaatiostansseissa materiaalia leikataan tai siihen painetaan kuviota paineen avulla. Suunnittelussa lähdettiin etsimään laitetta, jonka rakenne on yksinkertainen, telojen vaihto ja kiinnittäminen helppoa. Rotaatiostansseissa tämän tapainen ratkaisu on kehitetty esim. Sandvikin rotaatiostanssiin, kuvassa 38.



Kuva 38. Sandvikin rotaatiostanssi (Sandvik 2015).

Laitteen rungoksi päätettiin suunnitella samaan tapaan yksinkertainen kehikkorakenne, johon telojen ja muiden koneenosien kiinnittäminen on helppoa. Rungon rakenne vaikuttaa myös suuresti kuviotelan vaihtamisen ratkaisuvaihtoehtoihin, joten on parasta, että runko on tarpeen tullen helposti muokattavissa. Ratkaisuvaihtoehtoja kuviotelan vaihtamiseen on esitelty kuvassa 39.

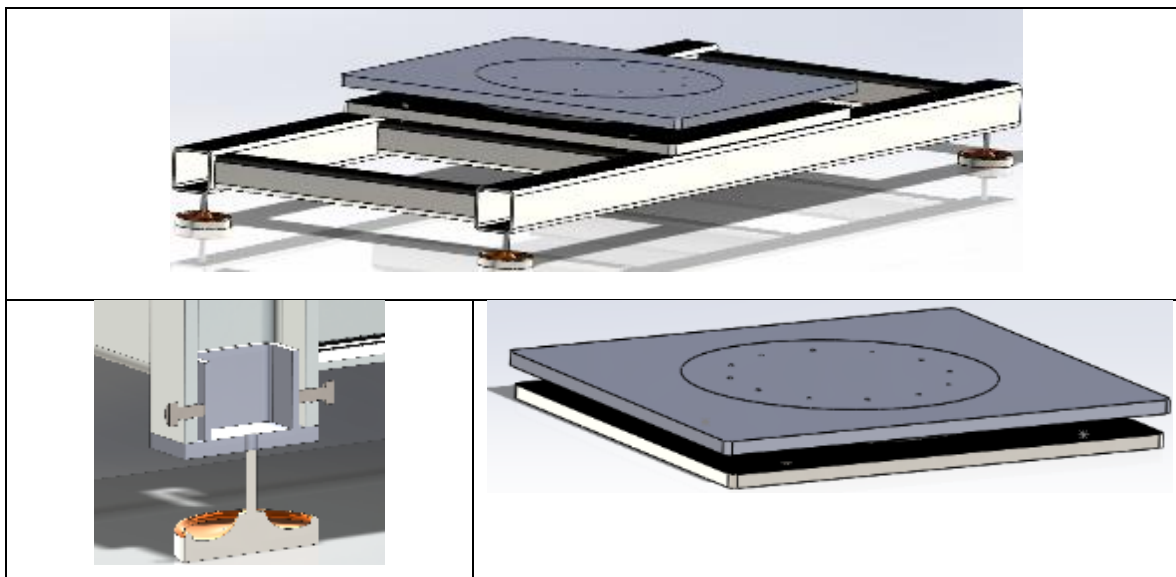


Kuva 39. Ideoita kuviotelan vaihtamiseen.

Suoraviivaisin tapa poistaa tela on poistaa se nostamalla tela yläkautta, tällöin runko pysyisi yhtenäisenä. Tämä tarkoittaisi käytännössä koko laitteen purkamista, sillä yläpuolelta olisi purettava kaikki paineen tuottavat sylinterit, mahdollisista paino- ja tukisylinteristä puhumattakaan. Ongelma saadaan poistettua yksinkertaisesti katkaisemalla runko kahtia. Tässä ratkaisussa kuviotela jäisi alapuolelle ja painotela ja sitä painavat sylinterit nostettaisiin yläpuolen kanssa pois edestä. Rungon katkaiseminen vaatii kuitenkin tarkan takaisinpaikoittamisen tappien tai olakkeiden kanssa. Tela voitaisiin myös vetää rungon keskeltä pois, jolloin runko voidaan pitää yhtenäisenä eikä laitteesta tarvitse purkaa mitään. Tämän mallisia ratkaisuja on käytetty paljon teollisuudessa, etenkin pienemmissä laitteissa. Telan ollessa kuitenkin 1500 mm pitkä sen massa putkenakin olisi yli 70 kg. Tämän mallinen ratkaisu olisi luultavasti myös haastavaa toteuttaa telan kolhiintumisen kannalta turvallisesti.

2.7.9 Laitteen linjaus

Laitteen toimiessa osana muuta koneistoa se on linjattava muun koneiston mukaisesti. Paperikoneen linjauksessa jo asteiden heitolla on suuri merkitys, joten linjauksen säätä vaatii tarkkaa ruuvisäätöä. Laitteen linjauksessa laite linjataan koko laitetta siirtämällä, jolloin yksittäiset telat ovat toisiinsa nähden koko ajan linjassa. Laitteen linjauksella ideoitii seuraavia ratkaisuvaihtoehtoja kuvan 40 mukaisesti.



Kuva 40. Laitteen linjaus.

Linjaus voitaisiin suorittaa asettamalla laitteen erilliselle linjausalustalle, jossa laite kiinnitetään keskeltä alustalla ja käännetään kääntökehän avulla. Linjauksen säätö ja paikalleen lukitus tapahtuu ruuvisäätimen avulla. Laitteen korkeussäätö suoritetaan konejalkojen avulla. Ratkaisun hyvän puoli on linjauksen säädön helppous. Koska linjaus tapahtuu yhtä ruuvia kääntämällä. Tämän mallinen linjausalusta vaati kuitenkin tarkan asennuksen ja valmistuksen. Jos kääntökehä ei ole tarkasti laitteen keskellä, laite kääntyy väärästä kohtaa ja linjaus epäonnistuu. Myös siihen nähden, että linjaustarve on vain muutamia asteita ja millimetrejä, alusta on varsin kompleksinen.

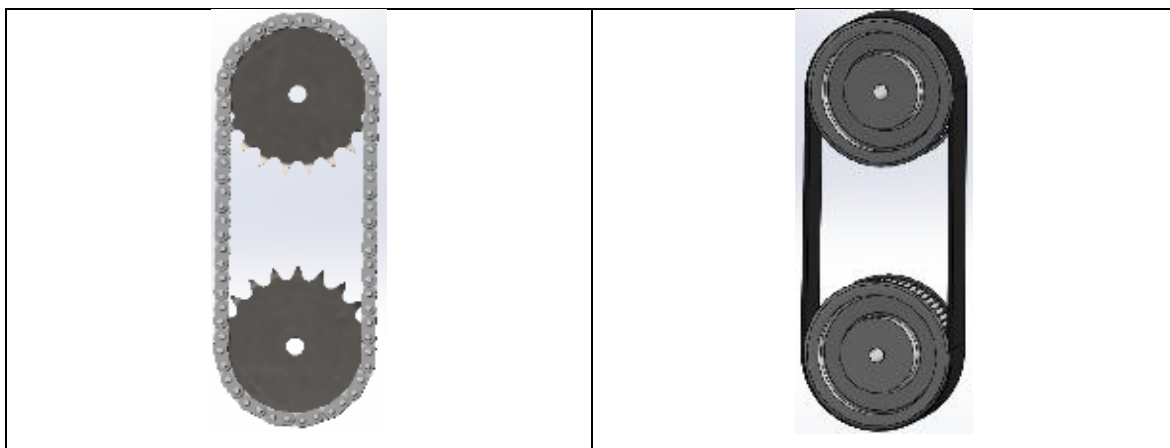
Toinen vaihtoehto linjaukselle on rakenteeltaan huomattavasti yksinkertaisempi. Ratkaisussa jokainen jalka säädetään erikseen, jalan sisälle tulevan palkin avulla. Ensimmäisestä vaihtoehdosta poiketen säätö tapahtuu nyt x- ja y-suunnassa ruuvien avulla. Korkeussäätö tapahtuu kuitenkin samalla tavalla konejalkojen avulla. Haitta puolena ideassa on, että laitetta on kevennettävä esim. nostamalla sitä ylöspäin linjauksen onnistumiseksi. Konejalat on myös kiinnitettävä lattiaan, sillä muuten ne siirtyisivät laitteen mukana linjauksen jälkeen.

Kolmas vaihtoehto on kompromissi kahden aikaisemman välillä. Siinä käytetään linjausalustan kääntökehää linjaukseen, mutta laite seisoo silti normaalisti omilla jaloillaan. Ideana olisi toteuttaa korkeussäätö edelleen konejalkojen avulla, mutta linjauksen ajaksi tunkata tai muuten nostaa laite hetkellisesti kääntökehän avulla ylös. Linjauksen jälkeen laite

lasketaan alas ja se jää tukevasti jalkojensa varaan. Tässä ratkaisussa linjaus joudutaan suorittamaan käsin tai ulkopuolisia säätimiä hyväksi käyttäen.

2.7.10 Kuviotelan pyörittäminen

Kartongin muokkaaminen tapahtuu kuviotelaa pyörittämällä. Kartongin pinnanmuokkauksen ollessa hyvin hienovaraista ja näin vaikuttavan vain toiselle puolelle kartonkia, ei telojen asennon tarvitse olla samassa tahdissa toisiinsa nähden. Näin ollen telojen pyörittämiseen riittää sopivan momentin tuottaminen ainoastaan kuviotelalle. Muut telat pyörivät vapaasti kuviotelan mukana. Suunnittelun lähtökohtana löytää yksinkertainen ja varma ratkaisu telan pyörittämiseen. Linjan toiminnan kannalta on tärkeää, että tela pysyy kokoajan samassa tahdissa. Kuviotelan pyörittämiseen ideoituja vaihtoehtoja nähdään kuvassa 41.



Kuva 41. ketju- ja hammashihnavälitys.

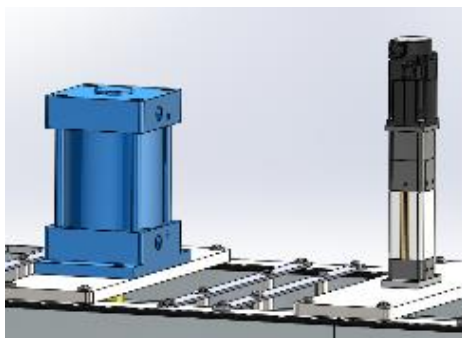
Hihnavälitys on yksinkertainen ja helppo ratkaisu pyörittämään kuviotelaa. Hihnavälityksen hihnapyörät ja hihna ovat osto-osia ja hihnat mitoitetaan yleensä valmistajan antamien ohjeiden mukaan. Hammashihnavälitys on muihin hihnavälityksiin nähden kalliimpi ja hieman äänekkäämpi valinta, mutta hammashihnavälityksen tarkkuus on muita hihnavälityksiä parempi. Muiden hihnavälitysten tapaan se on myös voiteluvapaa. (Airila Ekman, Hautala 2010, s. 604)

Ketjuvälitys on myös hyvin yksinkertainen ja hammashihnavälitystä halvempi ratkaisu. Ketjuvälityksen tarkkuus on myös hammashihnan tavoin hyvä. Ketjun vaihtaminen ja huoltaminen olisi hammashihnaa helpompi toteuttaa yksinkertaisesti ketjun katkaisemisella

ja mahdollisesti lenkkien vaihtamisella. Ketjuvälitys tarvitsee kuitenkin voitelun välityksen toimimiseksi. Varsinkin jos laite on suunniteltu toimimaan lähes 24 h vuorokaudessa, ketjuvälitys tarvitsee kokoaikaisen voitelun. (Airila, Ekman, Hautala 2010, s. 582)

2.7.11 Puristusvoiman tuottaminen

Sylinterivaihtoehtoiksi määriteltiin kaksi eri ratkaisua joko sähkökäyttöinen ruuvisylinteri tai ilmanpaineella toimiva painesylinteri. Hydraulisyylinterit karsiintuivat pois jo suunnittelun alkuvaiheessa, sillä niissä käytettävä öljy ei täyttänyt laitteen hygieniavaatimusta. Valmistajan 3d-malleista huomataan, että molemmat sylinterit ovat suunnilleen samankokoisia, joten sylinterin vaihtaminen ei tuota suuria muutoksia laitteen suunnittelussa. Ruuvi- ja ilmasylinterit esitetään kuvassa 42, jossa oikeanpuoleinen on ilmasylinteri ja vasen ruuvisylinteri.

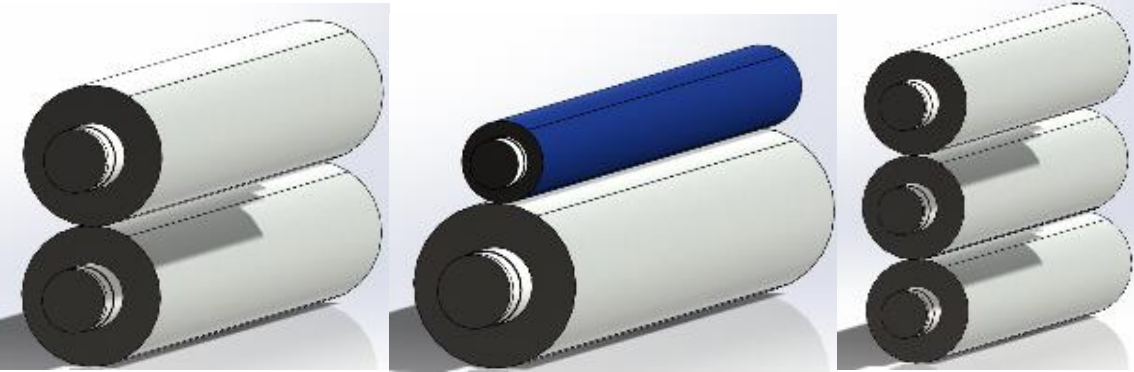
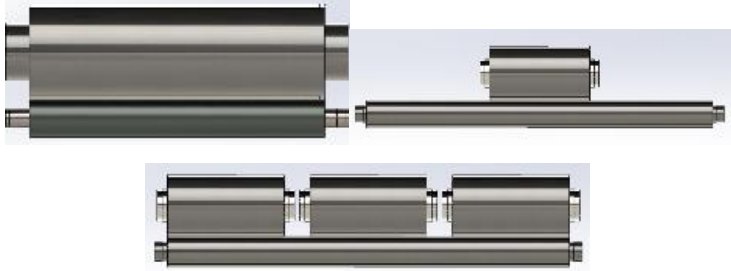
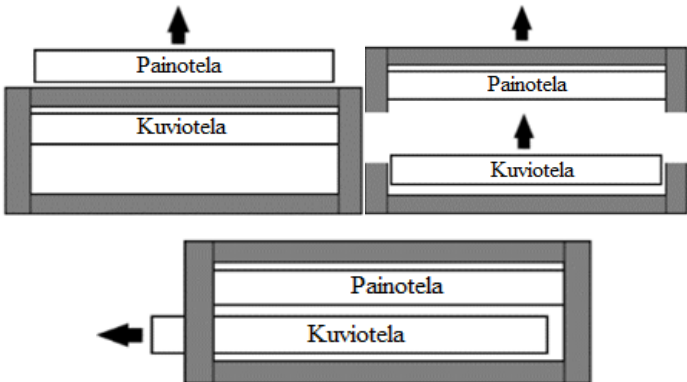
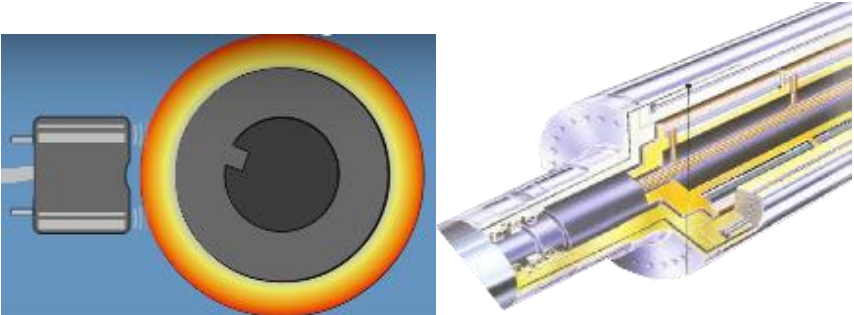


Kuva 42. Ilmasylinteri (vas.) ja ruuvisylinteri (oik.).

2.8 Ideamatriisi

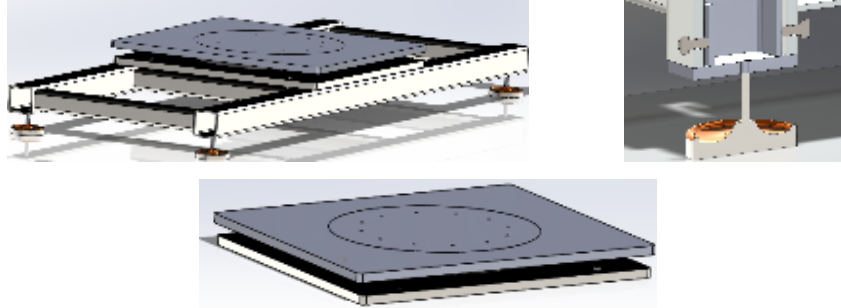
Kaikki edelle mainitut ehdotukset kootaan ideamatriisiin, josta nähdään tiivistetysti eri osatoiminnoille ideoidut ratkaisuvaihtoehdot. Ideamatriisin avulla löydetään helposti keskenään sopivat ratkaisuvaihtoehdot. Kartongin pinnanmuokkauslaitteen ideamatriisi on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Ideamatriisi.

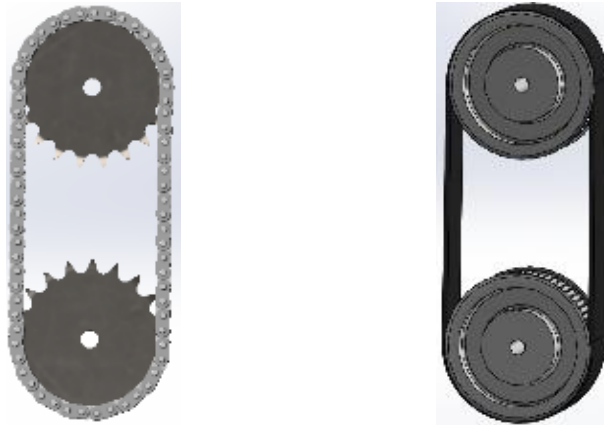
<p>Telojen kokoonpano</p> 
<p>Ylätelan taipumisen estäminen</p> 
<p>Kuviotelan vaihtaminen</p> 
<p>Telan lämmitys</p> 

Taulukko 3. Ideamatriisi jatkuu.

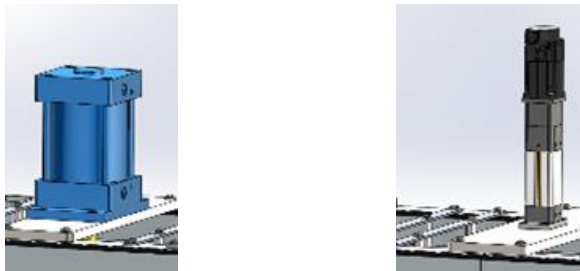
Laitteen linjaus



Telan pyörittäminen



Puristusvoiman tuottaminen



3 TULOKSET

Seuraavaksi arvioidaan ja valintaan laitteelle osat/osakokonaisuudet ideamatriisin ideoista. Laitteen kokoonpano ja sen sisältämät osat esitellään ja niissä tehtyjä ratkaisuja selvennetään yksityiskohtaisemmin. Kappaleessa käsiteltyjen osien osaluettelot ja itsevalmistettävien osien valmistuspiirustukset esitellään työn lopussa liitteissä VII – XX.

3.1 Ratkaisuvaihtoehtojen arviointi ja valinta

Ratkaisuvaihtoehtojen arvioinnissa muodostetaan parhaat vaihtoehdot toteuttamaan suunniteltu kokonaistoiminto. Kunkin osatoiminnon vaatimuksia selvennettiin jo osatoimintojen ratkaisuvaihtoehtojen esittelyssä, joten nyt selostetaan lähinnä valintoihin vaikuttaneet asiat. Arviointi suoritettiin käytännössä arvioimalla eri vaihtoehtoja pareittain ja päättämällä paras vaihtoehto. Arviointi voi vaikuttaa yksinkertaiselta, mutta ratkaisuvaihtoehtojen vertailu ja niistä päättäminen suoritettiin sekä Stora Enson että LUT:n ohjaajien avustuksella, joten prosessia voidaan pitää tarpeeksi kattavana.

Telojen kokoonpanon kriteerinä oli telojen taipumien minimointi, jolla varmistettiin pintapaineen jakaantuminen ja kuvion muodostuminen tasaisesti kartongille. Analyytisesti ja ANSYS:lla suoritettavien mittausten perusteella. Taipuman estämiseen tarvitaan suuri vähintään 500 mm läpimitaltaan oleva tela. Lasertyöstön hinta kuviotelan kaiverruksessa nousee kuitenkin suuresti telan pinta-alan kasvaessa. Näin ollen parhaaksi vaihtoehdoksi todettiin tukitelojen käyttö. Tukitelojen käyttö ei kuitenkaan tarkoita, että kaikkien telojen olisi oltava yhtä suuria.

Ylätelan taipumien estämisen kriteerinä olivat paineen tasainen jakaantuminen painotelalle, sekä paineen säädettävyys puristuksen aikana. Vertailussa parhaaksi vaihtoehdossa valikoitui painaminen kolmella pienellä telalla yhtä kelluvaa pitkää telaa. Tässä paineen säätö on kaikista vapainta, sillä jokaisen telan tuottamaa painetta säädetään erillisellä sylinterillä. Paine saadaan näin jaettua tasaisesti kaikilla kartonkilaaduilla.

Rungon suunnittelussa ensisijaiset kriteerit olivat yksinkertainen rakenne ja nopea ja turvallinen telan poisto. Vaihtoehdoista parhaaksi valikoitui rungon halkaiseminen kahtia.

Näin Kuviotelan vaihto toteutuu nopeasti ja helposti, eikä rungon takaisinpaikoittaminen ole ohjaustappien avulla kovin vaikeaa.

Telan lämmityksessä päädyttiin käyttämään induktiolämmitystä sen energiatehokkuuden ja telan tasaisen lämmityksen ansiosta. Molempia induktiolämmityksiä vertaillen huomattiin että ulkopuolinen induktiolämmitys soveltuu suunniteltavaan rakenteeseen ja käyttötarkoitukseen paremmin. Induktiolämmitysten vertailu esitetään taulukossa 4. Vertailussa vertailtiin Tokuden – yrityksen kehittämää sisäpuolista induktiolämmitystä ja Comaintelin – yrityksen kehittämää ulkopuoliseen induktiolämmitykseen.

Taulukko 4. Induktiolämmitystapojen vertailu

Ulkopuolinen Induktiolämmitys	+Telan vaihtaminen on helpompaa +lämmityslaitteisto vie tilaa vain lämmitettävän alan verran +Nopea lämmitys -Hieman kalliimpi vaihtoehto
Sisäpuolinen induktiolämmitys	+Nopea Lämmitys +Halvempi hinta -Kasvattaa lämmitettävän telan pituutta -kuviota vaihtaessa lämmitys laitteisto on vaihdettava uuteen kuvioituun putkeen -kuvioidut ulkokuoret on luultavasti tilattava jatkossakin Tokudenilta

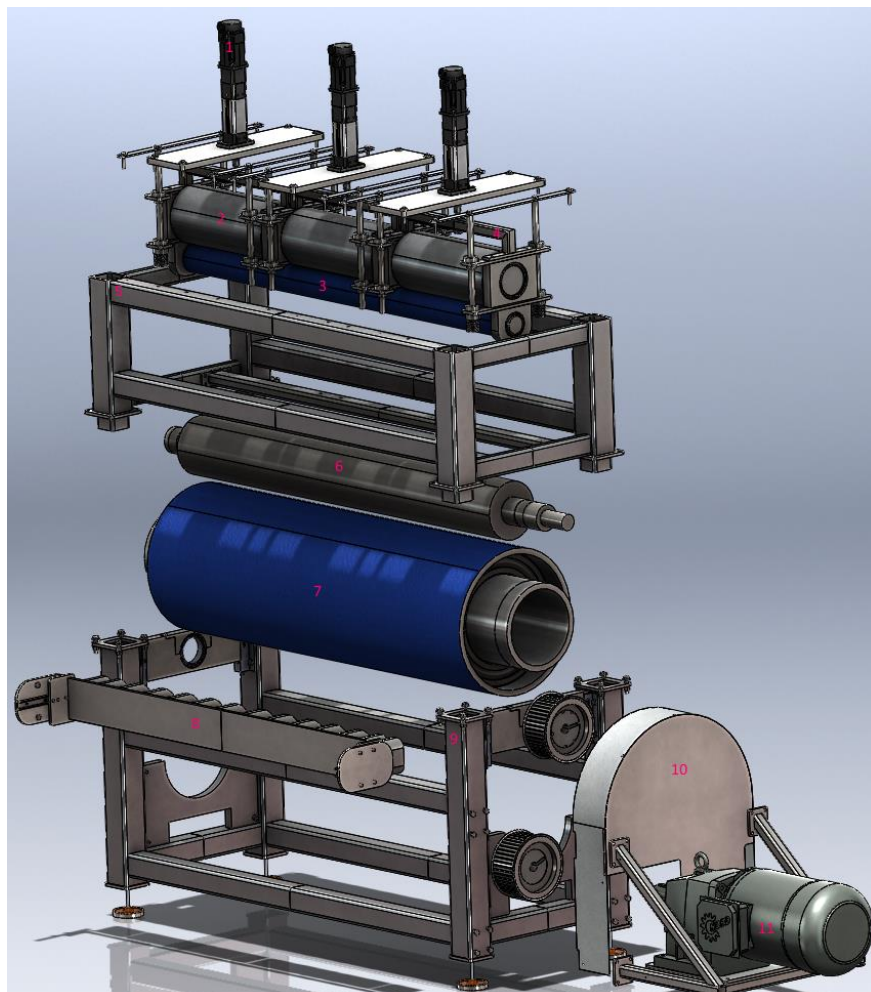
Laitteen linjaustavan lopullista valintaa vaikeuttaa ideoitten samankaltaisuus. Jokaisella ratkaisulla on niin hyvät kuin huonot puolensa, eivätkä mitkään ratkaisusta muuta laitteen muuta rakennetta ratkaisevasti. Toteutuksen kannalta mietittynä, harvoin tapahtuvan linjauksen takia, laitetta ei kannata sijoittaa pysyvästi erilliselle linjausalustalle, joka lisää mahdollisia virhekohtia laitteessa. Irtonaisen kääntökehän asemoiminen ja sen avulla tarkka linjaus vaatii paljon ulkoisia tuki ja säätölaitteita, mutta kääntökehän avulla linjaus on sujuvampaa verrattuna jokaisen jalan erilliseen säätämiseen. Kääntökehän voi myös poistaa

linjauksen päätyttyä, jolloin normaalin toiminnan kannalta turhia linjausosia ei jää laitteeseen.

Telan pyörittämistä varten valittiin hammashihnavälitys. Hammashihnavälitys valikoitui, koska sillä saadaan sama tarkkuus kuin ketjuvälityksellä, mutta se ei tarvitse voitelua.

3.2 Laitteen rakenne

Ennen yksityiskohtaisempaa osatoimintojen esittelyä, esitellään laitteen rakenne ja suurimmat osat/osakokonaisuudet. Laitteen toimintaperiaate muodostuu kolmesta ruuvisylinteristä, jotka painavat, jokainen erillistä pientä painotelaa. Pienet painotelat painavat yhdessä pitkää painotelaa. Painotelan ja kuviotelan välissä kartongin pinnalle puristetaan halutut muodot. Tukitelalla estetään muita teloja taipumasta liikaa. Laitteen rakenne ja tärkeimmät osat esitellään kuvassa 43.



Kuva 43. Räjätyskuva laitteen osista/osakokonaisuuksista.

Jossa:

1. Ruuvisyylinteri
2. Pieni painotela
3. Pitkä painotela
4. Pienten telojen kannatin, sisältäen telojen laakeripesät
5. Rungon yläosa
6. Kuviotela
7. Tukitela
8. Hahmotelma induktiolämmityksestä
9. Rungon alaosa, telojen laakeripesät, hihnavälityksen hammashihnapyörät ja laitteen konejalat
10. Hihnavälityksen suojus
11. Moottori ja sen kannatin

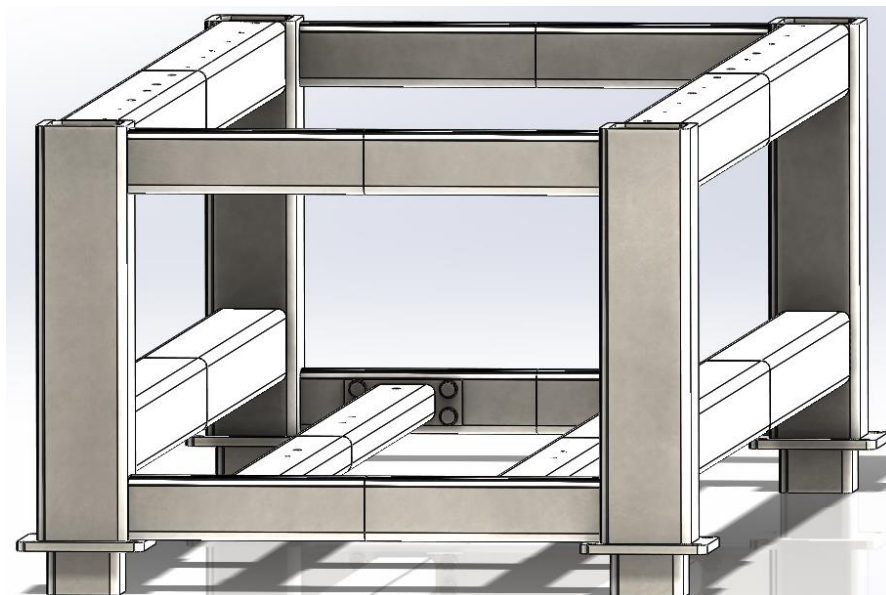
3.3 Osatoimintojen jatkokehitys

Seuraavaksi esitellään valittujen osatoimintojen jatkokehitys, jossa yksittäiset osat sovitetaan toimimaan yhdessä ja niille valitaan tai tarvittaessa suunnitellaan kiinnityselementit kuten laakeripesät, laakerit ja teloille ohjauspylväät. Telojen taipuminen ja syntynyt pintapaine varmistetaan simuloinnin avulla. Pintapaineen tuottamiseen tarvittava voima varmistetaan myös simuloinnin avulla, jonka jälkeen valitaan sopivat sylinterit. Ideointivaiheessa jo apuna käytettyä Solidworks 3d -mallinnusohjelmaa käytetään hyödyksi osien havainnollistamisessa ja sovittamisessa toisiinsa. Osatoimintojen jatkokehityksessä kone jakautuu karkeasti neljään osaan: rungon yläosaan, sisältäen painotelat ja sylinterit, alaosan tukitelaa ja kuviotelaa, induktiolämmitykseen sekä laitteen linjaukseen.

3.3.1 Rungon yläosa

Laitteen jakaantuessa kahtia juuri kuviotelan yläpuolelta, rungon yläosa vastaa pintapaineen tuottamisesta kuviotelalle. Rungon yläosaan kiinnitetään siis ohjauspylväiden avulla neljä telaa. Kolme 450 mm pituista telaa painaa yhtä 1550 mm pituista telaa, joka tuottaa pintapaineen kuviotelalle. Pienien telojen halkaisija on 200 mm ja pitkän telan 100 mm. Rungon yläosan rakenne esitetään kuvassa 44, jonka jälkeen yläosan muita elementtejä tarkastellaan yksityiskohtaisemmin. Muu runko liitetään yhteen hitsaamalla, mutta

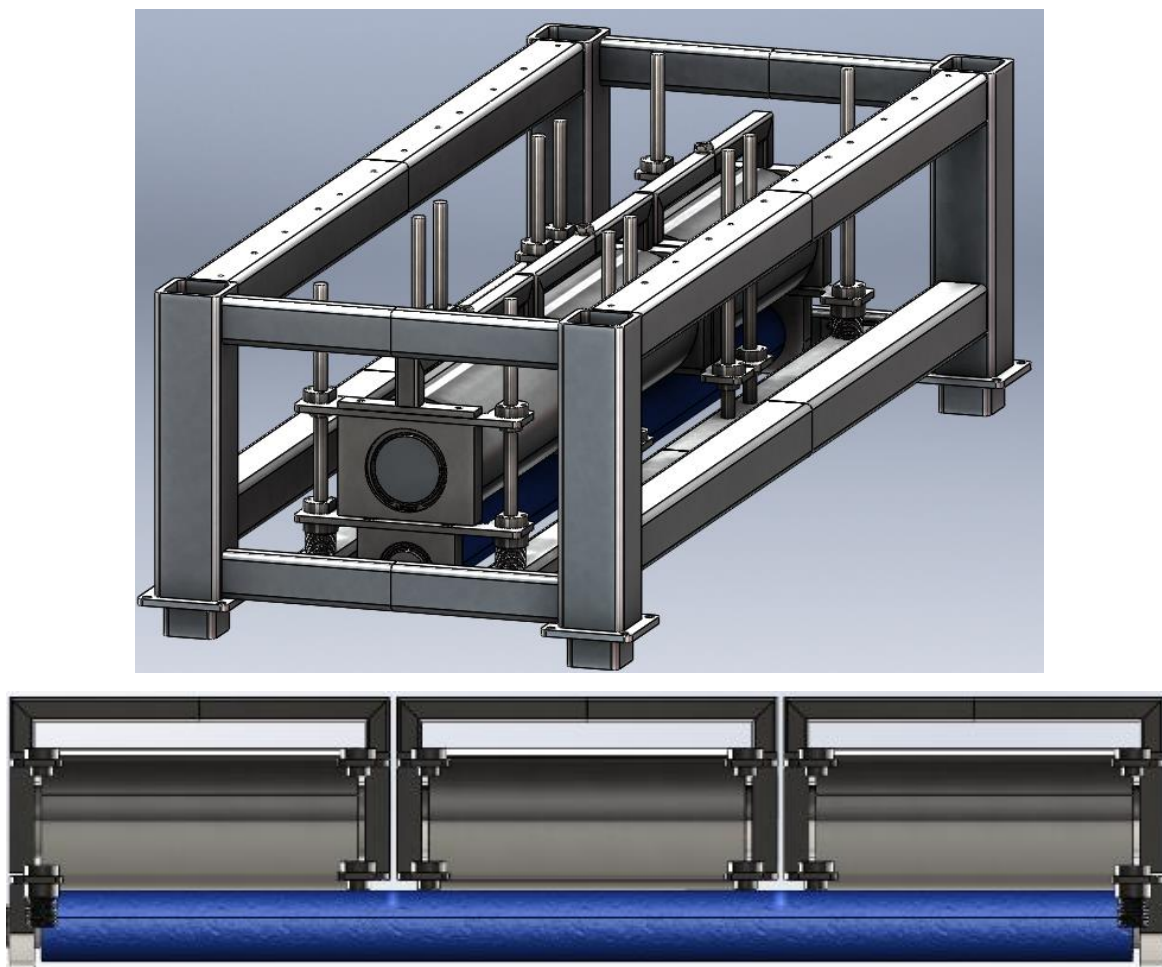
ohjauspylväiden alustat liitetään ruuviliitoksella, jotta niissä olevat reiät voidaan valmista suuremmilla toleransseilla.



Kuva 44. Rungon yläosa.

Sekä ylä- että alarunko rakentuvat pystyssä olevien 100 x 100 x 10 mm neliöputkipalkkien varaan. Putkipalkit liitetään yhteen ruuviliitoksella rungon liitoskohdassa olevilla laipoilla. Rungon yläosa on 1810 mm pitkä ja jalkoja lukuun ottamatta 465 mm korkea. Kuvassa 44 näkyvät jalat menevät alarungon pystypalkin sisään ja toimivat ohjaustappeina liitokselle. Runkojen ollessa erillään jalat estävät rungon teloja osumasta maahan.

Ylärungon keskellä olevat vaakapalkit toimivat alustana ohjauspylväille, joilla paikoitetaan kaikki telat. Ohjauspylväät liitetään runkoon ruuviliitoksella, joiden kierteiden porauksessa tulee olla erityisen huolellinen, jotta pylväät ovat linjassa. Ohjauspylväät kiinnittyvät alapuolelta palkkiin ruuvatuilla ruuvitangoilla, jotka ruuvataan kiinni alapalkin pohjaa vasten. Ohjauspylväät ja niissä olevat telat ja niiden kannattimet esitetään kuvassa 45.



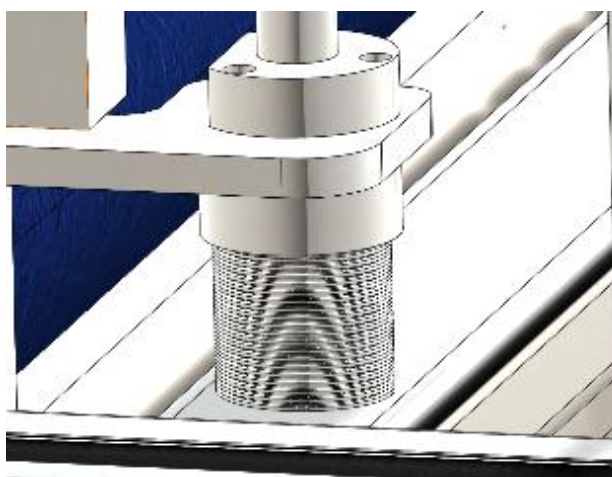
Kuva 45. Ohjauspylväät teloineen ja telojen kannattimet.

Jokainen tela on tuettu neljän ohjauspylvään varaan kuvan 45 mukaisesti. Pienet telat muodostavat jokainen oman yksikkönsä, jota painetaan sylinterillä telan keskeltä kuvassa näkyvällä yläpalkilla. Palkin avulla telat voidaan myös helpommin sijoittaa paikalleen yhden telayksikön painaessa yli 130 kg. Telojen laakeripesät jouduttiin suunnittelemaan itse sillä laakereiden koon ja telojen tiiviin asetelman vuoksi valmiina ostetut laakeripesät olisivat olleet liian suuret. Vaatimus telojen taipumiselle johti siihen, että laakereiden halkaisijat haluttiin mahdollisimman suuriksi teloihin nähden. Pienissä teloissa käytetään kuulalaakereita, mutta pitkässä telassa neulalaakereita. Neulalaakereita käytetään, sillä ne mahdollistavat suuremman kuormankantokyvyn pienemmällä laakerin halkaisijalla. Kaikki laakerit tuetaan laakeripesiin pidätinrenkaiden avulla.

Kuvaa 45 katsomalla huomaa, että keskimäinen laakeriyksikkö on tuettu ohjauspylvääseen neljästä kohtaa mutta reunimmat laakerit vain kolmesta, alimpien tukien puuttuessa. Tämä

johtuu siitä, että pitkän painotelan laakeripesän tuet eivät olisi muuten mahtuneet samoille ohjauspylväille. Paineen välittyessä suoraan pieniltä teloilta alimmalle telalle, telan on oltava ”kelluva” kuviotelan ja pienten painotelojen välillä. Kuvassa 45 olevan kapean painotelan sininen väri kuvaa telan pinnalla olevaa ohutta muovikerrosta, joka suojaa kuviotelaa, jos telat painautuisivat suoraan toisiaan vastaan ilman kartonkia. Telan muovikerrosta ei otettu huomioon aikaisemmissa simulointikokeissa, sillä sen ei oleteta vaikuttavan suuresti pintapaineeseen. Todellisuudessa muovikerroksen paksuudella on suuri merkitys paineen jakaantumisessa, varsinkin enemmän taipuvilla teloilla. Nyt suunnitellulla systeemillä telojen taipuminen on kuitenkin vähennetty minimiin ja suunniteltu muovikerros on varsin ohut, joka vain suojaa metalleja suoraan koskettamasta toisiinsa. (Aarts, Eijndhoven, Saes, Clevers 2012, s. 155)

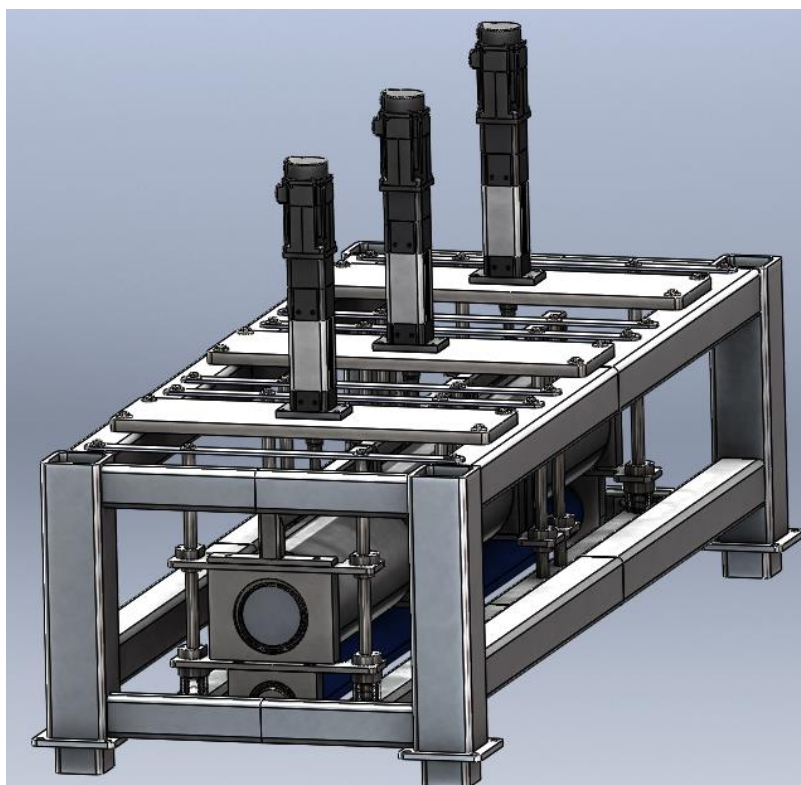
Ratarikon ja huollon kannalta koko telajärjestelmä lepää jousien varassa. Sylintereiden mennessä pois päältä, jouset nostavat telat n. 10 mm korkeuteen kuviotelasta. Näin ollen telojen muuten levätessä toistensa päällä nyt esim. huollon aikana ylärunгон ollessa poissa, laakeripesien kannattimet eivät painaudu suoraan runkoa vasten. Jouset voivat toimia myös mekaanisena varmuuskytkimenä ratarikon varalle nostamalla telat automaattisesti ylös paineen poistuessa. Jouset nähdään lähemmin kuvassa 46. Jousin yläpäässä on erillinen suojuus, joka estää jousen painautumisen suoraan ohjausholkkiin.



Kuva 46. Jousikannatin.

Kolmea pientä telaa painetaan jokaista omalla sylinterillä. Sylintereiden voiman suuruudeksi määritettiin simulointien avulla että 10 000 N per sylinteri on riittävä.

Laiteeseen päädyttiin valitsemaan ruuvisyylinteri, sillä suunnittelussa oli huolena, että paineella toimiva ilmasylinteri ei pystyisi pitämään tasaista painetta koko ajan. Sähkökäyttöinen ruuvisyylinteri ei myöskään tarvitse erillistä ilmanpaineputkistoa toimiakseen. Ilmasylinterien etuna olisi kuitenkin ollut portaaton paineen säätö. Valittu ruuvisyylinteri pystyy 0,03 mm paikoitustarkkuuteen. Valittu ruuvisyylinteri on Parker:n valmistama ETH050 9300 N sylinteri. Paikallaan olevat sylinterit ja ohjauspylväiden yläkiinnikkeet esitetään kuvassa 47.

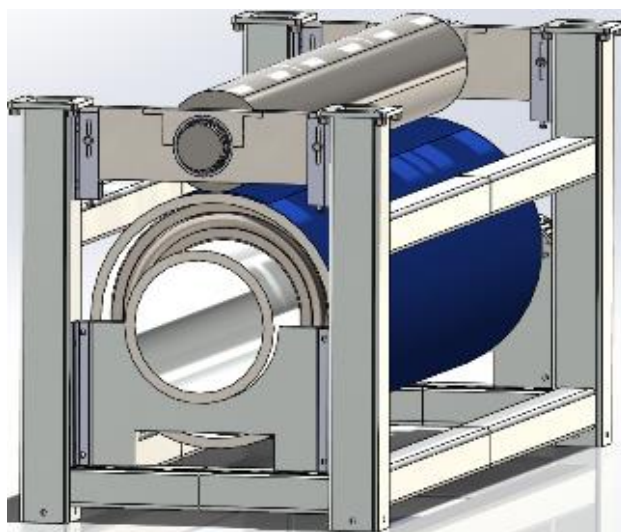


Kuva 47. Valmis rungon yläosa.

3.3.2 Rungon alaosa

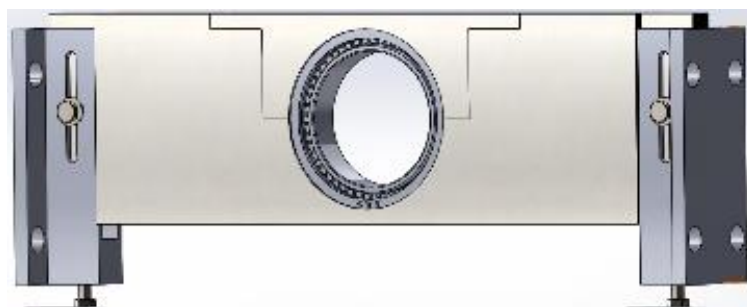
Rungon alaosa rakentuu samanlaisien pystyssä olevien 100 x 100 x 10 mm neliöputkipalkkien varaan kuin yläpuolikin. Alapuoli rungosta on myös 1810 mm pitkä sen korkeuden ollessa 820 mm, yläpuoli rungosta kiinnittyy alapuolella oleviin vastaavanlaisiin laippakiinnikkeisiin. Rungon alaosa sisältää kuviotelan, kuviotelaa tukevan tukitelan ja induktiolämmittimen kuviotelan lämmittämistä varten. Sekä kuviotela että tukitela ovat molemmat 1550 mm pitkiä. Kuviotelan halkaisija on 200 mm ja tukitelan halkaisija 500 mm. Muista teloista poiketen tukitela on 20 mm seinämäpaksuinen putki, joka tuetaan

laakereilla 20 mm paksuiseen, halkaisijaltaan 300 mm putkeen. Tukitelana päätettiin käyttää putkea, sillä umpinainen akseli olisi ollut käyttötarkoitukseen nähden kohtuuttoman painava. Tukitelan ”kuoren” ja akselin yhteispaino on nyt jo yli 850 kg, umpinainen kuviotelakin painaa n. 400 kg. Kaikkien telojen materiaalina käytetään terästä. Myös tukitelan pinnalla on ohut muovikerros suojaamaan kuviotelan herkkää pintaa. Rungon alaosa teloineen esitetään kuvassa 48. Kuvan selkeyden vuoksi siinä ei esitetä induktiolämmitystä. Valitusta induktiolämmityksestä kerrotaan erikseen omassa kappaleessaan.



Kuva 48. Rungon alaosa teloineen.

Myös kuviotelalle jouduttiin suunnittelemaan oma laakeripesä, sillä valmiit laakeripesät olisivat olleet liian suuria. Laakeripesän ja laakerin suunnittelua ja valinta rajoitti pitkälti rungon katkaisukohta. Runko on katkaistava hieman kuviotelan pinnan alapuolelta, jotta ylärungon ohjauspylväät saadaan riittämään tarpeeksi alas ja kuvio- ja painotelan pinnat saadaan hallitus koskettamaan toisiaan. Pitkän painotelan tavoin myös kuviotelan laakerit ovat neulalaakereita ja ne on tuettu pidätinrenkailla. Kuviotelan laakeripesään suunniteltiin myös korkeussäätö, jotta se saadaan varmasti tuettua koko matkaltaan tukitelan kanssa. Korkeussäätö sallii pienet epätarkkuudet ja halkaisijoiden muutokset sekä kuvio- että tukitelassa. Kuviotelan helppoa vaihtoa varten laakeripesän voi myös avata, jolloin kuviotelan saadaan nostettua pois ilman että telan korkeussäätöä tarvitsee muuttaa. Laakeripesä ja sen kiinnikkeet esitetään tarkemmin kuvassa 49.



Kuva 49. Laakeripesä ja sen kannattimet.

Koneen muista teloista poiketen tukitelan keskusakseli tuetaan jäykästi paikoilleen yksinkertaisilla jaloilla, jotka ruuvataan kulmarautojen avulla runkoon. Tukitela pyörii isojen kuulalaakereiden avulla keskusakselinsa ympäri, jotka tuetaan keskusakseliin ja ulkokuoreen kuvan 50 osoittamalla tavalla.



Kuva 50. Halkileikkaus tukitelasta.

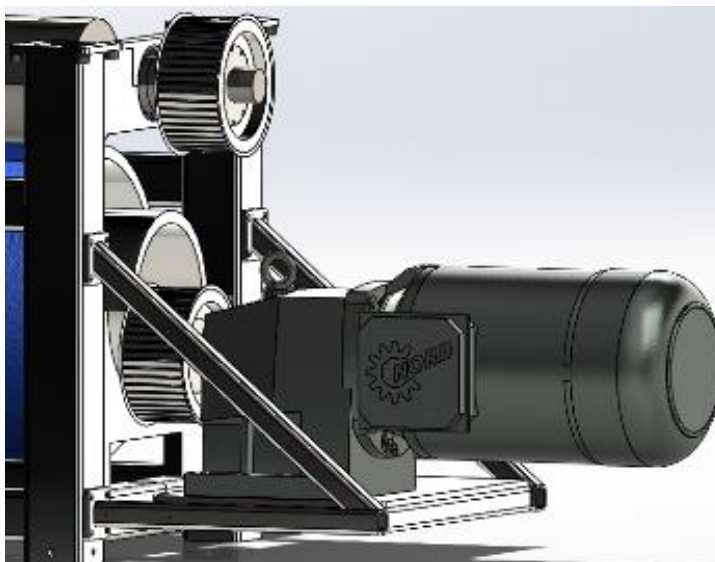
Kuvasta nähdään että laakerit sijoitetaan tukitelan sisälle. Molemmat laakerit sijaitsevat 75 mm päästä tukitelan ulkoreunasta. Laakereiden sijoittaminen telan sisälle auttaa vähentämään telaan syntyvää taipumista, laakerivälin pienentyessä. (Aarts,Eijndhoven, Saes, Clevers 2012, s. 160)

3.3.3 Moottori ja hammashihnavälitys

Kuviotelan pyörittämisen käytetään vaihesähkömoottoria. Vaihesähkömoottorissa vaihde on sijoitettu valmiiksi moottorin päähän, eikä moottoriin välitystä tarvitse muuttaa enää hihnapyörien koolla. Laitteen tuotantonopeudeksi vaadittiin 60 m/min, joten halkaisijaltaan 200 mm telan nopeus on 100 rpm. Moottorin tarvittavaksi vääntömomentiksi laskettiin 2000

Nm, joten kierrosnopeuden ollessa 100 rpm moottorin tehoksi määritettiin n. 21 kW. Tarkemmat laskut esitetään liitteessä III. Moottoriksi valittiin Nord gears:n valmistama SK52-180LX/4 22kW vaihesähkömoottori. Hammashihnavälitykseen valittiin valmistajan valintaohjelmaa apuna käyttäen 48 hampaiset kiilakiinnityksellä olevat hammashihnapyörät. Moottorin akselin suuri koko vaati hammashihnapyörän kiinnittämiseen kartiomaisen sovitusholkin, joka ruuvataan kiinni hammashihnapyöriin. Hammashihnapyörät kiinnitetään sekä moottorin että kuviotelaan kiilaliitoksilla. Kuviotelaan suunniteltiin liitosta varten SFS-2636 standardin mukainen tasakiilaliitos vastaamaan moottorin kiilaliitosta. Hammashihnaksi valittiin valmistajan ohjeiden mukaan 1,568 m pituinen ja 112 hampainen hihna. Hihna mitoitettiin kestävämmän, suurimomenttinen, hidas kierrosnopeus. Hihnan kiristys suoritetaan moottoria siirtämällä. Siirtämistä varten moottorin tasossa on laitteen päädyn suuntaiset leveät ruuvinreiät.

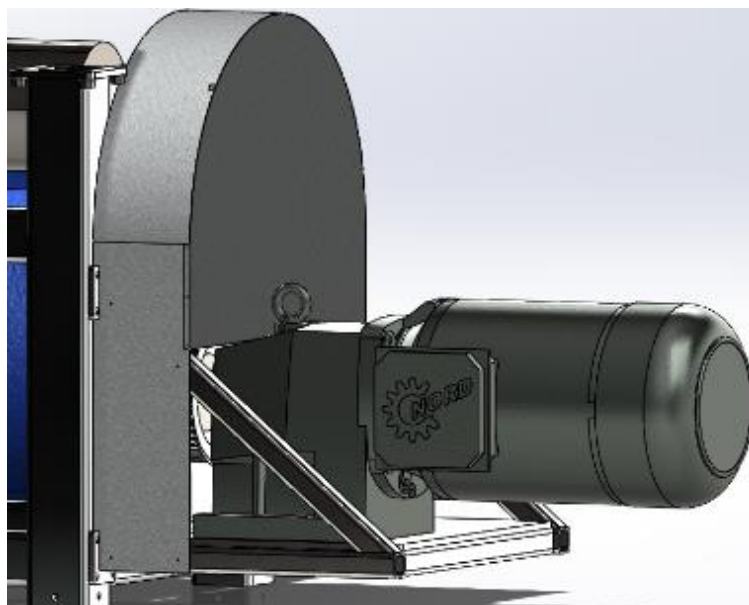
Laitteen linjauksen takia moottori asetetaan koneen kylkeen kiinnitettävälle tasolle, joka on irti lattiasta. Laitetta voidaan näin tarvittaessa linjata ilman moottorin siirtämistä. Varsinkin hihnan kulumiselle on tärkeää, että hihnapyörät ovat tarkasti linjassa toisiinsa nähden. Moottori esitetään tason ja hihnapyörien kanssa kuvassa 51.



Kuva 51. Moottori tasollaan.

Hihnapyörien ja hihnan pyöriessä 100 rpm ne suojataan standardin SFS-EN 1034-1 mukaisesti kotelolla estäen minkään tarttumisen hihnaan sen pyöriessä. Kotelo valmistetaan

kahdesta metallilevystä taittamalla, jotka kiinnitetään toisiinsa niiteillä. Kotelo kiinnitetään moottorin tason vino- ja vaakatukiin ruuveilla. Kotelo esitetään paikallaan kuvassa 52.



Kuva 52. Hihnapyörien ja hihnan kotelo.

3.3.4 Ulkopuolinen induktiolämmitys

Telan lämmittämisen käytettävä induktiolämmitysjärjestelmä muodostuu erillisistä käämeistä, jotka asennetaan vieriviereen lähelle lämmitettävää telaa. Comaintelin tarjoaa käämejä 60, 75 ja 120 mm levyisinä. Lämmityksen rakentumista varten Comainteliltä pyydettiin hahmotelmaa tarvittavista käämeistä ja niiden kiinnityksestä. Comaintel tarjosi ratkaisuksi 14 käämiä, jotka koostuvat neljästä reunoille sijoitetuista 75 mm käämistä ja keskelle sijoitetuista 120 mm käämeistä kuvan 53 mukaisesti.



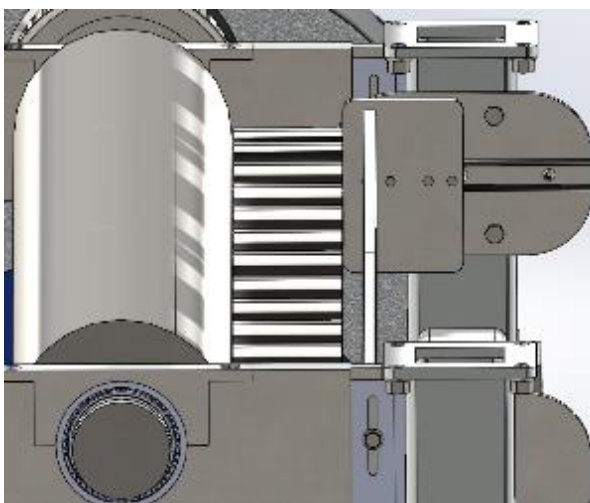
Kuva 53. Tarvittavat käämit.

Käämit muodostavat yhdessä 1500 mm pituisen lämmitettävän alueen. Käämit kiinnitetään lähelle telaa erillisellä palkilla, joka tuetaan rungon alaosaan. Käämit tarvitsevat toimiakseen OptiDriver virtalähteen. Yksi moduuli tuottaa virtaa kahdelle käämille, joten koko telan lämmittämiseen tarvitaan kahdeksan moduulia. Virtalähteet sijoitetaan sähkökaappiin mahdollisimman lähelle laitetta. Käämien avulla tela pitäisi pystyä lämmittämään 20 C° –

110 C° n. 8 – 9 minuutissa. Telan lämmitykseen kuluu energiaa n. 5 kW ja telan lämpimänä pitämiseen 2 kW. Sähkökaappi virtalähteineen ja esimerkki käämien sijoittautumisesta palkkiin esitetään kuvissa 54 ja 55. Kuvaan 55, käämien sijoittautumisesta kuulu lopullisesti käämien oikeanlainen kiinnitys ja käämien sähköjohdot.



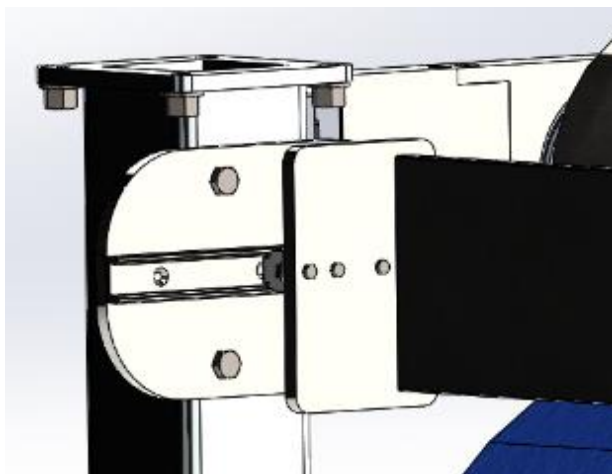
Kuva 54. Virtalähteet sähkökaapissa.



Kuva 55. Esimerkkihahmotelma käämien sijoittautumisesta palkissa.

Lämmitysjärjestelmän lopullinen rakenne ja kiinnitys laitteeseen toteutettaisiin Comaintelin avustuksella, mikäli lämmitysjärjestelmä päätetään tilata heiltä. Tässä tapauksessa Comaintel vastaisi pitkälti lämmityslaitteen mallintamisesta ja sen kiinnittämisestä. Koko lämmitysjärjestelmän hinnaksi arvioitiin 60 000 \$. Häiriötilanteen varalle, jossa kartonki liimautuu telaan ja alkaa pyöriä sen ympäri, käämpalkki voitaisiin kiinnittää esim. liukulaakereihin, joka siirtyy pois edestä kartongin kelautuessa, tämänkin lopullinen suunnittelu onnistuu kuitenkin vasta Comaintelin avustuksella. Käämit voidaan teoriassa asentaa kummalle puolelle telaa tahansa, mutta käämien kiinnityspalkki kannattaa sijoittaa

kartongin syöttöpuolelle esim. juuri häiriötilanteen varalta, jolloin kartonki painaisi induktiopalkin alapuolelta syrjään. Hahmotelma varajärjestelmästä liukulaakereiden kanssa toteutettuna esitetään kuvassa 56.



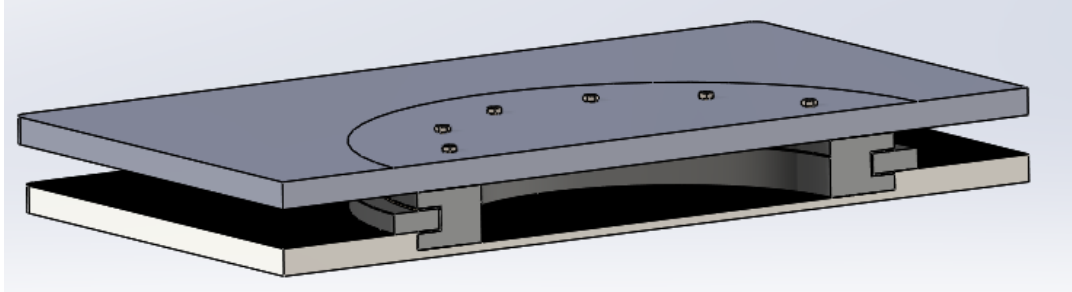
Kuva 56. Induktiolämmittimen telakan luonnostelma.

3.3.5 Linjaus ja korkeussäätö

Laitteen korkeussäätö toteutetaan yksinkertaisesti konejalkojen avulla kaikissa linjausvaihtoehdoissa. Laitteen yhteispainoksi ollessa n. 2900 kg ja varmuuskertoimena 2, neljän konejalan tulee kestää 5800 kg kuorma. Jalaksi valitaan Sks:n tuoteluettelosta 25000 N kuorman kestävä muovinen jalka. Jalka on pallonivelletty ja se sallii $\pm 15^\circ$ kaltevuuden. Korkeuden säätövaraa jalassa 150 mm. Jalat kestävät siis vaaditun kuorman helposti. Pienemmän kuormankantokyvyn omaavien jalkojen pohjan halkaisija olisi jäänyt liian pieneksi. Nyt valitun jalan pohjan halkaisija on 103 mm ja takaa laitteen vakaan tuennan, yksitellen ruuvisäädöllä tai hybridi – mallilla linjatessa. Jalkojen ruuvin ollessa säädettynä 75 mm laitteen pohjan ja lattian väliin jää n. 171 mm, alimmillaan väli on 96 mm.

Linjausta varten suunniteltu kääntökehä koostuu kolmesta osasta: liukulaakerista ja siihen kiinnitettävistä kahdesta levystä. Liukulaakeriksi valitaan halkaisijaltaan 450 mm, Iglidur PRT-01 liukulaakeri. Kääntökehän kokonaiskorkeus molempien levyjen kanssa on 68,5 mm. Linjauksessa alin levy tuetaan valittuun nostolaitteeseen kuten esim. trukkiin tai tunkkiin. Ylälevy voidaan asemoida paikalleen ohjaustappien avulla. Kääntökehä kääntyy 400 Nm momentilla, joten kääntökehän kiinnittämiseen laitteeseen ja maahan riittää ohjaustappien

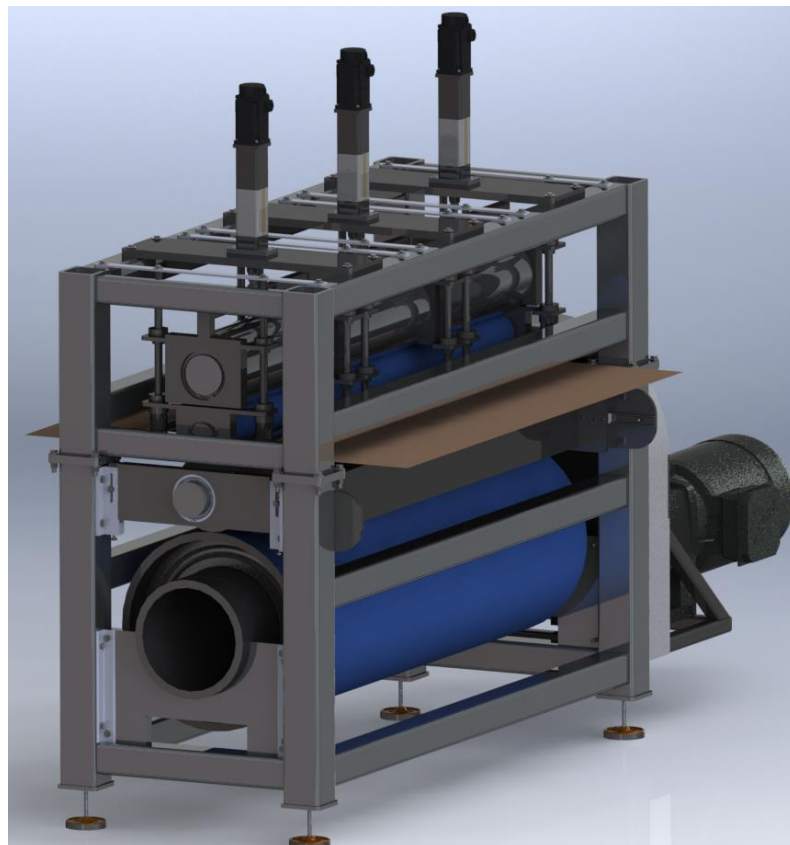
lisäksi hyvin laitteen oma paino. Kääntökehän halkileikkaus esitetään kuvassa 57, kuvassa nähdään liukulaakerin sijoittuminen levyjen keskelle.



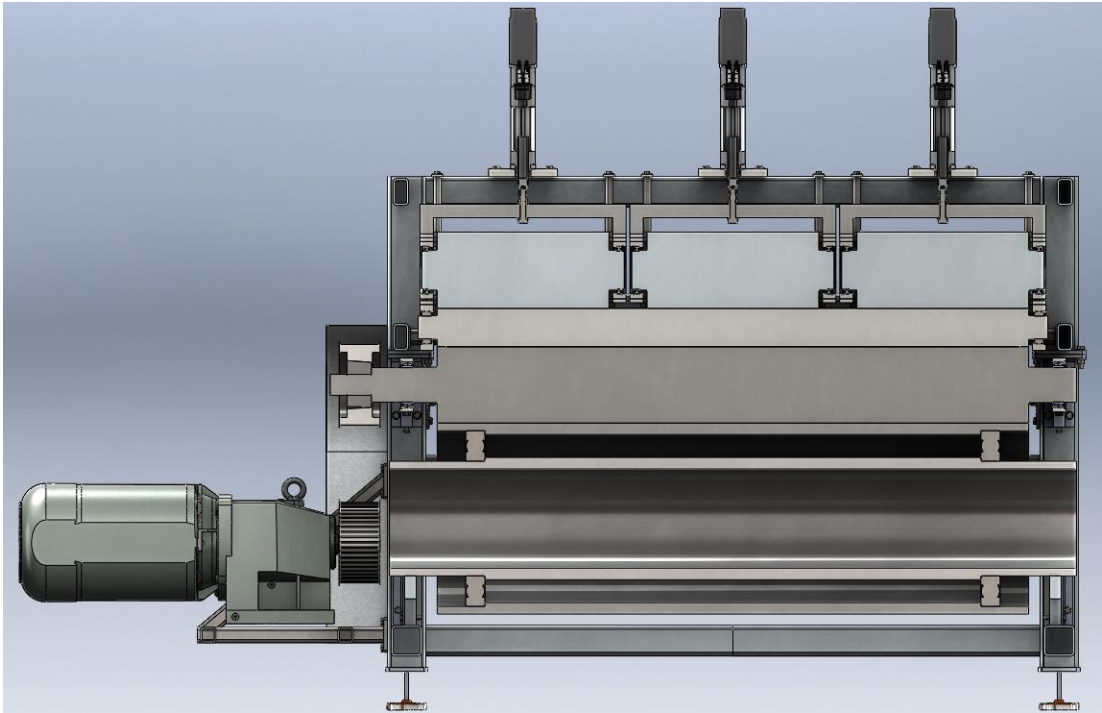
Kuva 57. Kääntökehä.

3.4 Valmis laite

Valmiin laitteen korkeudeksi tuli 1396 mm ilman ruuvisyylintereitä ja 1837 mm niiden kanssa, laitteen jalkojen korkeuden ollessa säädettyinä puoliväliin. Laitteen rungon leveys on 720 mm ja pituus 1810 mm, moottorin kanssa laitteen pituus on 2772,60 mm. Laite painaa kokonaisuudessaan n. 2700 kg, josta laitteen yläosan osuus on n. 820 kg. Valmis laite esitetään kuvassa 58 ja sen halkileikkaus kuvassa 59.



Kuva 58. Kartongin pinnanmuokkauslaite.



Kuva 59. Halkileikkaus pinnanmuokkauslaitteesta.

4 TULOSTEN ANALYSOINTI

Kartongin mekaaniseen pinnan muokkaamiseen tarkoitettu kone suunniteltiin. Laite täyttää kaikki sille vaatimuslistalla asetetut vaatimukset. Laiteella pystytään tuottamaan 1500 mm leveydeltä pintakuvioitua kartonkia 60 m/min. Työssä tutkittiin myös erilaisten mekaaniseen pinnanmuokkaukseen soveltuvien funktionaalisten pintojen ominaisuuksia ja käyttökohteita. Tutkimuksessa havaittiin, että kohokuviointi on yleensä n. 10 μm korkea riippuen halutusta kuviosta. FEM-mallinuksessa saatujen tulosten perusteella laitteen telat taipuvat enintään n. 7 μm . Telojen päiden ja keskikohdan ero taipumisessa on kuitenkin vain 5 μm ja paino- ja kuviotelan taipuminen on yhdenmukaista, näin ollen taipumisen ei pitäisi olla este kuvion siirtymiselle.

Suunnittelussa pyrittiin mahdollisimman yksinkertaisiin ratkaisuihin kuitenkin vaatimuksia unohtamatta. Laite koostuukin pääasiassa erikokoisista teloista ja niiden tuennasta. Laitteen rakennetta monimutkaistivat erilaiset säätömahdollisuudet kuten pintapaineen säätö kolmella telalla ja kuviotelan helppo poistaminen ja asemoiminen.

Normaalikäytössä laite ei tarvitse huoltoa, ajoittaisiksi huoltokohteiksi laiteeseen jää hammashihnan vaihto ja kuviotelan vaihto sitä vaihtaessa tai puhdistaessa. Kuviotelan likaantuminen riippuu luultavasti eniten käytetystä kartonkilaadusta, telan lämpötilasta, joten se selviää lopullisesti vasta prototyypitesteissä. Lopullinen tarvittava pintapaine selviää myös vasta prototyypitesteissä. Telan vaihto onnistuu vain koneellisesti, johtuen luonnollisesti telan ja yläosan painosta.

Laitteen valmistuksessa tulee kiinnittää erityistä huomiota telojen keskinäiseen sijoittamiseen. Telojen korkeuden asettaminen ei tarvitse olla niin tarkkaa, sillä kapea painotela on käytännössä kelluva ja pienet painotelat kiinnitettyinä sylintereihin, vaikka tukitela on kiinnitetty kiinteästi, kuviotelassa on korkeussäätö. Telojen horisontaalisessa linjassa ei kuitenkaan ole säätöjä ja onkin tärkeää, että asettuvat tarkasti toistensa päälle. Varsinkin pienet painotelat pitäisi saada tarkasti asettumaan kapean painotelan päälle, jotta ne eivät painaessaan väännä sitä sivulle. Tämä vaati telojen johteiden tarkkaa asemoimista. Käytön kannalta on hyvä muistaa kuviotelan hyvin hieno pinnankaiverrus, kuviotelaan ei

siis saa nojata tai sitä huolimattomasti pyyhkiä tai sen kaiverrettu pinta voi vahingoittua. Kuviotelan vaihdossa tulee toki myös noudattaa erityistä varovaisuutta.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä suunniteltiin kartongin mekaaniseen pinnanmuokkaukseen soveltuva laite, jonka tarkoituksena on pystyä tuottamaan funktionaalisia pintoja kartongin pinnalle kohokuvioinnilla. Työssä tutkittiin myös erilaisia mekaaniseen pinnanmuokkaamiseen soveltuvia, funktionaalisten pintojen ominaisuuksia, niiden pinnanmuotoja ja käyttökohteita. Funktionaalisten pintojen tutkintaan ja laitteen esitietoihin perehdyttiin työn teoriaosuudessa. Laitteen suunniteltiin systemaattisen koneensuunnittelun metodeja noudattaen.

Tutkimuksessa selvisi, että pintaa mekaanisesti muokkaamalla voidaan saavuttaa useita erilaisia pinnanominaisuuksia, pinnanmuodista riippuen. löydettyjä ominaisuuksia olivat hydrofobisuus, adhesiivisuus, kitkan vähentäminen ja pinnan heijastavuuden muuttaminen. Ominaisuuksista optisen efektin saavuttaminen mekaanisesti on luultavasti helpointa, sillä pinnan heijastavuus voitaisiin saavuttaa yksinkertaisemmalla ja yhtäjaksoisemmalla kuviolla kuin esim. hydrofobisuus, jossa pinnan kuvioinnin täytyy olla lähtökohtaisesti tappimaista. Hydrofobisuuden saavuttaminen taas on helpompaa kuin pinnan adhesiivisuus, jossa pinnankuviointi, oli lähtökohtaisesti pienempää ja tiheämpää. Adhesiivisuutta tuottavan kuviotelan valmistaminen nykyaikaisilla lasereilla on mahdollista, mutta se voi olla vielä kalliimpaa kuin nyt arvioitu hinta. Adhesiivisuus voima kasvaa mitä pienempiä ja tiheämmässä pinnanmuodot ovat, joten hyvän pinnan kopiointi kartongille voi olla haastavaa. Sopivien pinnankuvioiden löytäminen vaatiikin jatkotutkimuksia, mutta Stora Ensolla on varmaan jo hyvä käsitys minkälaiset pinnakuviot toimivat heidän kartongillaan.

Käytännön sovellutuksia kyseisille ominaisuuksille kerrottiin jo itse työssä, mutta kartonkia ajatellen, esim. hydrofobisuudella voitaisiin kartongista mahdollisesti tehdä vettähylkivää ilman muovipinnoitetta. Adhesiivisuuden lisääminen voisi mahdollisesti parantaa esim. erilaisten kalvojen kiinnittäytymistä kartongin pinnalle, mutta tämän toteaminen vaatisi jatkotutkimuksia.

Laitteen suunnittelulla selvitettiin ensisijaisesti, mitä tuotantolinjalle sijoitetun koneen tekeminen vaatisi rakenteeltaan ja laitteiltaan. Nyt suunniteltu laite huomioi

valmistustekniset vaatimukset. Suunnitelma sisältää vain laitteen mekaanisen suunnittelun ja osto-osien kuten moottorin, sylintereiden ja lämmityksen valinnan. Laitteen sähkösuunnittelu tai telojen toimintaa ohjaava ohjelmisto ei sisälly nyt tehtyihin suunnitelmiin. Ongelmana suunnittelussa oli laitteen telojen taipumien minimointi ja tarvittavan pintapaineen tuottavan voiman määrittäminen. Haastetta aiheutti myös vaatimus kuviotelan helposta ja nopeasta vaihtamisesta, mikä johti päätökseen katkaista runko kahtia kuviotelan yläpuolelta.

Laitteiston suunnittelussa mielestäni kuitenkin onnistuttiin, sillä nyt suunnitellulla laiteella pystytään tuottamaan 1500 mm leveydellä haluttua n. 30 MPa pintapainetta, nopeudella 60 m/min, mitkä olivat vaatimuslistan lähtökohdat. Vaikka toivetta automaattisesta voiman säätämisestä ja kartonkia seuraavat sensorit eivät vielä ole näissä suunnitelmissa ole mukana, on laite suunniteltu niin että ne voidaan myöhemmin hankkia. Kuviotelan vaihtaminenkin pitäisi onnistua suhteellisen nopeasti, sillä telaa vaihtaessa laitteesta ei tarvitse poistaa kuin rungon ylä-osa kokonaisuena ja telan laakeripesien yläosat.

Pinnanmuotojen tutkimisen lisäksi myös laitteelle jää jatkotutkimuskohteita, tämäkin työ on vasta ensimmäinen prototyypisuunnitelma laitteesta, joka muokkaa mikrokuvioita kartongin pinnalle. Aikaisemmat pakkaustekniikan laboratoriossa suoritettut kokeet suoritettiin tasolla puristamalla, josta saatua pintapaineen arvoa käytettiin tämän suunnittelun perustana. Telalla suoritettavaa pinnan muokkaamista voidaan tutkia vielä jatkotutkimuskohteena, jossa selviäsi sopiva pintapaine telalle, telan likaantuminen, induktiolämmityksen tehokkuus, telan tehokas toimintanopeus kuvion onnistumisen kannalta ym. Nyt suunnitellulla laitteella kuviotelan kuviointi ja induktiolämmitys vastaa luultavasti suurinta osaa laitteen kuluista maksaessaan yhteensä yli 100 000 euroa. Tutkimusta varten on mahdollista rakentaa huomattavasti pienempi versio nyt suunnitellusta laitteesta, varsinkin jos kuvioidun kartongin jatkokäsittely ei vaadi välttämättä vaadi leveää pinnanmuokkausta. Pienemmän laitteen telan kaiverrus ja lämmitysjärjestelmä olisi halvempi ja telojen taipumien hallinta paljon helpompaa. Pinnanmuokkaamisen voisi luultavasti suorittaa vain kahta telaa käyttämällä.

LÄHTEET

- Aarts, A.C.T., Eijndhoven, S.j.L., Saes, L.H, Clevers, E. 2012. The pressure distribution in nips of systems flexible rubber- covered rollers. Elsevier Ltd. s. 155- 164
- Airila, M., Ekman, K., Hautala, P., Kivioja, S., Kleimola, M., Martikka, H., Miettinen, J., Niemi, E., Ranta, A., Rinkinen, S., Verho, A., Vilenius, M., Välimaa V. 2010. Koneenosien suunnittelu. 4.-5. Painos. Helsinki: WSOYpro Oy. 796 s.
- Andersson C. 2008. New Ways to Enhance the Functionality of Paperboard by Surface Treatment—a Review, Packaging, Technology and Science. John Wiley & Sons. 35 s.
- ANSYS Inc. 2010. ANSYS Mechanical Structural nonlinearities. ANSYS Inc. [Viitattu 25.6.2017]. Saatavissa: http://inside.mines.edu/~apetrell/ENME442/Labs/1301_ENME442_lab6_lecture.pdf
- Bhushan,B. Yong Chae, J. 2010. Natural and biomimetic artificial surfaces for superhydrophobicity, self-cleaning, low adhesion, and drag reduction. Elsevier Ltd. 108 s.
- Brian, D., Bhushan, B. 2010. Shark-skin surfaces for fluid-drag reduction in turbulent flow: a review. The Royal Society. s. 4775-5737
- Comaintel. 2017. Industrial applications. [Viitattu 10.7.2017]. Saatavissa: <http://www.comaintel.com/industrial-applications>
- Contact Stresses and Deformations. ME EN 7960 – Precision Machine Design topic 7. 10 s.
- Cook, R.D., Malkus, D.S., Plesha M.E. 1988. Concepts and Applications of Finite Element Analysis. 3 Painos. John Wiley & Sons. 630 s.
- Grossiord N. 2016. Functional surfaces on performance polymers. Elsevier Ltd. s. 303- 307
- Hisham A. 2016. Functional surfaces for tribological applications: inspiration and desing. IO PPublishing Ltd. 38 s.
- Hyllberg B. 1999. Time for a switch to electric heater. [Viitattu 5.7.2017]. Saatavissa: <http://www.ptonline.com/articles/time-for-a-switch-to-electric-heater-rolls>
- Izbedska, J., Thomas, S. 2016. Printing on polymers: Fundamentals and Applications. William Andrew, Elsevier. 424 s.
- Kaakkunen, J., Laakso, P., Päiväsaari, K. 2013. Multibeam laser processing for high throughput manufacturing-project report. VTT. 40 s.

Kimerling, T.E., Liu W., Kim B.H. 2006. Rapid embossing of polymer microfeatures. *Microsyst Technol.* s. 730-735.

Lightmotif. 2017. Laser surface texturing. [Viitattu 3.7.2017]. Saatavissa: <https://www.lightmotif.nl/texturing/>

Kwon, Y., Patankar, N., Choi, J., Junghoon, L. 2009. Design of surface hierarchy for extreme hydrophobicity. *Langmuir.* 8 s.

Pahl, G. & Beitz, W. 1992. Koneensuunnitteluoppi. Porvoo: WSOY:n graafiset laitokset. 608 s.

Raukola J. Iscent-Light scattering film. Iscent Oy. 4s.

Rice, M.C. 2015. Adoption of Induction Heated Rolls to Reduce Energy Consumption and Improve Quality. [Viitattu 5.7.2017]. Saatavissa: <https://www.slideshare.net/MichaelRiceMBA/adoption-of-induction-heated-rolls-to-reduce-energy-consumption-and-improve-quality-51197387>

Smith R. 2009. Swimsuits Banned as 'Technology Doping'. [Viitattu 3.8.2017]. Saatavissa: <http://www.symscape.com/blog/swimsuit-banned-as-technology-doping>

Sandvik. 2015. [Viitattu 26.6.2017]. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=VMP7Ook6M3k>

Tokuden Co., Ltd. 2017. Induction heated jacket rolls. [Viitattu 10.7.2017]. Saatavissa: <http://www.tokuden.com/english/product/jacket/>

Tuomaala J. 1995. Luova koneensuunnittelu. 1. Painos. Jyväskylä: Gummerus Oy. 286 s.

Österberg M., Barnes & Gentle: luku 2. 2016. Pintajännitys ja kostutus. Aalto-yliopisto. 17 s.

Vieno N. 2013. Mitä yhteistä on lotuksella ja paistinpannalla? [Viitattu 20.1.2017]. Saatavissa: <http://www.envieno.com/2013/06/mita-yhteista-on-lotuksella-ja-paistinpannalla/>

Worgull M. 2009. Hot Embossing: Theory and Technology of Microreplication. William Andrew, Elsevier. 345

Roll Heat-up Calculation

Roll OD	7.9	inch	200	mm
Roll ID	0.1	inch		
Face width	59	inch	1500	mm
Roll weight	820	lbs (w/o journals)		
Journal adder	25	%		
Total weight	1025	lbs (w/ journals)		
Initial temperature	70	°F	20	°C
Final temperature	230	°F	110	°C
Heat-up time	60	minutes		
Metal heat-up power	5	kW		
Convection coefficient	2	btu/hr-sq ft-°F		
Convection losses	1.0	kW		
Roll emissivity	0.3			
Radiation losses	0.2	kW		
Total heat load	7	kW		
	1.3	kW/foot		

-30

Process Heat load kW		7
total kW requirements		8.2

Convection cooled workcoils			minutes to target temp.
Zone width mm	# zones	kWatts	
240	6.2	37.5	9
120	12.5	74.9	4
75	20.0	99.9	3
60	25.0	99.9	3

Moottorin vääntömomentti

$$r_1 := 0.1 \text{ m} \qquad n := 100 \frac{1}{\text{min}}$$

$$d := 2 \cdot r_1 \text{ m}$$

$$F := 3000 \text{ N}$$

Vääntövastus

$$W_v := \frac{\pi d^3}{16} = 1.571 \times 10^{-3}$$

$$I_p := \frac{\pi d^4}{32} = 1.571 \times 10^{-4}$$

$$\tau_{\max} := \frac{4 \cdot F}{3 \cdot \pi \cdot (r_1)^2} = 1.273 \times 10^6$$

Vääntömomentti

$$M_v := \frac{I_p \cdot \tau_{\max}}{r_1} = 2 \times 10^3 \text{ Nm}$$

Teho

$$P := \frac{M_v \cdot n}{9550} = 20.942 \text{ kW}$$

LIITE IV

Hihnan pituus

Akseleiden väli $C := 435$

$$L := 2 \cdot C + \frac{\pi}{2} \cdot (213.898 \text{ mm}^2) = 1.542 \text{ m}$$

Hampaiden lukumäärä hihnassa

Hihnan jako $T := 14 \text{ mm}$

$$L_k := \frac{L}{T} = 110.141$$

Vaalitaan

14MGTV- 1589-90 Hihna

hampaita 112

Hihnan pituus

$$L := 112 \cdot T = 1.568 \text{ m}$$

Välimatka

$$C := \frac{\left[L - \frac{\pi}{2} \cdot (213.898 \text{ mm}^2) \right]}{2} = 0.448 \text{ m}$$

Hahmashihnapyörien akseliväli 443 - 471.01 mm --> sopii

LIITE V

Ostettavien osien osaluettelo		
Nimi ja malli		kpl
Laakerit		
1.	Kuviotela, NKI 90/26	2
2.	Lyhyt painotela, 61820-2RS1	6
3.	Pitkä painotela, NA 4912	2
4.	Tukitela, 16060 MA	2
5.	Hammashihna, 14MGT-1589-90	1
6.	Hammashihnapyörä, 14M-48S-90	2
7.	Jousi, SN2540-40-64 System- Druckfeder (DIN ISO 10243)	4
8.	Konejalka, sks konejalka 10111	4
9.	Kääntökehä, iglidur PRT-01 450mm	1
10.	Ohjausholkki, SN1781-20-38	12
11.	Ohjauspylväät, Z4315 Ohjauspylväs (~DIN 9825-2/ ISO 9182)	8
12.	Ruuvisylinteri, ETH050 High-Force Screw Driven Electric Cylinder	3
13.	Sähkömoottori, SK52- 180LX/4	1

LIITE VI

Valmistettavien osien osaluettelo		
Nimi		kpl
1.	Jousen vastinkappale	4
2.	Kuviotelan laakeripesä	2
3.	Kuviotelan laakeripesän kansi	2
4.	Kuviotelan paikansäädin	4
5.	Kuviotela	1
6.	Kääntökehän alusta, yläpuoli	1
7.	Kääntökehän alusta, alapuoli	1
8.	Laakeripesän kiinnitin	10
9.	Laakeripesän kiinnitin 2	2
10.	Lyhyen painotelan laakeripesä	6
11.	Lyhyt painotela	1
12.	Lyhyen painotelan kannatin	3
13.	Moottorin alusta	1
14.	Moottorin kannatin	1
15.	Moottorin kotelo	1
16.	Moottorin kotelo 2	1
17.	Ohjauspylväiden alusta	2
18.	Ohjauspylväiden kiinnike	6
19.	Pitkät painotela	1

LIITE VII

20.	Pitkän painotelan laakeripesä	2
21.	Rungon alaosa	1
22.	Rungon yläosa	1
23.	Tasakiila	2
24.	Tukitela	1
25.	Tukitelan kiinnike	2
26.	Tukitelan kiinnike 2	4

4 3 2 1

F

F

E

E

D

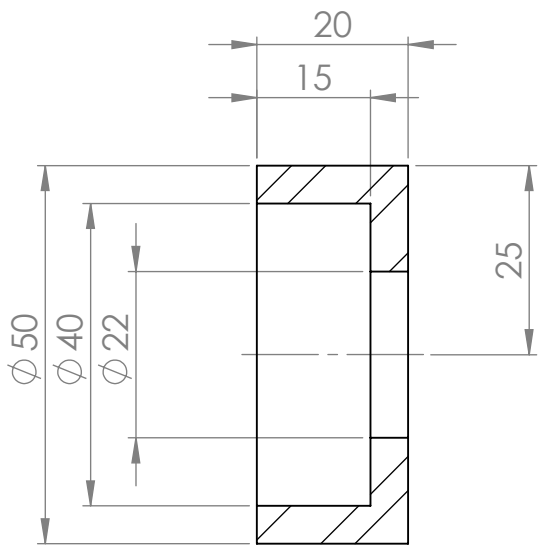
D

C

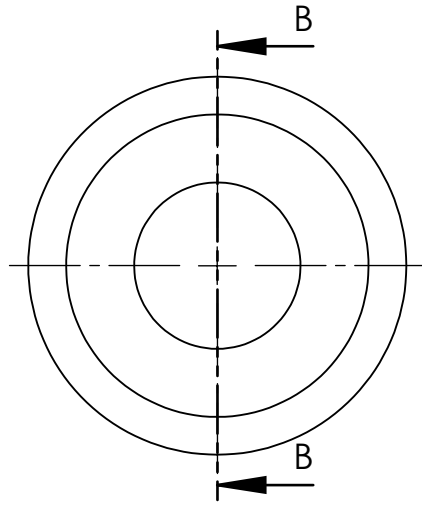
C

B

B



SECTION B-B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: ISO 2768-m
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			

TITLE:

Q.A	

MATERIAL:
S355

DWG NO.
Jousen vastinkappele

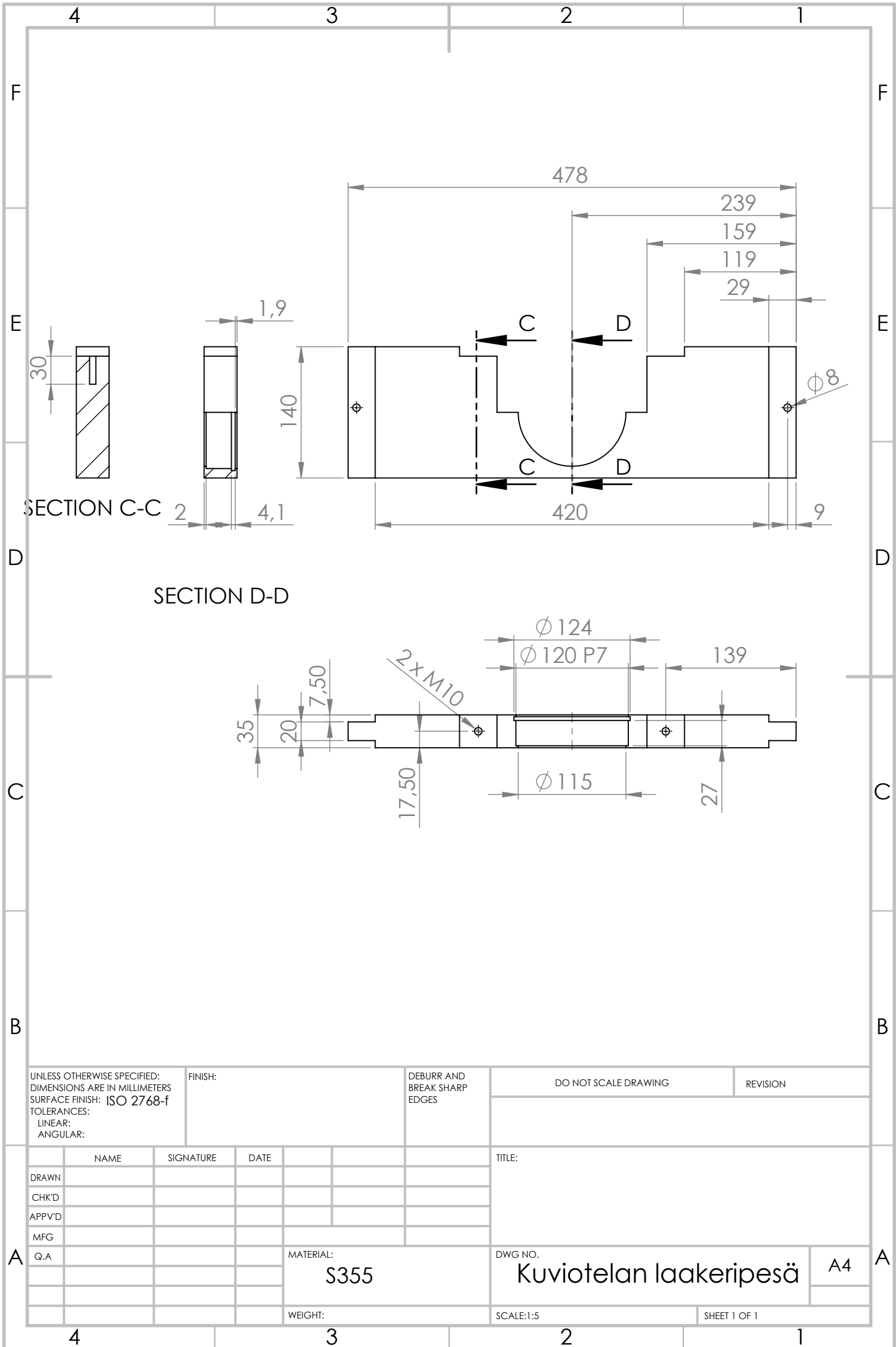
A4

WEIGHT: SCALE:1:1 SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH: ISO 2768-f
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

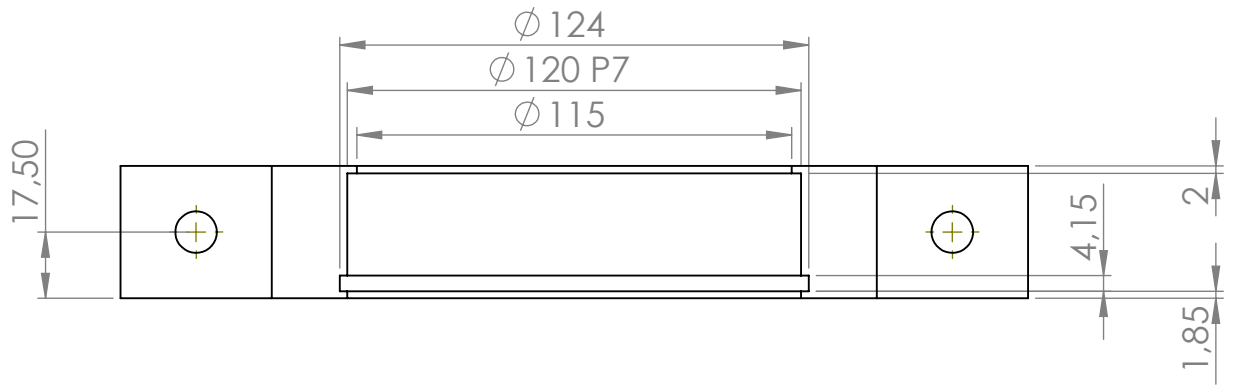
TITLE:	
MATERIAL:	S355
DWG NO.	Kuviotelan laakeripesä
SCALE:1:5	SHEET 1 OF 1

A4

4 3 2 1

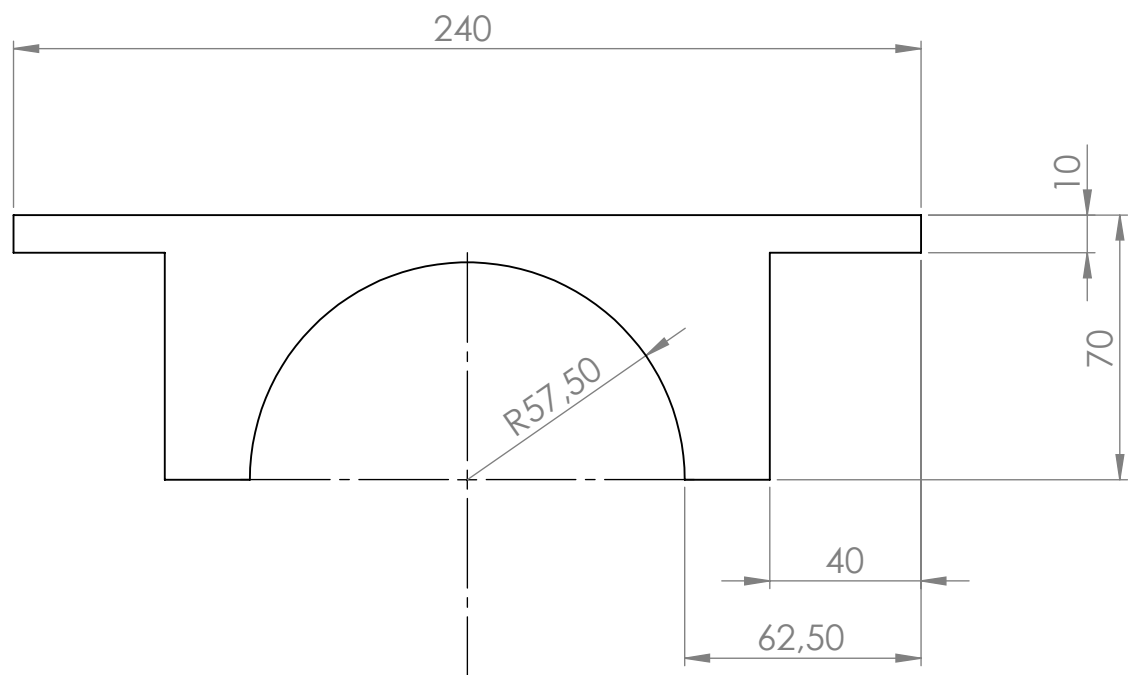
F

F



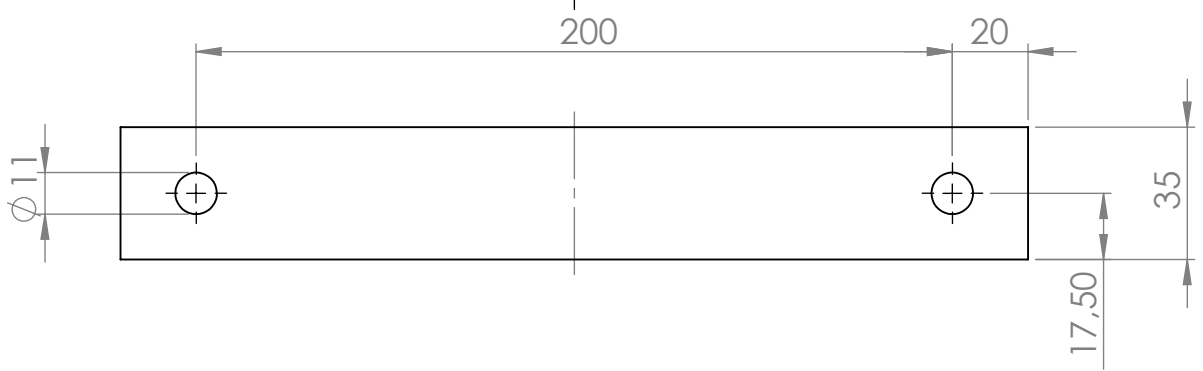
E

E



D

D



C

C

B

B

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: ISO 2768-f
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE	
DRAWN				
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A				

TITLE:	
MATERIAL:	S355
DWG NO.	Kuviotelan laakeripesän kansi
WEIGHT:	
SCALE: 1:5	SHEET 1 OF 1

A

A

4 3 2 1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

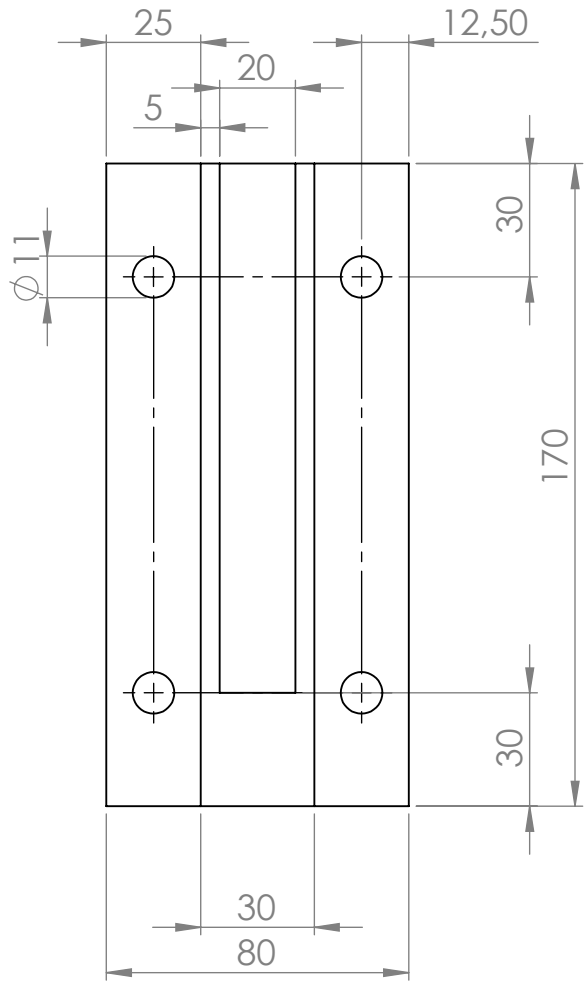
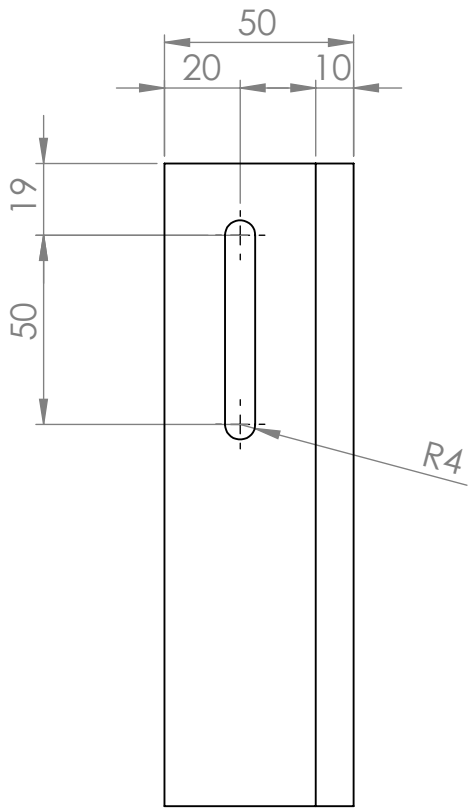
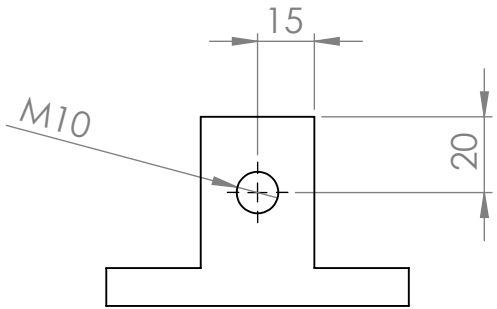
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: ISO 2768-f
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

 DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

 DWG NO. **A4**

MATERIAL:
S355

Kuviotelan paikansäädin

WEIGHT:

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

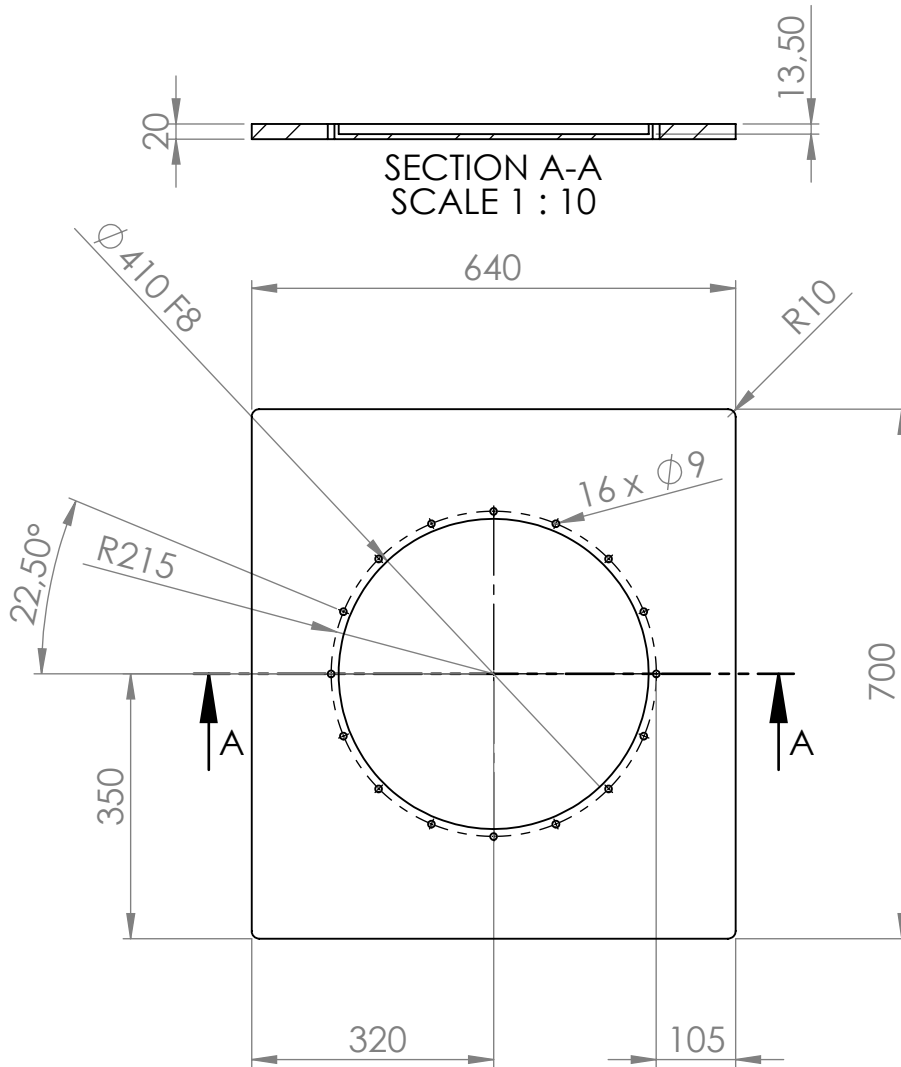
C

B

B

A

A



SECTION A-A
SCALE 1 : 10

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: ISO 2768-m
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE	
DRAWN				
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A				

TITLE:

MATERIAL:

S355

DWG NO.

Kääntökehän alusta

A4

WEIGHT:

SCALE:1:20

SHEET 1 OF 1

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

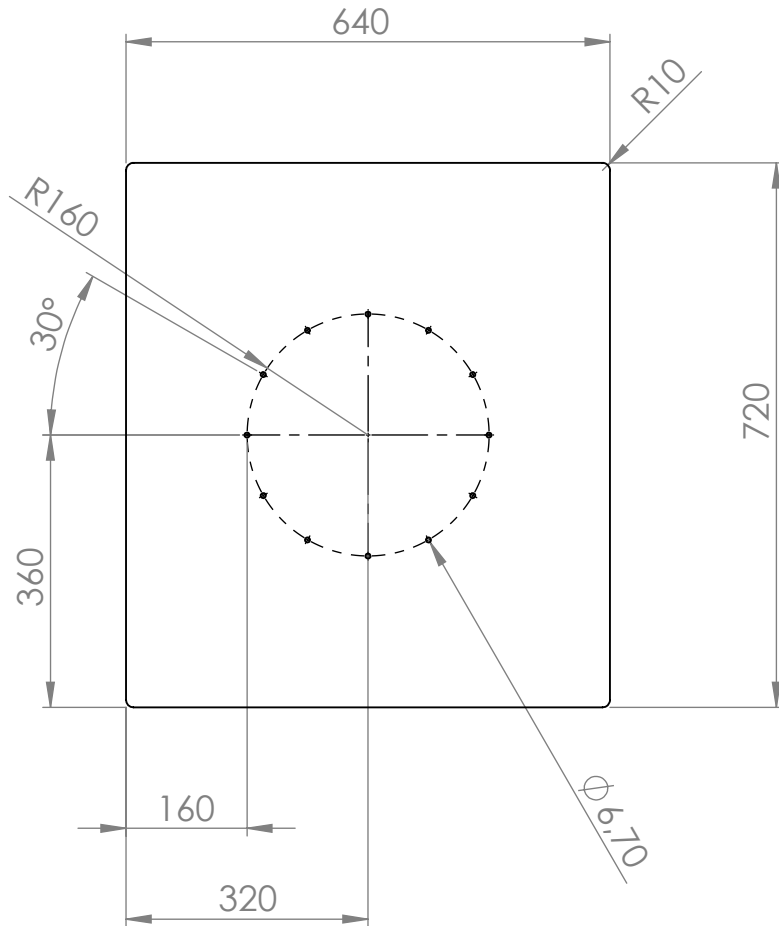
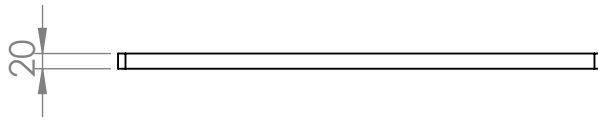
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: ISO 2768-m
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			

TITLE:

Q.A				

MATERIAL:

S355

DWG NO.

Käntökehän alustan vastakappale

A4

WEIGHT:

SCALE:1:20

SHEET 1 OF 1

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

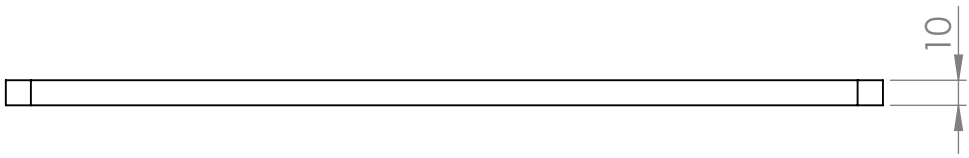
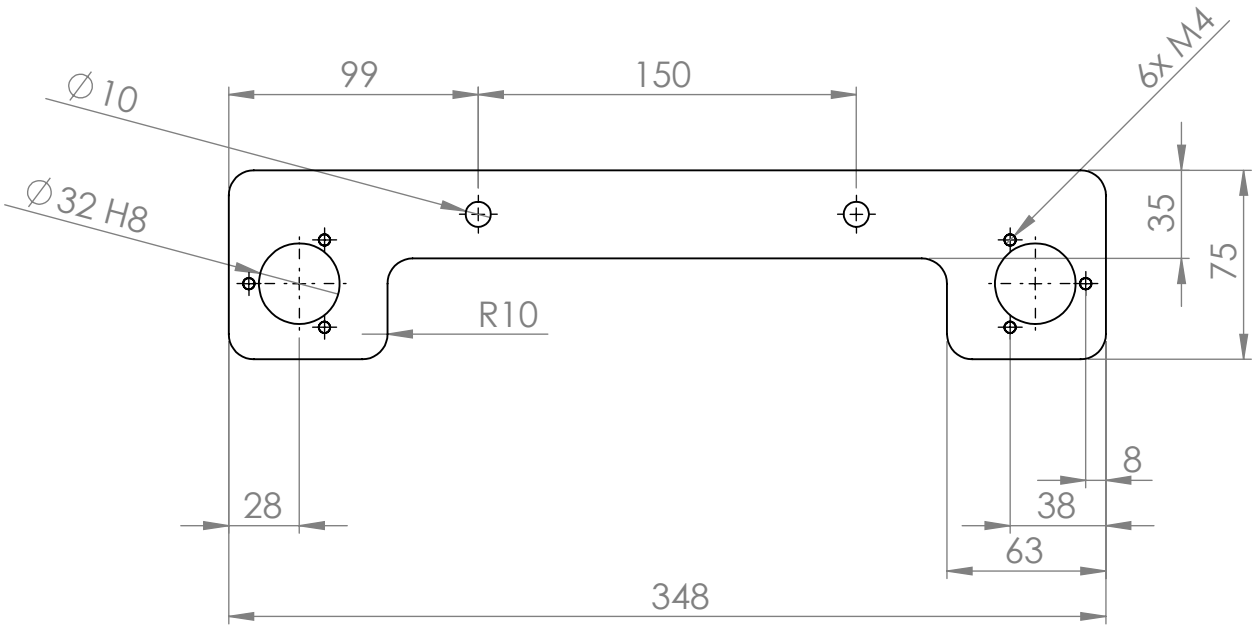
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: ISO 2768-f
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

MATERIAL:
S355

DWG NO.
Laakeripesänkiinnitin

SCALE:1:5

SHEET 1 OF 1

A4

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

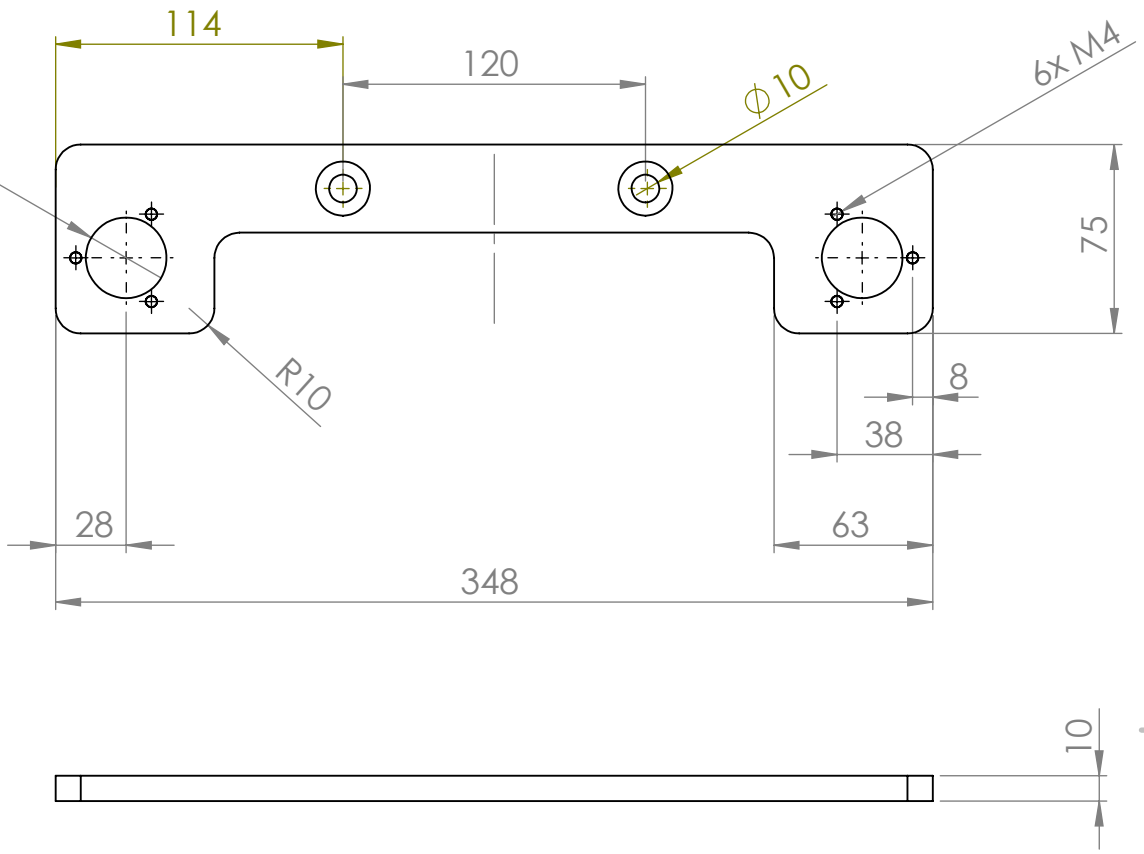
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: ISO 2768-f
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					

TITLE:

MATERIAL:
S355

DWG NO.
Laakeripesänkiinnitin2

SCALE:1:5

SHEET 1 OF 1

A4

4

3

2

1

4 3 2 1

F

F

4 x M10

150

30

17,50

E

E

35

25

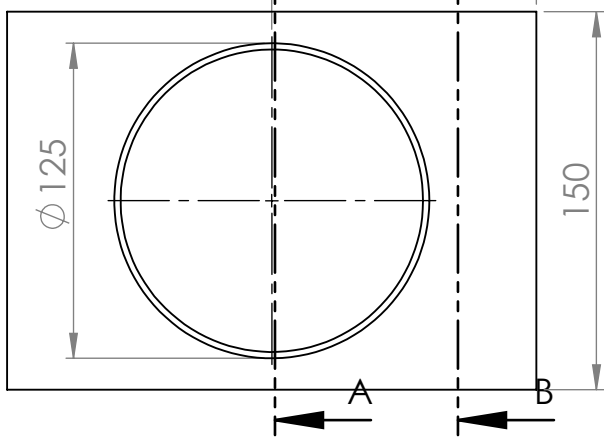
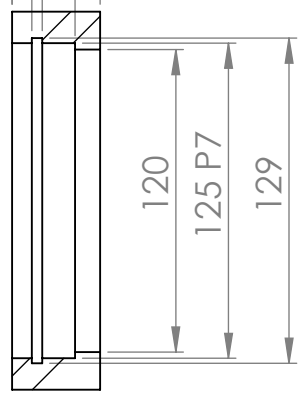
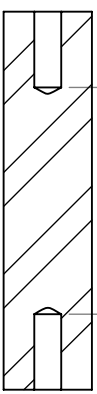
4,15

105

A

B

30



D

D

SECTION B-B SECTION A-A
SCALE 1 : 3 SCALE 1 : 3

C

C

17,50

150

30

210

B

B

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: ISO 2768-m
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APP'VD			
MFG			
Q.A			

TITLE:	
MATERIAL:	S355
DWG NO.	Lyhyen painotelan laakeripesä
SCALE:	1:5
SHEET	1 OF 1

A

A

A4

4

3

2

1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

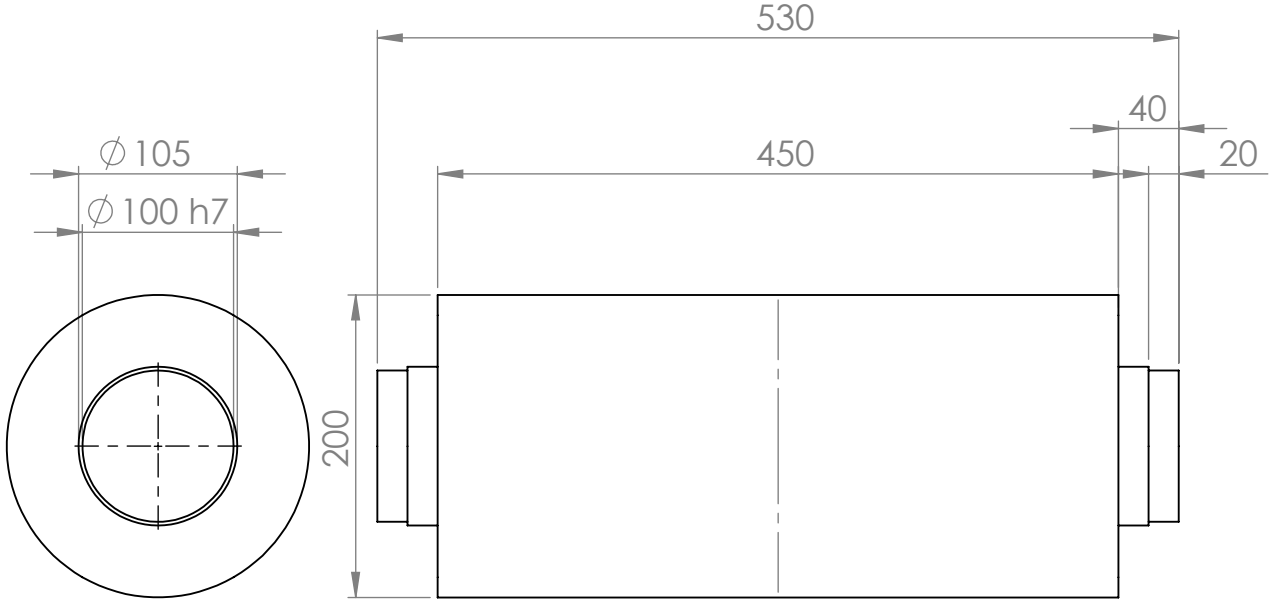
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: ISO 2768-m
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

MATERIAL:
S355

DWG NO.
Lyhyt painotela

SCALE:1:10

SHEET 1 OF 1

A4

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

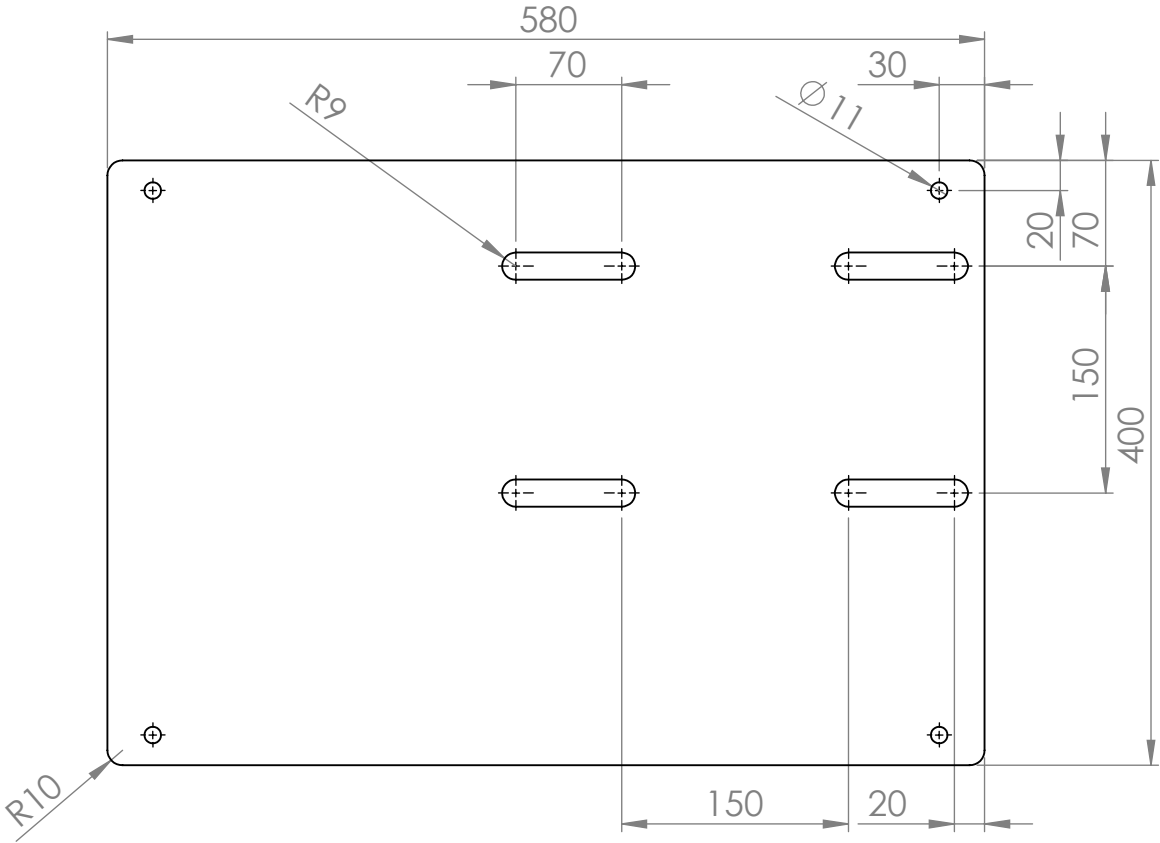
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: ISO 2768-m
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

MATERIAL: **S355**

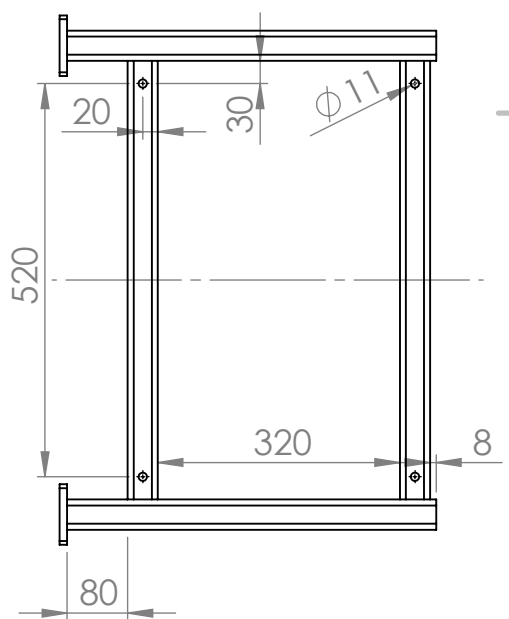
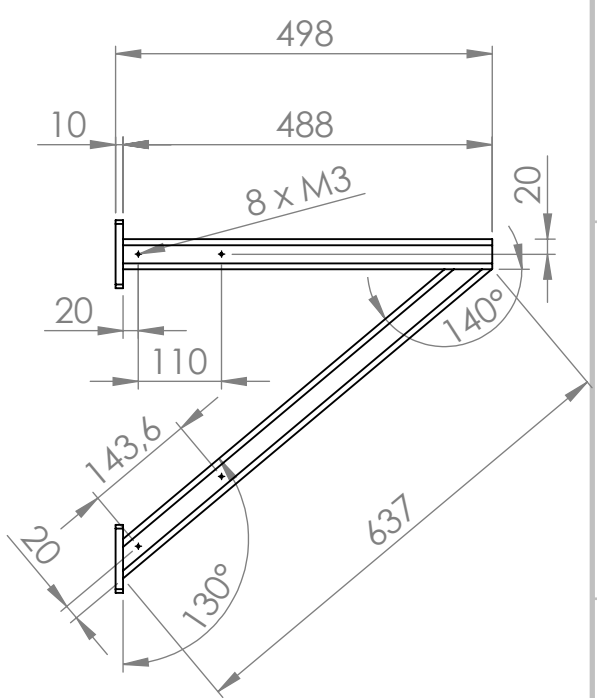
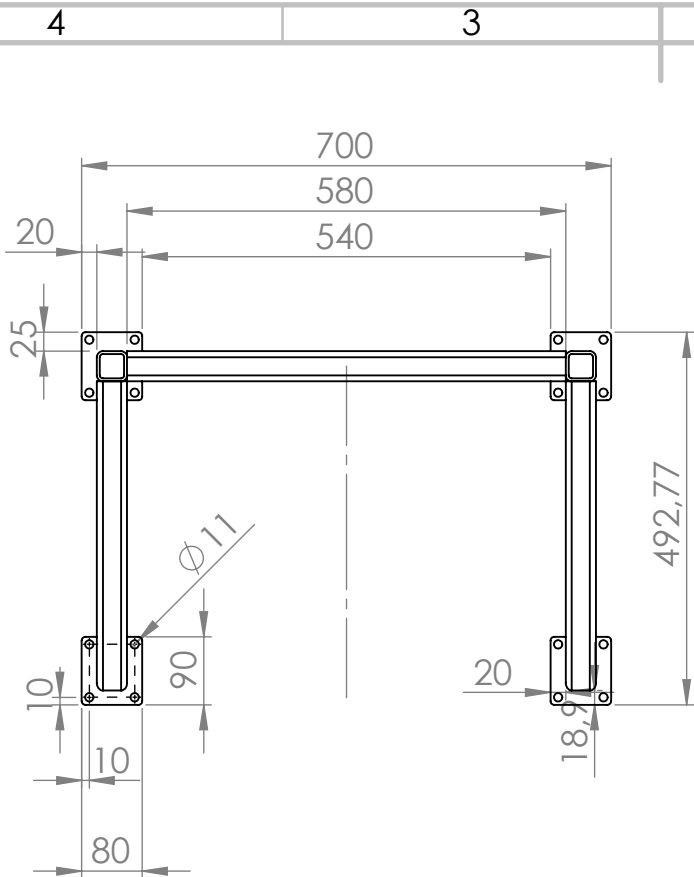
DWG NO. **Mootorin alusta**

SCALE: 1:10

SHEET 1 OF 1

A4

4 3 2 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

 DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE	
DRAWN				
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A				

TITLE:

 DWG NO. **Moottorin kannatin** A4
 SCALE: 1:20 SHEET 1 OF 1

MATERIAL:
 S355J2H □ 40 x 40 x 4
 WEIGHT:

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

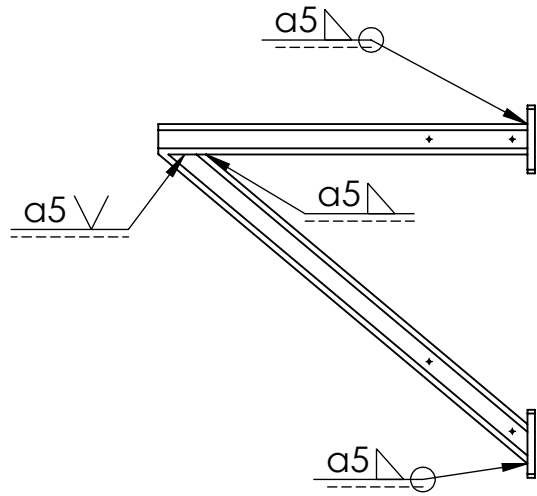
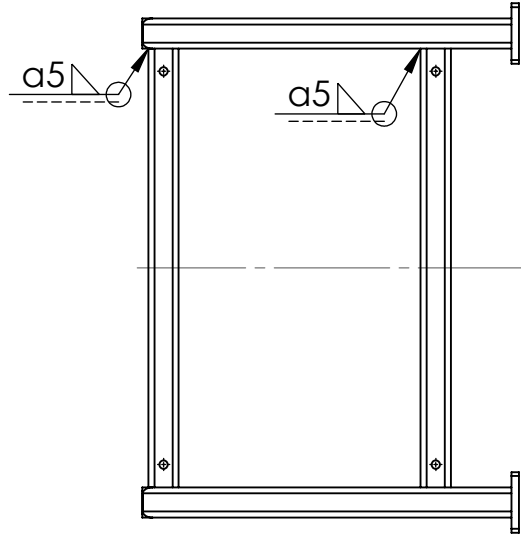
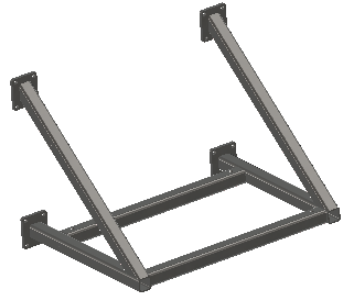
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE	
DRAWN				
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A				
				MATERIAL:
				WEIGHT:

TITLE:

DWG NO.

Moottorin kannatin_hitsit

A4

SCALE:1:20

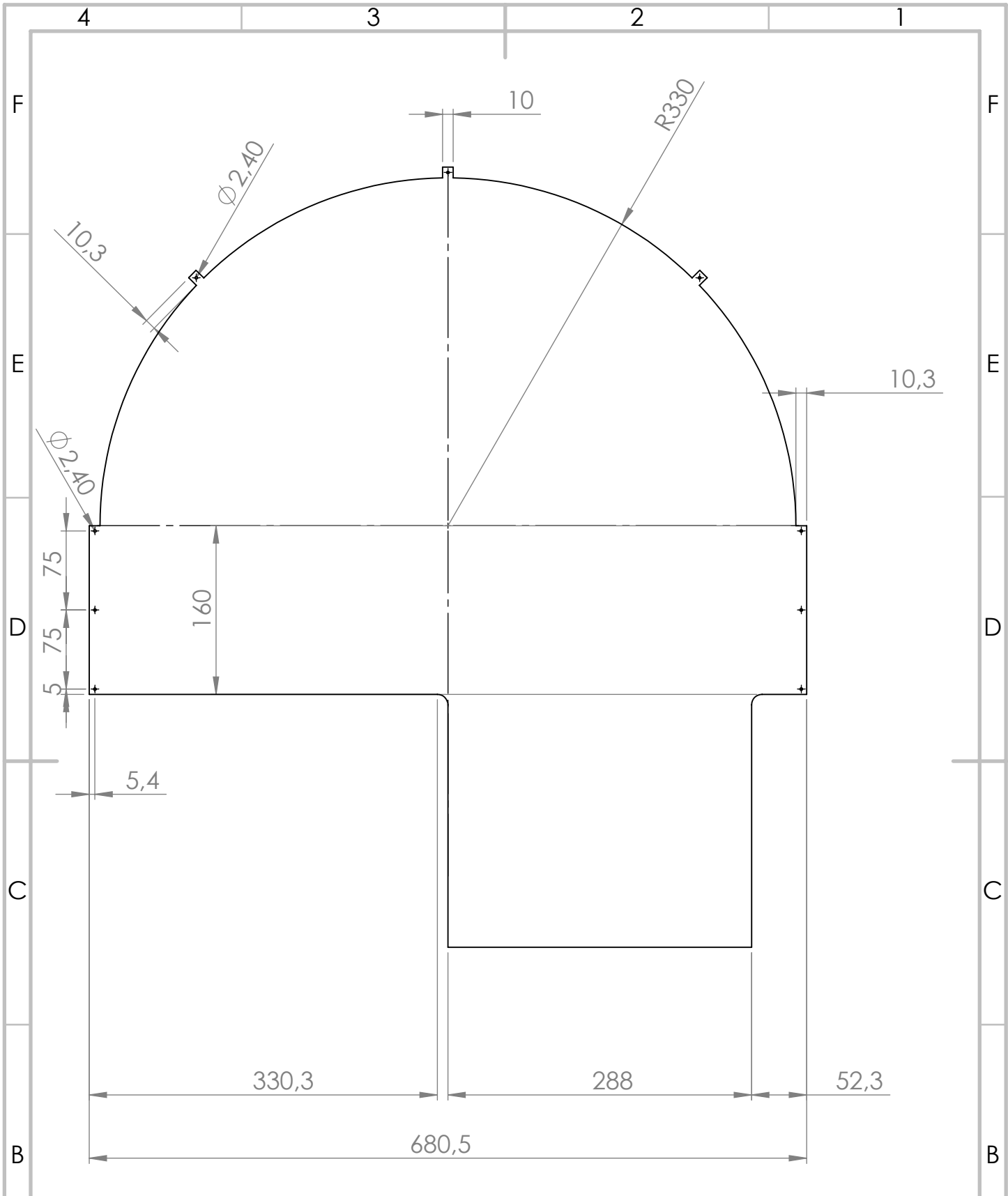
SHEET 1 OF 1

4

3

2

1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: ISO 2768-m
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APP'VD			
MFG			
Q.A			

TITLE:	
MATERIAL: Ohutlevy 2 mm	DWG NO. Moottorin suoja
WEIGHT:	SCALE:1:10
	SHEET 1 OF 1

A4

A

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

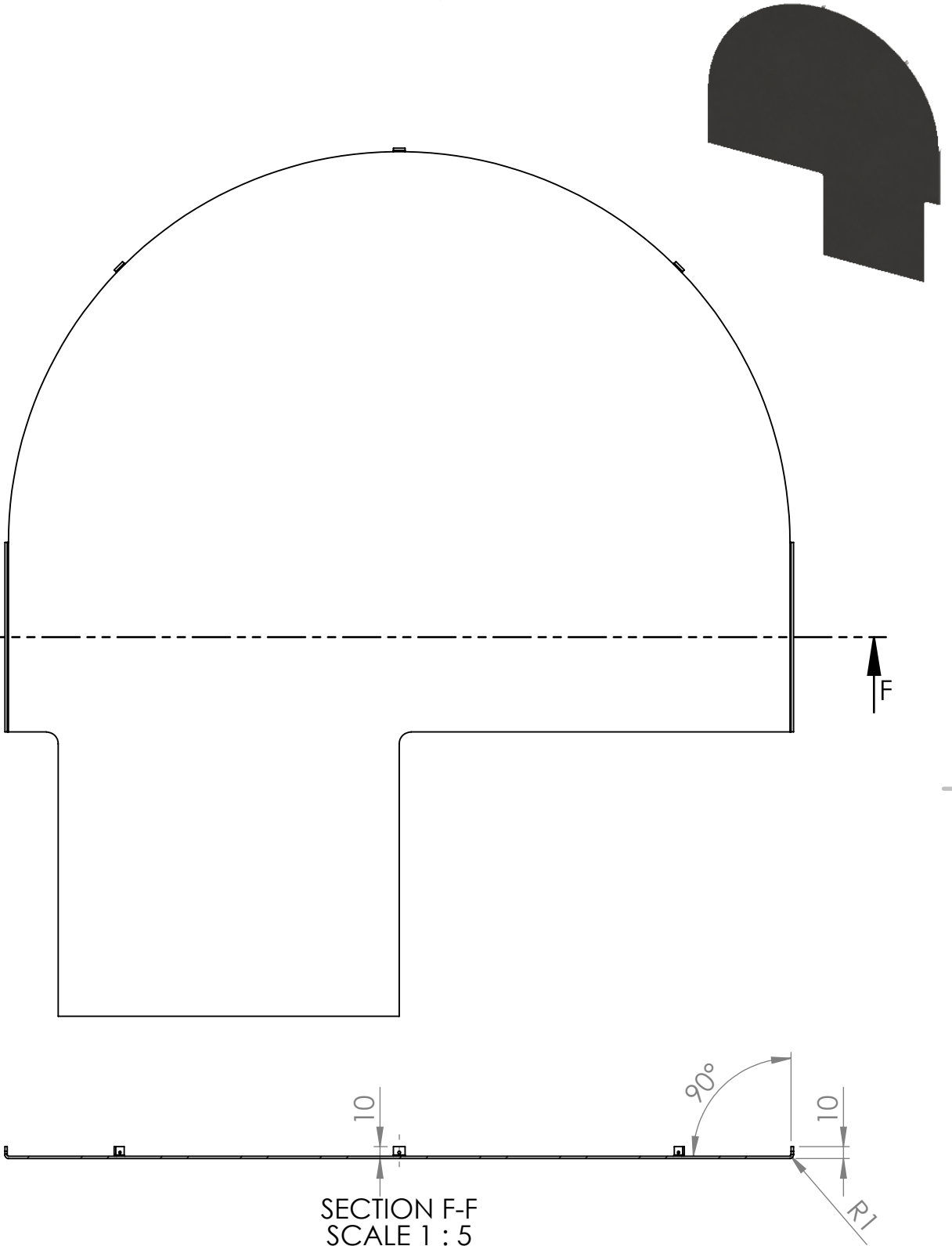
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

MATERIAL:
Ohutlevy 2 mm

WEIGHT:

TITLE:
**Huom. Kaikkien taitosten kulma
 ja taitoksen korkeus ovat
 samoja**

DWG NO.
Moottorin suoja taitokset

A4

SCALE:1:10

SHEET 1 OF 1

4

3

2

1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

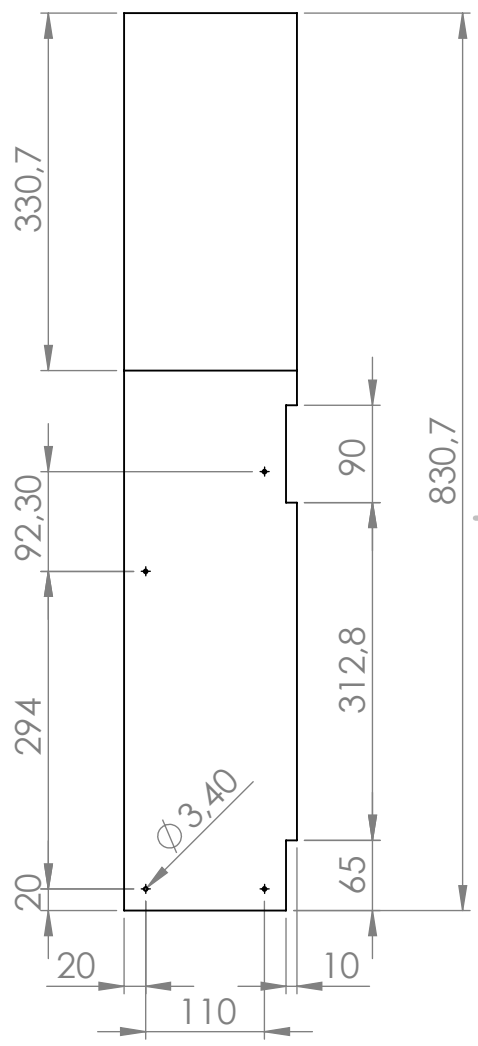
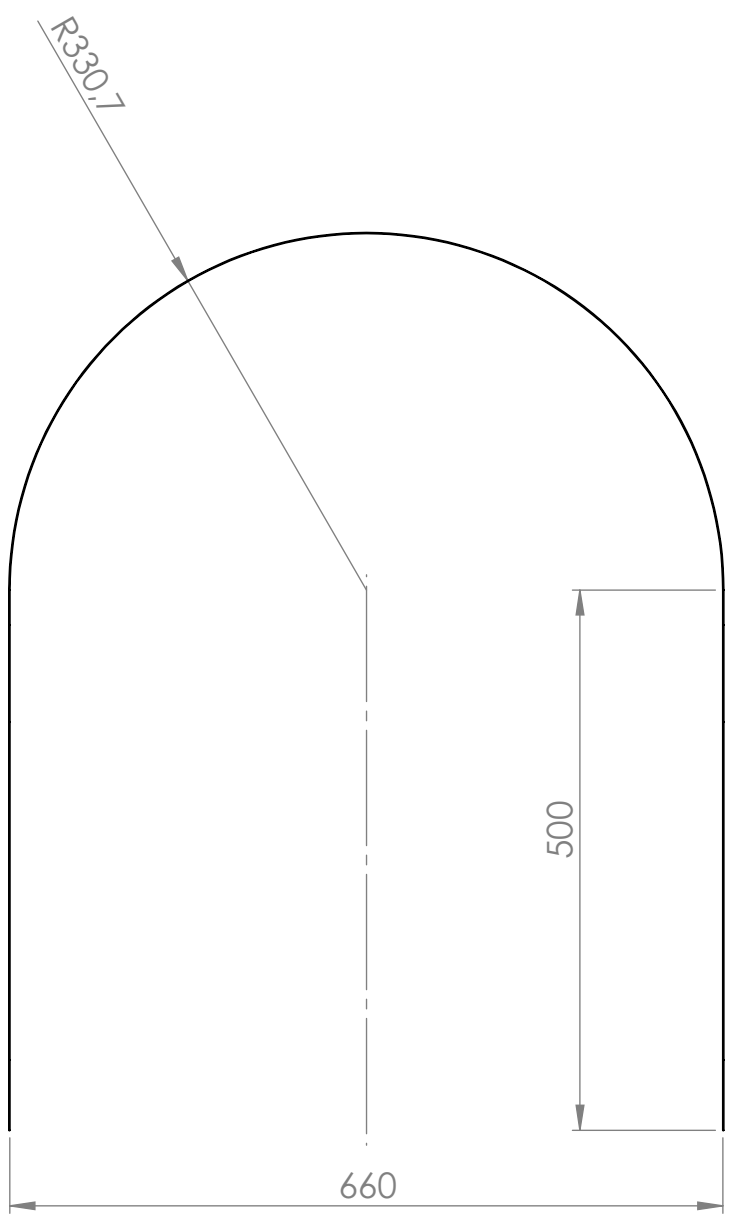
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: ISO 2768-m
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

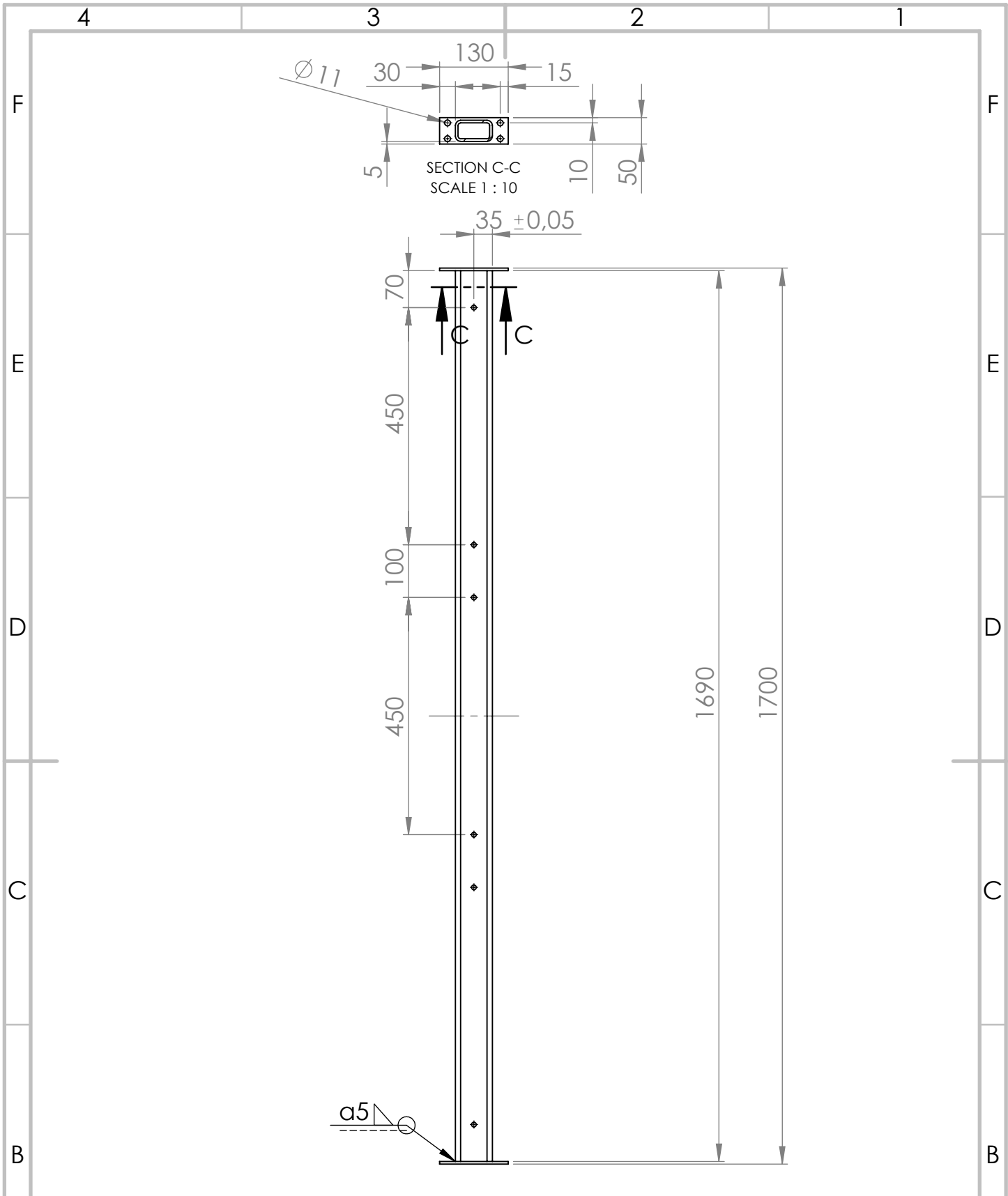
DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN		
CHK'D		
APPV'D		
MFG		
Q.A		

TITLE:	
MATERIAL:	Ohutlevy 2 mm
DWG NO.	Moottorin suoja2
WEIGHT:	
SCALE:1:10	SHEET 1 OF 1

4 3 2 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: ISO 2768-f
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE	
DRAWN				
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A				
MATERIAL:			S355J2H □ 70 x 40 x 5	
WEIGHT:				

TITLE:

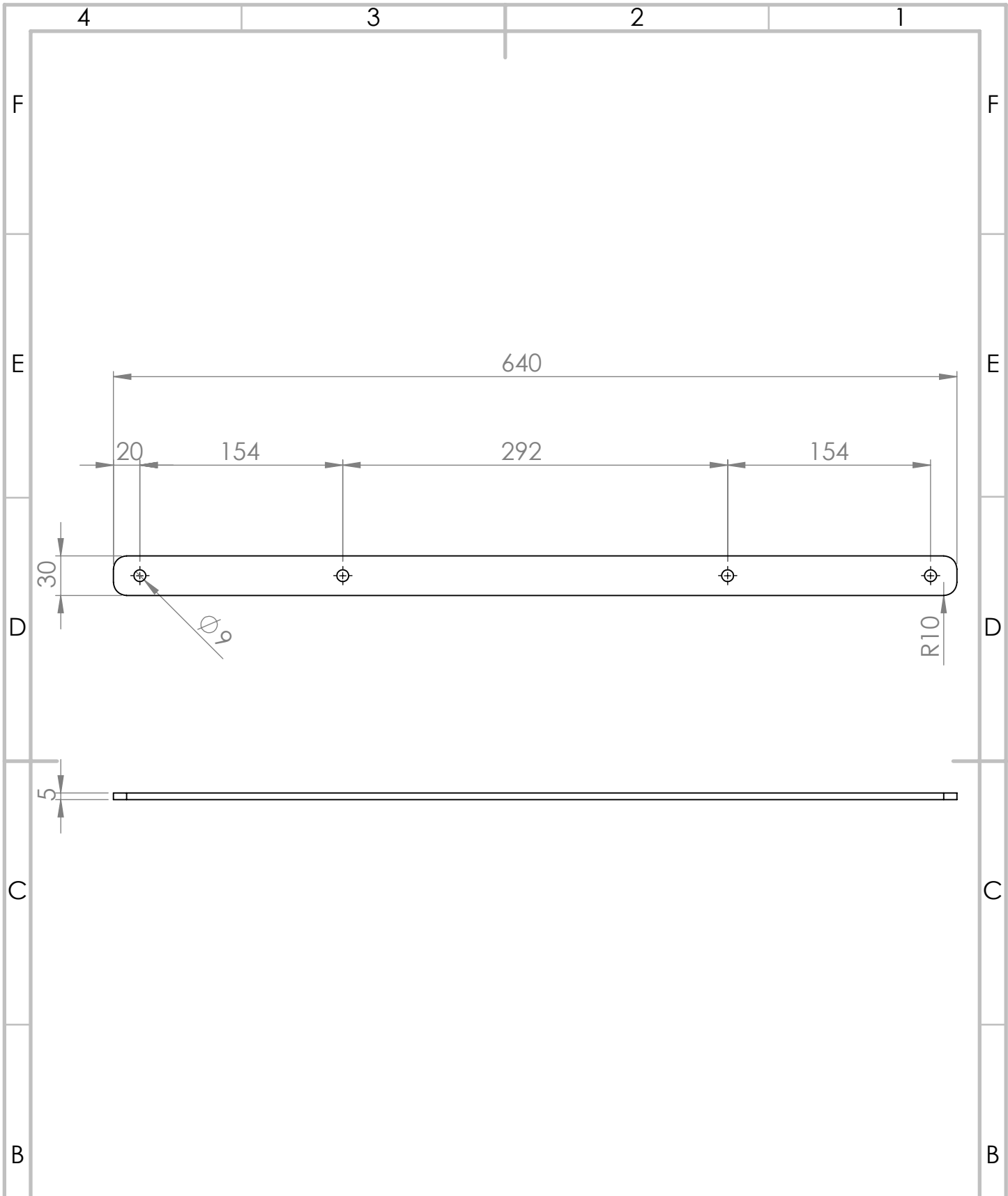
DWG NO.

Ohjauspylväiden alusta

A4

SCALE: 1:20

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: ISO 2768-m
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					

TITLE:

MATERIAL:

S355

DWG NO.

Ohjurin kiinnike

A4

WEIGHT:

SCALE:1:10

SHEET 1 OF 1

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

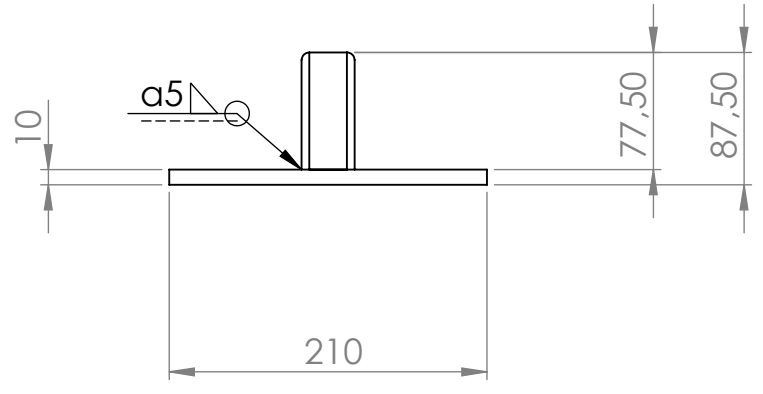
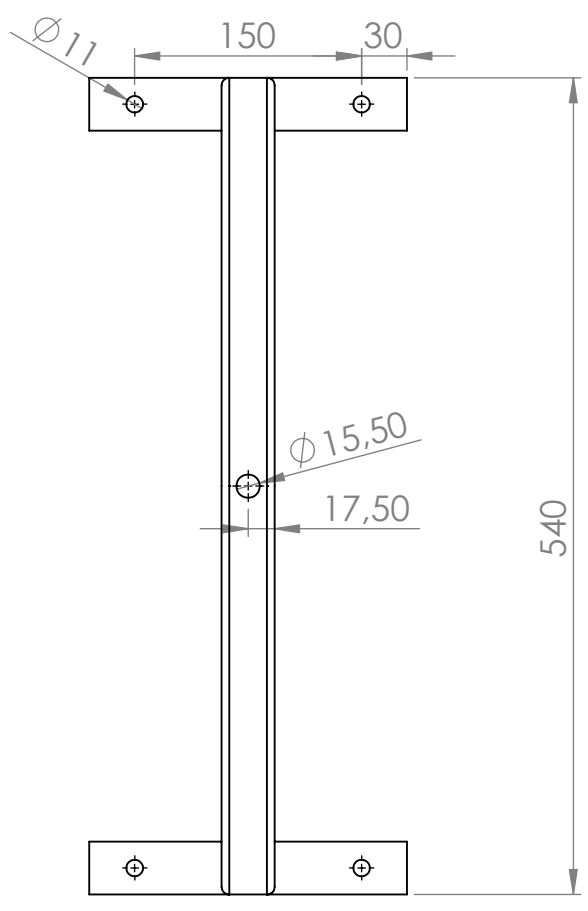
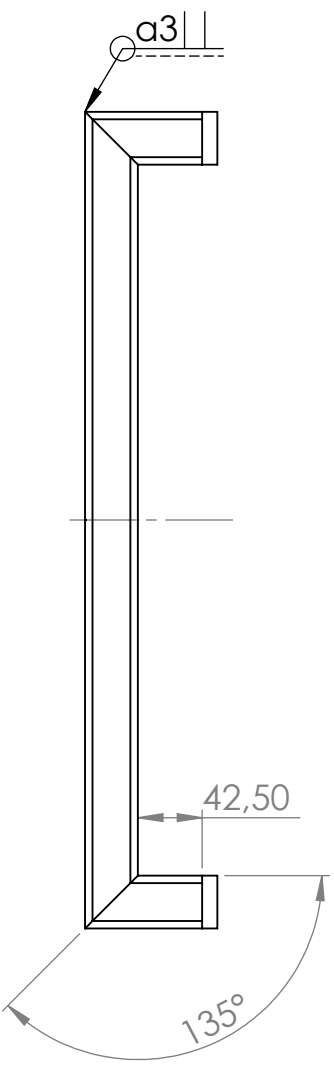
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: ISO 2768-m
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			

TITLE:

DWG NO.

MATERIAL:
S355 □ 35 x 35

Painotelan kannatin

A4

WEIGHT:

SCALE:1:10

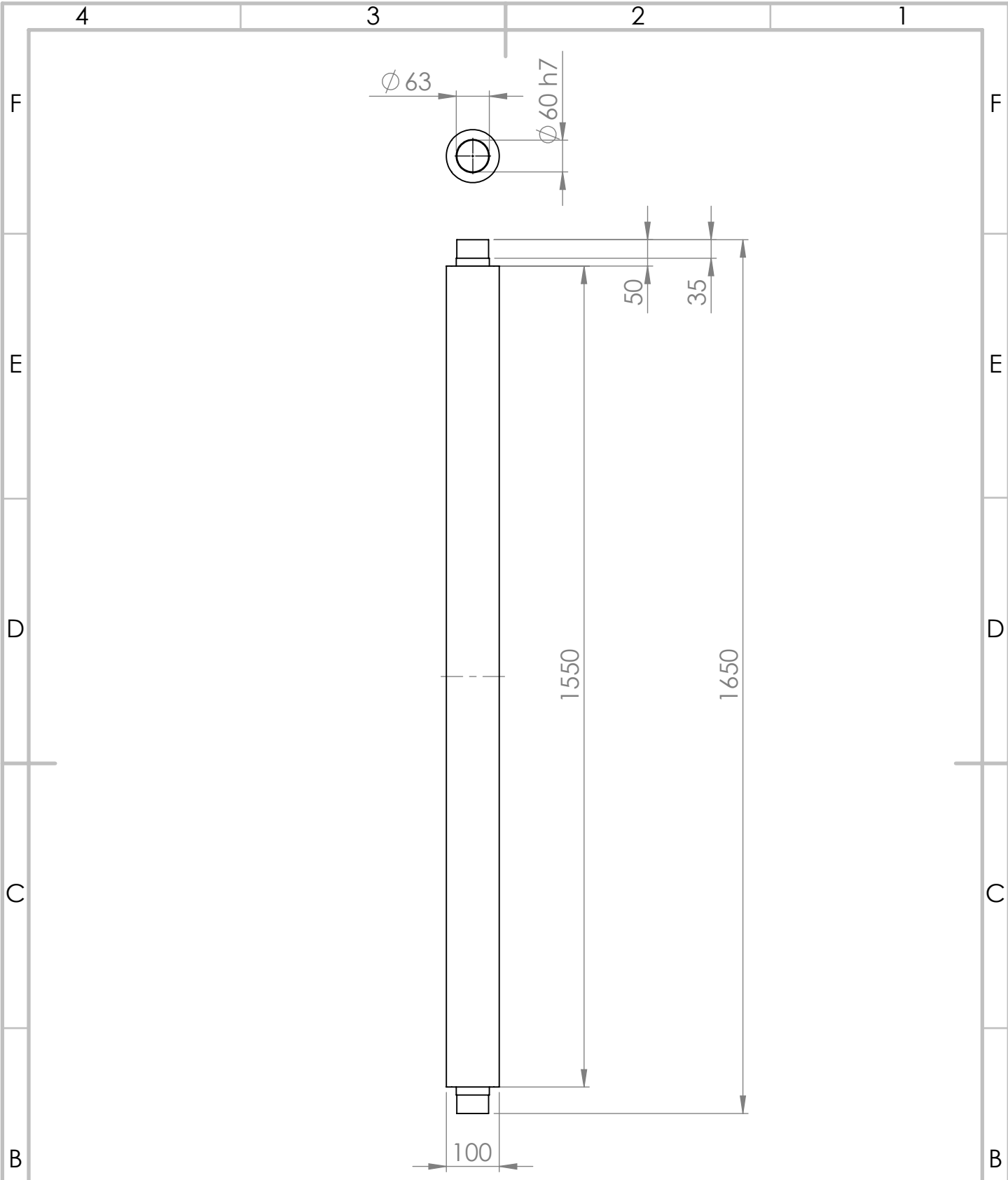
SHEET 1 OF 1

4

3

2

1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: ISO 2768-m
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE	
DRAWN				
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A				

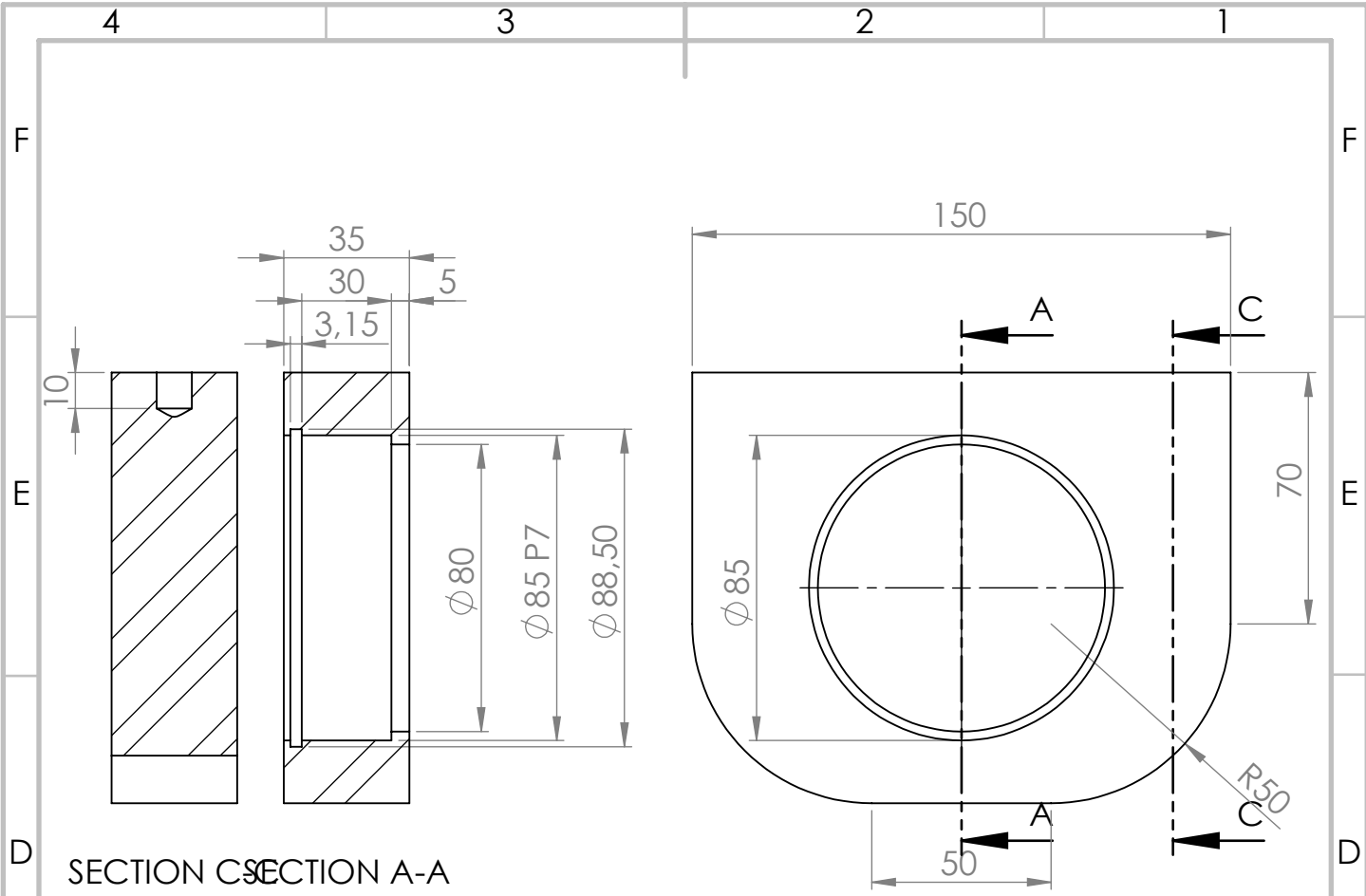
TITLE:

MATERIAL: **S355**

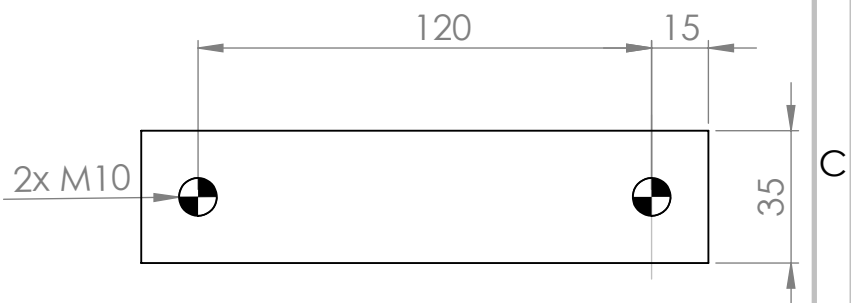
DWG NO. **Pitkä painotela**

SCALE: 1:20

SHEET 1 OF 1



SECTION C SECTION A-A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: ISO 2768-f
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

 DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

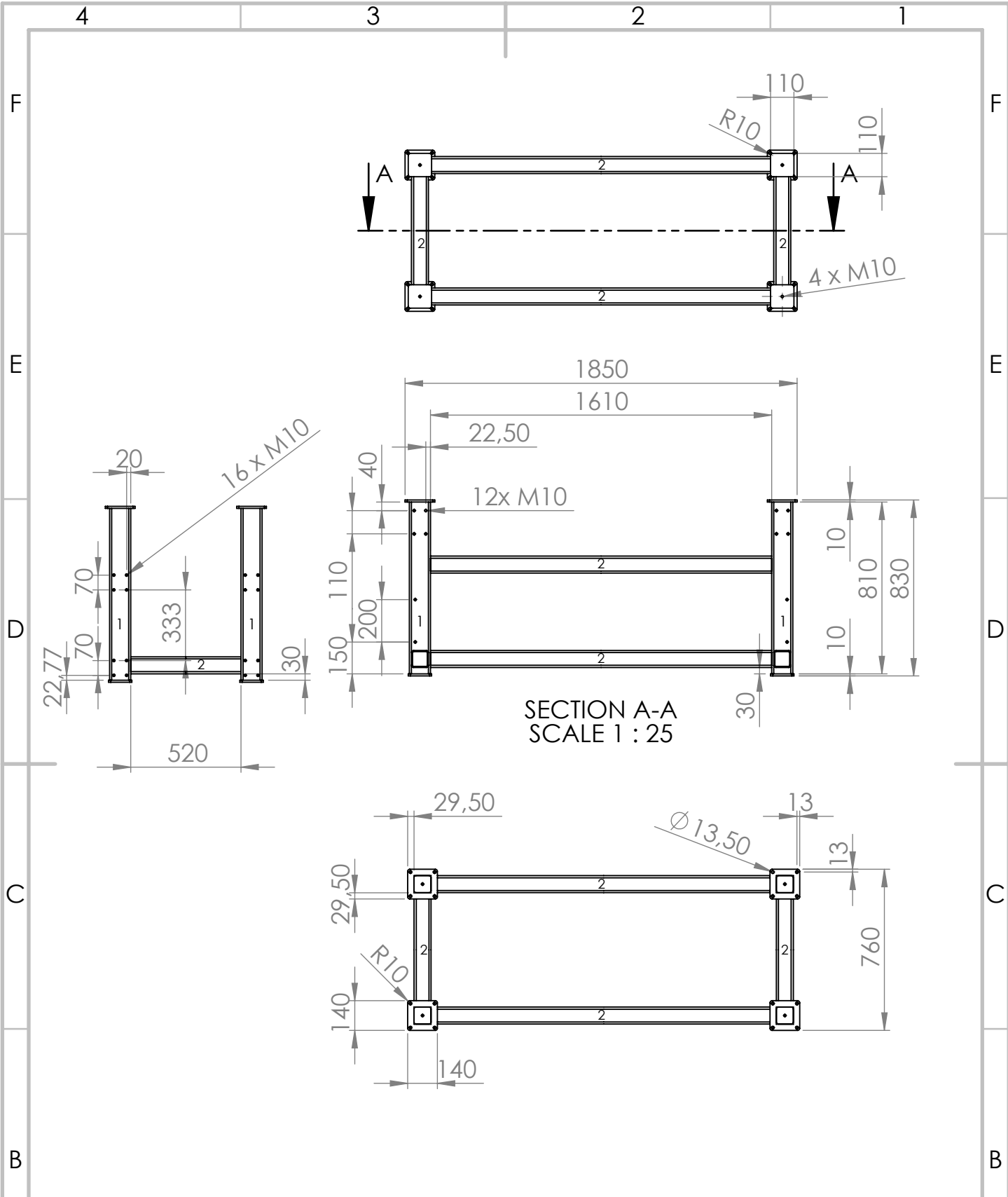
DO NOT SCALE DRAWING REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN		
CHK'D		
APPV'D		
MFG		
Q.A		

TITLE:

 MATERIAL:
S355
 DWG NO.
Pitkän painotelan laakeripesä
 SCALE:1:2
 SHEET 1 OF 1

A4



SECTION A-A
SCALE 1 : 25

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: ISO 2768-m
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

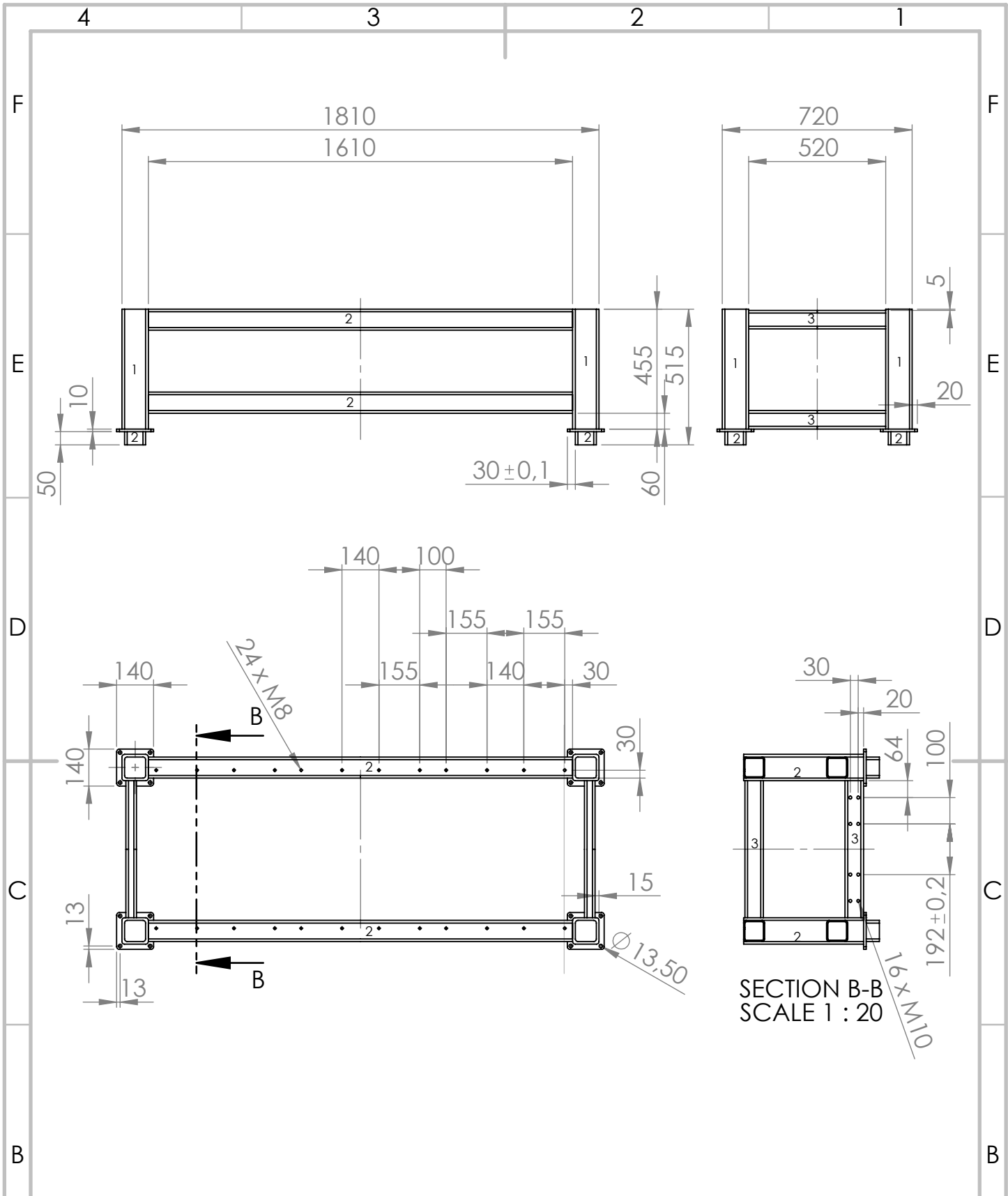
NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN		
CHK'D		
APPV'D		
MFG		
Q.A		

TITLE:	
DWG NO.	Rungon_alaosa
SCALE: 1:50	SHEET 1 OF 1

MATERIAL: 1) □100 x 100 x 10
S355J2H 2) □80 x 80 x 5

WEIGHT:

A4



SECTION B-B
SCALE 1 : 20

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: ISO 2768-m
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN		
CHK'D		
APPV'D		
MFG		

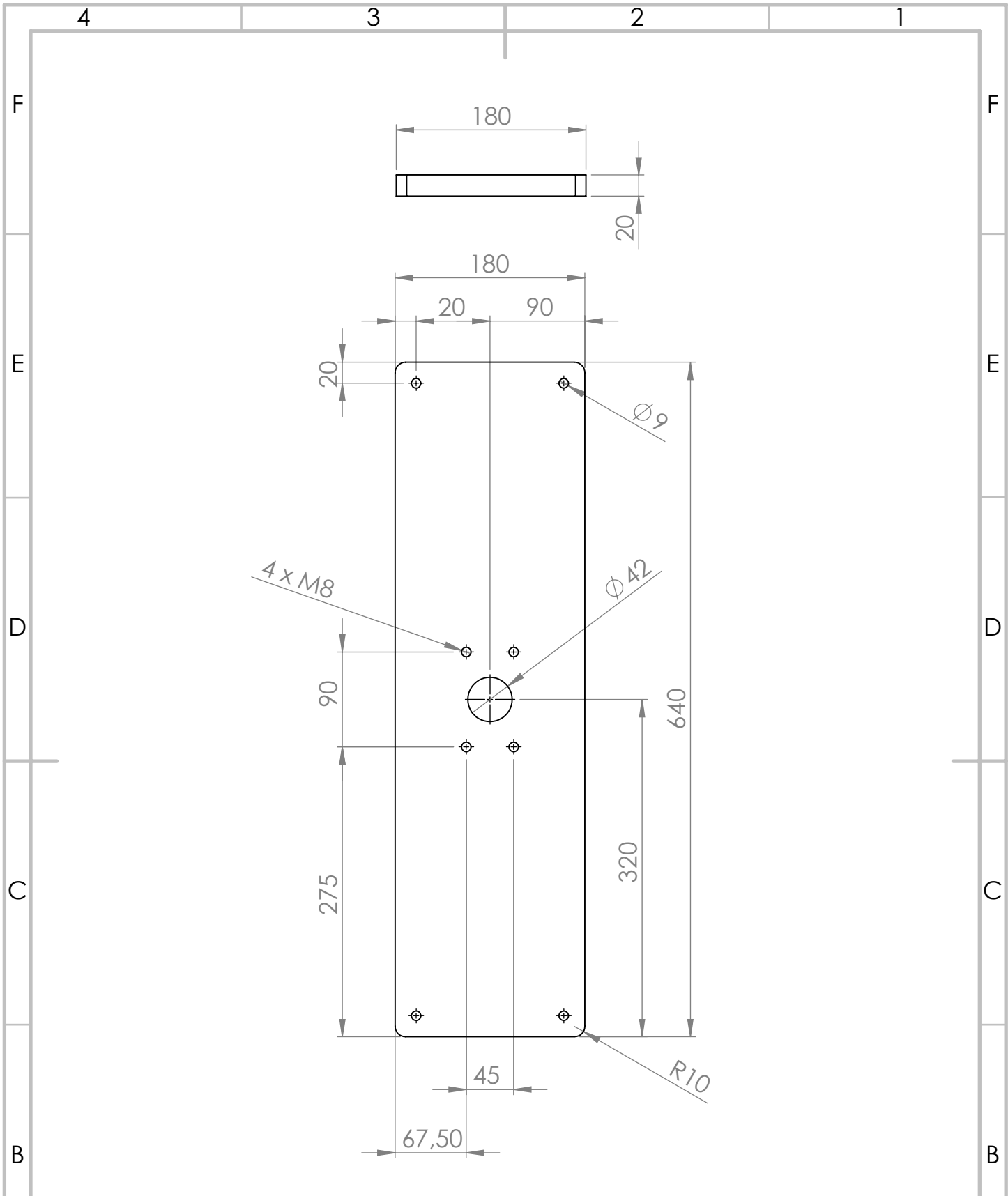
TITLE:

Rungon_yläosa

Q.A

MATERIAL: 1) □100 x 100 x 10
S355J2H 2) □80 x 80 x 5
3) □70 x 40 x 5
WEIGHT:

DWG NO. A4
SCALE: 1:50
SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: ISO 2768-m
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE	
DRAWN				
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A				
			MATERIAL:	
			S355	
			WEIGHT:	

TITLE:

DWG NO.

Ruuvisylinterin kiinnityslevy

A4

SCALE:1:10

SHEET 1 OF 1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

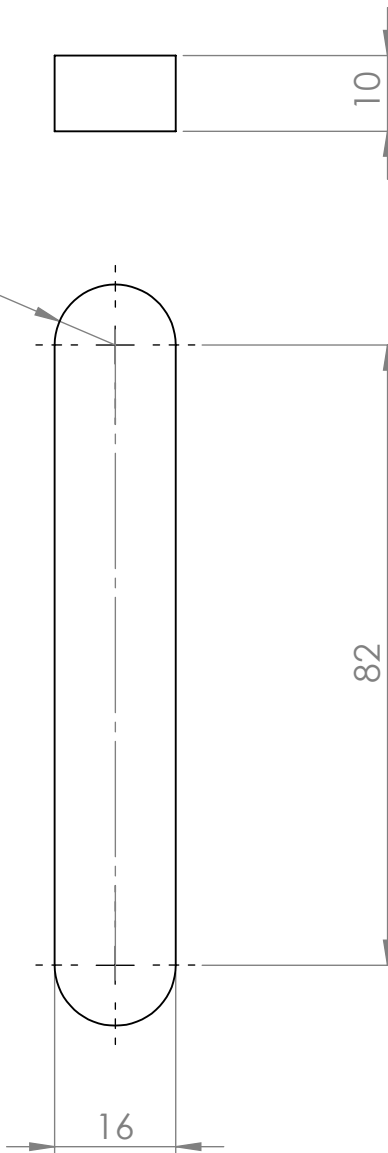
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: ISO 2768-m
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
				MATERIAL:	
				Kiilateräs St 60-2K 10 x 16	
				WEIGHT:	

TITLE:

DWG NO.

Tasakiila

A4

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1

4

3

2

1

A

A

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

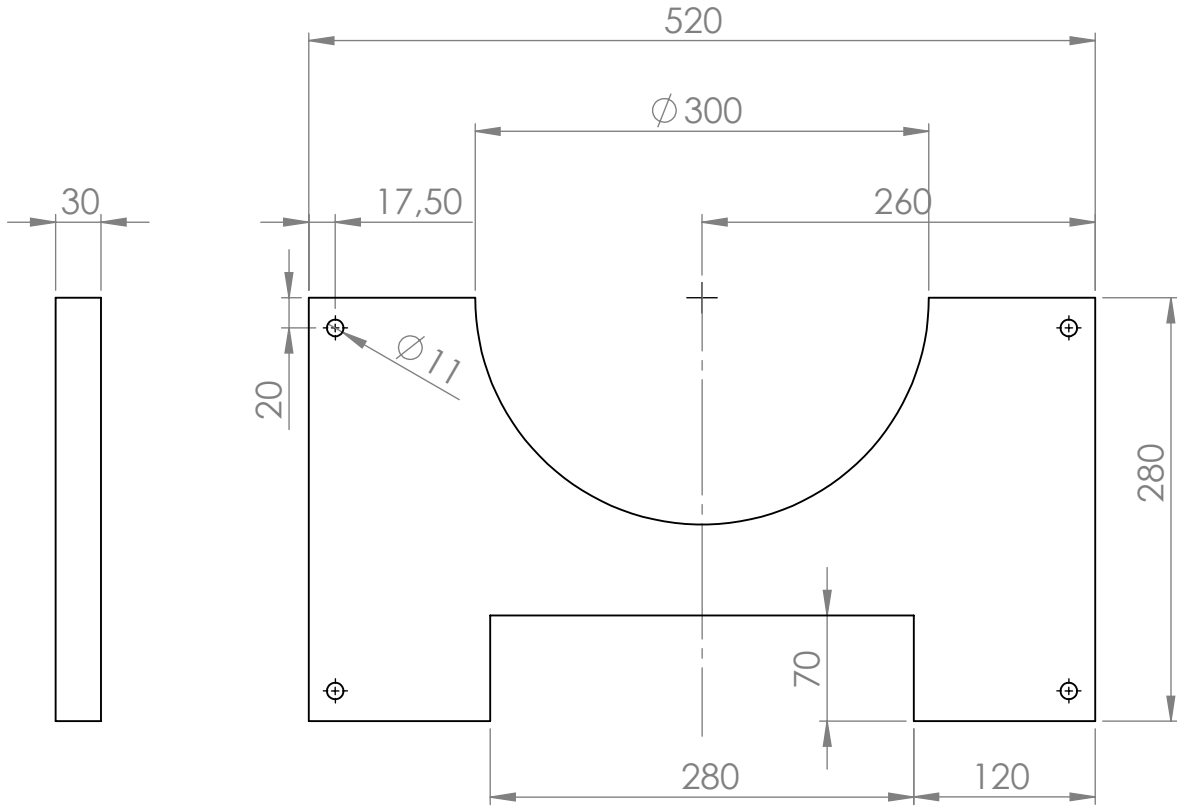
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: ISO 2768-m
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					

TITLE:

MATERIAL:

S355

DWG NO.

Tukisylinterin_kiinnike

A4

WEIGHT:

SCALE:1:5

SHEET 1 OF 1

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

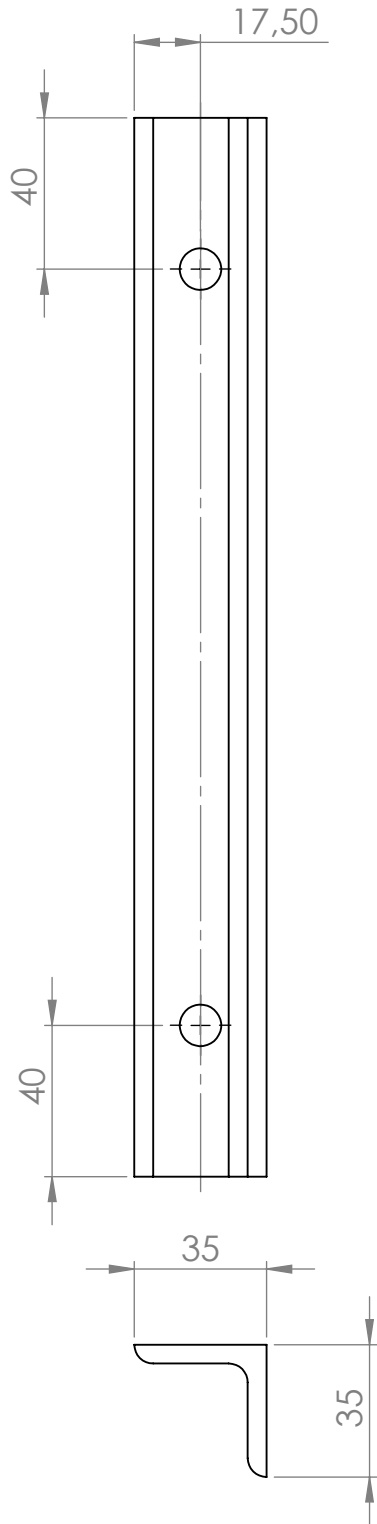
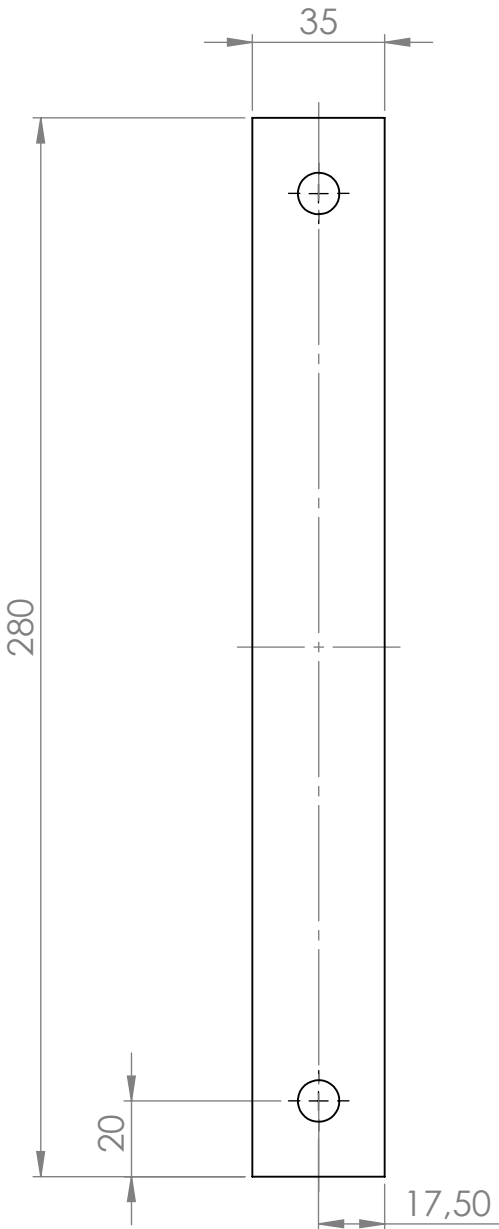
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: ISO 2768-m
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
MATERIAL:			DWG NO.		
Kulmatanko			Tukisynterinin_kiinnike2		
S235JRG2 35 x 35 x 5			A4		
WEIGHT:			SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1

TITLE:

DWG NO.

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

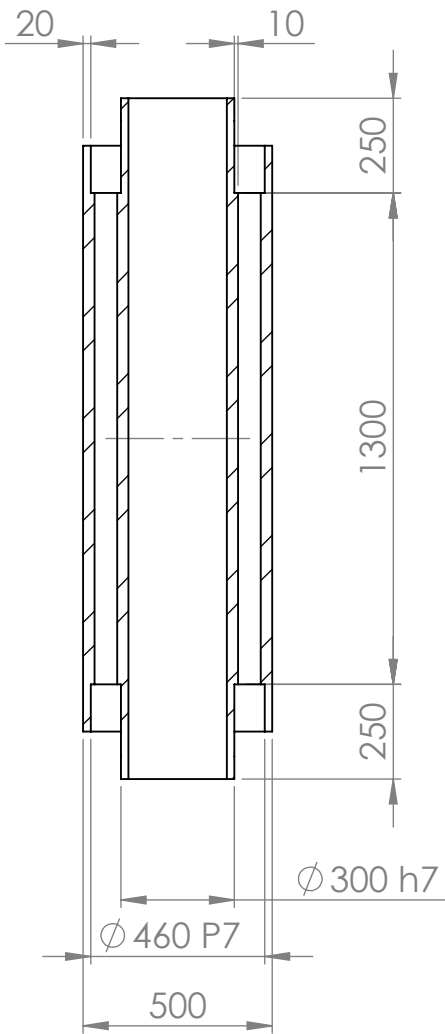
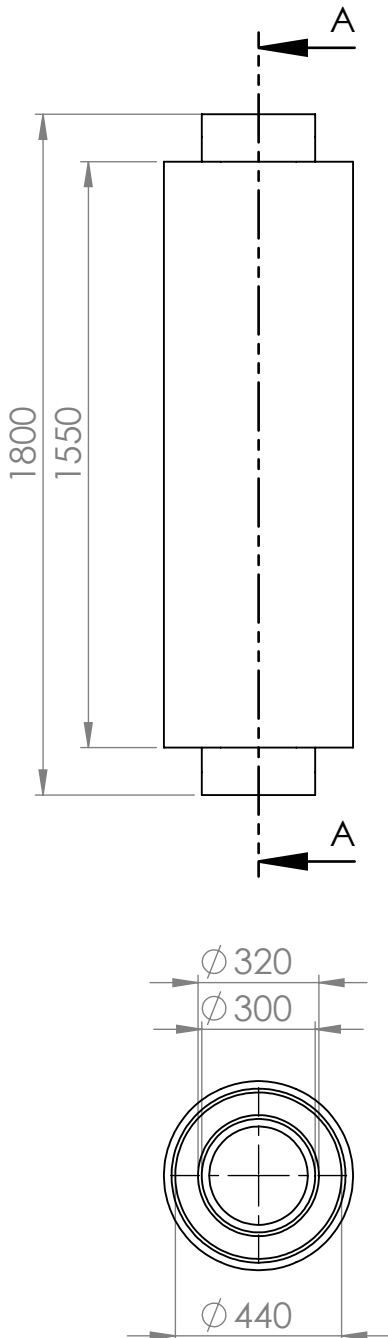
C

B

B

A

A



SECTION A-A

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: ISO 2768-m
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE	
DRAWN				
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A				
			MATERIAL:	
			S355	
			WEIGHT:	

TITLE:		
DWG NO.	Tukitela	A4
SCALE: 1:20	SHEET 1 OF 1	

4

3

2

1