

Terhi Lehtinen

Materiaalien valinta brodeerausapuvälineelle

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka

Insinöörityö

25.05.2016

Tekijä(t) Otsikko	Terhi Lehtinen Materiaalien valinta brodeerausapuvälineelle
Sivumäärä Aika	41 sivua + 2 liitettä 25.05.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Yliopettaja Kai Laitinen Toimitusjohtaja Sami Herpiö
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Pimenno Oy:lle. Yrityksen toimenkuvaan kuuluu tekstiilien maa- hantuonti, brodeeraus, silkkipaino sekä lämpösiirrettävien merkkien tulostus, leikkaus ja prässäys. Työn tarkoituksena oli valita materiaalit brodeerausapuvälineeseen, joka on suun- niteltu yrityksessä. Lisäksi työhön kuului määrittää apuvälineen mitoitus, sekä pyrittiin rat- kaisemaan ongelmat kappaleiden kokoonpanossa ja tuotteen kiinnityksessä pöytään.</p> <p>Brodeerausapuvälineen tarkoituksena on helpottaa tekstiilituotteiden raamittamista, nopeut- taa työskentelyä, parantaa laatua ja vähentää materiaalikustannuksia. Se on siirrettävä. Apuväline on tarkoitettu lähinnä Euroopan markkinoille, joissa yksilöinti suoritetaan valmi- isiin tekstiilituotteisiin.</p> <p>Valmistusmenetelmäksi valittiin työstö, koska kertatilausmäärät ovat pieniä. Materiaalien va- linnat suoritettiin arvoanalyysin avulla. Runko-osan materiaaliksi valikoitui koivuvaneri ja läp- päosan kuumavalssattu teräslevy S235JRG2.</p> <p>Prototyypin koekäyttö onnistui. Tätä opinnäytetyötä voidaan käyttää apuna tuoteselosteen tekemisessä ja tuoteperheen uusien malleja suunniteltaessa.</p>	
Avainsanat	brodeerausapuväline, brodeeraus, materiaalin valinta

Author(s) Title	Terhi Lehtinen Materials selection for an embroidery aid
Number of Pages Date	41 pages + 2 appendices 25 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Materials Technology and Surface Engineering
Specialisation option	
Instructors	Kai Laitinen, Principal Lecturer Sami Herpiö, Managing Director
<p>This thesis was made for Piménno Oy. The company's services are textiles import, embroidery, screen printing and also heat transfer films printing, cutting and pressing. The purpose of this thesis was to select materials for an embroidery aid which is designed in the company. Additionally, the thesis includes dimensioning the aid, solving the problems with assembling the components and attaching the product to the table.</p> <p>The purpose of the embroidery aid is to ease the hooping of textile products, accelerate the work, improve quality and reduce material costs. It has been made movable. The aid is intended to be marketed mainly in Europe where embroidery is being made for finished textile products.</p> <p>Machining was selected as the working method because one-time order quantities are low. The materials selections were made by value analysis. Birch plywood was selected as the material for the body, and hot-rolled steel sheet S235JRG2 was used for the flap.</p> <p>The trial run of the prototype was successful. This thesis can be used when making a product data sheet and designing new models for the product family.</p>	
Keywords	embroidery aid, embroidery, material selection

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Brodeeraus	2
2.1	Nuppi eli neulontapää	2
2.2	Raamitus	3
2.3	Muut työvaiheet	4
2.4	Apuvälineen merkitys brodeerauksessa	5
3	Materiaalin valinta	5
3.1	Materiaalien kehittyminen ja tietolähteitä	6
3.2	Valintaprosessi	7
3.2.1	Vaatimusprofiilin laatiminen	7
3.2.2	Valintastrategian päättäminen	8
3.2.3	Materiaalien esivalinta	8
3.2.4	Ominaisuusprofiilin laadinta	9
3.2.5	Vaatimusten ja ominaisuuksien yhteensovittaminen	10
3.2.6	Prototyypin valmistus ja käyttöseuranta	13
4	Apuvälineen toiminta ja tarkoitus	13
5	Brodeerausapuvälineen osien mitoitusten suunnittelu ja piirustukset	15
6	Materiaalin valintaprosessi rungon materiaalille	19
6.1	Vaatimusprofiilin laadinta ja valintastrategian päättäminen	20
6.2	Materiaalin esivalinta	22
6.3	Ominaisuusprofiili	23
6.3.1	Ominaisuuksien painokertoimen määrittäminen rungon materiaalille	26
6.3.2	Materiaaliominaisuuksien lukuarvon määrittäminen	26
6.4	Vaatimusten ja ominaisuuksien yhteensovittaminen	28
7	Materiaalin valintaprosessi läpän materiaalille	29
7.1	Vaatimusprofiilin laadinta ja valintastrategian päättäminen	30
7.2	Esivalinta	31
7.3	Ominaisuusprofiilin laadinta	31
7.4	Materiaaliominaisuuksien lukuarvon määrittäminen ja vertailulukujen laskeminen	32

8	Osien kiinnitys toisiinsa ja apuvälineen kiinnitys pöytään	34
9	Koekäyttö	36
10	Johtopäätökset	39
	Lähteet	40
	Liitteet	
	Liite 1. Egger MDF-MB E1 -levyn tekniset ominaisuudet	
	Liite 2. Koivu- ja combivanerin tekniset ominaisuudet	

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena on brodeerausapuvälineen materiaalien valitseminen ja mitoitus suunnittelu tuotantoa varten. Työ tehdään yritykselle Pimenno Oy, jonka toimitusjohtajana toimii Sami Herpiö. Yritys on perustettu vuonna 2005 ja toimikuvaaan kuuluu tekstiilien maahantuonti, brodeeraus, silkkipaino sekä lämpösiirrettävien merkien tulostus, leikkaus ja prässäys.

Apuvälineen kehittäjällä ja suunnittelijalla Sami Herpiöllä on 15 vuoden kokemus brodeeraustyöstä. Hän uskoo keksineensä tuotteen, jota moni brodeeraaja on kaivannut jo pitkään. Yritys aloitti vuonna 2012 silkkipainamisen, jonka avulla hän on saanut uutta näkökulmaa tuotteen suunnittelussa. Brodeeraukseen on olemassa hyvin vähän apuvälineitä, eikä tähän mennessä ole tullut vastaan yhtäkään brodeeraamoaa, jossa sellainen olisi käytössä.

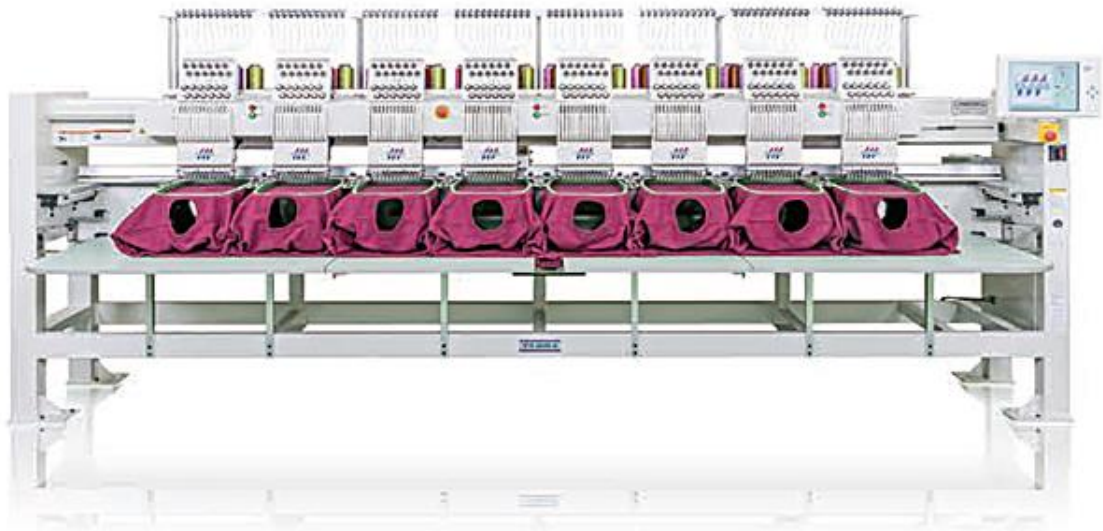
Brodeerauksessa aikaa vievin työvaihe on koneen tikkaaminen, joka vaihtelee kuvion tikkimäärän mukaan. Brodeerausapuväline on suunniteltu helpottamaan ja nopeuttamaan tekstiilituotteiden raamittamista. Siitä syystä saadaan seuraavat tuotteet nopeasti koneeseen eikä työskentelyyn tule katkoja. Ylimääräinen aika voidaan käyttää brodeerauksen jälkeisiin työvaiheisiin ja pakkaamiseen. Näin saadaan nopeammin valmista ja tuotteet asiakkaille.

Tässä työssä oleva apuväline on tarkoitettu lähinnä pipojen, hihojen ja lippisten takaosien raamittamiseen. Se on myös erinomainen apu, kun kehyksen takaosa täytyy pujottaa hankaliin paikkoihin, esimerkiksi takin vuorin sisään. Apuväline, joka soveltuisi kaikkiin tekstiilituotteisiin ja olisi sen lisäksi hyödyllinen, näyttää olevan mahdotonta. Haastavaksi suunnittelun tekee myös se, että brodeerauskehysten koot ja muodot vaihtelevat, brodeerauskuvion koon ja tekstiilituotteen mukaan.

Ideana on tehdä laadukas ja kestävä tuote, joka valmistetaan Suomessa. Osat teetetään alihankintana kotimaisissa yrityksissä. Kokoonpano sekä laadunvalvonta toteutetaan Pimenno Oy:n tiloissa, josta ne lähetetään asiakkaalle.

2 Brodeeraus

Brodeerauksella eli toiselta nimeltään kuviokirjonnalla, tarkoitetaan tekstiilituotteiden merkitsemistä tai koristelemista langalla. Sillä saadaan aikaan kestävä ja näyttävä yksilöinti esimerkiksi työvaatteisiin ja yrityslahjoihin. Brodeeraus tehdään pääsääntöisesti koneellisesti teollisuuskäyttöön tarkoitetulla brodeerauskoneella ja Euroopan maissa on useimmiten käytössä 1–12-nuppisia. Kuvassa 1 on Tajima merkinen 8-nuppinen kone. Maissa, joissa tekstiili- ja vaatetusteollisuus on suurempaa ja työvoima halvempaa, kuten: Kiinassa, Bangladeshissa, Intiassa ja Turkissa, voi olla käytössä jopa 30-nuppisia koneita. [1; 2.]



Kuva 1. Tajiman 8-nuppinen brodeerauskone. [2.]

2.1 Nuppi eli neulontapäätä

Nuppi on ammattisanastoa ja tarkoittaa sitä, montako neulontapäätä koneessa on, eli montako tuotetta voidaan samanaikaisesti brodeerata. Neulontapäätä saadaan tarvittaessa pois päältä esimerkiksi, jos tuotteita on kerralla vähemmän. Teollisuusbrodeerauskoneissa on yhdessä nupissa 6–15 neulaa, eli yhdessä logossa voi olla maksimissaan 15 eri väriä. Todellisuudessa logoissa on useimmiten käytössä vain muutama väri, mutta logojen vaihtuessa värit vaihtuvat ja näin säästytään lankojen vaihtamiselta koneessa. Kuvassa 2 on käynnissä tuotteen brodeerausta 1-nuppisella koneella. [1.]



Kuva 2. Tekstiilituote brodeerattavana.

2.2 Raamitus

Yksilöitävä tuote kiinnitetään brodeerauskoneeseen raamin avulla, kuten kuvassa 2. Raamia voidaan kutsua myös brodeerauskehykseksi. Raamin kiinnitystä brodeerattavaan tekstiiliin kutsutaan raamittamiseksi, joka on myös ammattisanastoa. Kuvissa 3 ja 4 nähdään valmiiksi raamitettu pikeepaita etupuolelta ja nurjalta puolelta.



Kuva 3. Raami kiinnitettynä tuotteeseen (etupuolelta).

Brodeerattavat tuotteet tarvitsevat tukikankaan tuotteen nurjalle puolelle tikkauksen taakse. Nimensäkin mukaisesti se antaa tukea neulokselle, ja ilman sitä logo menee

muodottomaksi viimeistään pesussa. Tapauskohtaisesti, joissakin paksummissa tuotteissa, esimerkiksi takeissa, tukikankaan voi jättää kokonaan pois. [1.]



Kuva 4. Raami kiinnitettyä tuotteeseen (nurjalta puolelta).

Raamituksessa brodeerattava tuote asetellaan kehysten väliin siten, että kangas on sopivasti pingotettuna, eikä siinä saa olla ryppyjä. Tärkeintä raamituksessa on se, että kehys saadaan kiinnitettyä oikeaan kohtaan ja kulmaan, jotta brodeeraus näyttäisi hyvältä myös lopullisessa tuotteessa. Joissakin tuotteissa suorutta on vaikea nähdä, kun raami on jo tuotteessa kiinni; koska kangas rypistyy kehän ulkoreunoilta ja menettää muotonsa raamissa ollessaan. Raamittamista vaikeuttava tekijä on tukikangas, ja haastavinta se esimerkiksi on silloin, kun kehysten takaosa tulee hihan tai vuorin sisään. Tukikangas liikkuu helposti tekstiilin mukana ja jos se ei ole oikeassa kohdassa, raamittaminen täytyy aloittaa uudestaan.

2.3 Muut työvaiheet

Brodeerauksen jälkeen raami irrotetaan tuotteesta ja ylimääräinen tukikangas revitään tai leikataan pois. Ennen kuin tuote on valmis pakattavaksi asiakkaalle, täytyy siitä tarvittaessa leikata ylimääräiset langanpätkät, tussata virheet piiloon ja poistaa raamin jättämä jälki veden sekä harjan avulla. Työskentelystä tulee tehokkaampaa, kun brodeeraaja ehtii tekemään nämä asiat siinä ajassa, kun kone brodeeraa tulevia tuotteita.

2.4 Apuvälineen merkitys brodeerauksessa

Sanotaan, että brodeerauksessa on tärkeintä, että kone käy koko ajan. Se tarkoittaa sitä, että uudet tuotteet täytyy ehtiä raamittamaan, ennen kuin edellinen brodeeraus on valmis. Tässä työssä tarkasteltava apuväline on kehitetty helpottamaan raamittamista, jotta työskentely olisi nopeampaa ja lopputulos tasalaatuisempaa. Apuväline pitää tukikan-kaan ja kehyksen takaosan paikoillaan, minkä vuoksi saadaan vapautettua myös toinen käsi tekstiilituotteen asetteluun raamitusta varten. Runkoon voi myös lisätä omia merkin- töjä, joka vähentää mittaamisen tarvetta samanlaisissa tuotteissa. [1.]

Aasian tekstiiliteollisuudessa valtaosa brodeerauksista tehdään kangaskappaleisiin ja vasta sen jälkeen tuote ommellaan kasaan. Siitä johtuen brodeerausapuväline on tarkoi- tettu markkinoitavaksi lähinnä Eurooppaan, jossa yksilöinti suoritetaan valmiiseen tuot- teeseen. Tästä syystä logon suorudella ja sijainnilla on suurempi merkitys. [1.]

3 Materiaalin valinta

Materiaalitekniikka on jatkuvasti kehittyvä ala, johon vaikuttavat vahvasti materiaalin vaatimusten tason kohoaminen, taloudellisten seikkojen korostuminen ja ympäristön huomioonottaminen. Uusia materiaaleja keksitään jatkuvasti. Niiden valmistusmenetel- mien ja ominaisuuksien lisääntyminen asettavat materiaalin valitsijan yhä suurempien haasteiden eteen. [3, s. 248–249; 4; 5, s. 2.]

Tuotteen suunnitteluprosessissa materiaalin valinnalla on suuri merkitys lopputulokseen, ja tavoitteena on tähdätä vaadittujen toimintojen toteuttamiseen mahdollisimman tehok- kaasti, turvallisesti ja taloudellisesti. Avainasemassa tuotteen kilpailukyvyyn ja menesty- misen kannalta on usein materiaalien pitkäaikaiskestävyys ja luotettavuus. Pahimmassa tapauksessa materiaalin rikkoutumisella voi olla katastrofaaliset seuraukset. [3, s. 248; 4; 5, s. 2.]

Materiaalin valinta on yhä selkeämmin muuttumassa materiaalin suunnitteluksi, sillä yhä useammin joudutaan valitsemaan paitsi materiaali, myös sen käsittelytila haluttujen omi- naisuuksien saavuttamiseksi. Käsittelytilalla tarkoitetaan esimerkiksi teräksen lämpökä- sittelyä karkaisulla. Suunnittelun onnistuminen vaatii suunnittelijalta materiaaliopin ja

materiaalitekniikan hallintaa ja käsitystä materiaaliin liittyvistä kustannustekijöistä. [3, s. 248–249.]

Materiaalin valinta ei ole ainutkertainen tapahtuma, vaan se on jatkuva prosessi ja joissakin tapauksissa se voi kestää koko tuotteen eliniän. Hyvänä esimerkkinä virvoitusjuomapullojen materiaali. Perusteellisesti suoritettuna materiaalin valinta on laaja ja monimuotoinen tehtävä. Tuotetta valmistettaessa tarvitaan materiaalin lisäksi sille soveltuva valmistusmenetelmä. Prosessissa materiaalia esimerkiksi muovataan, liitetään yhteen, viimeistellään ja pintakäsitellään. Monesti valmistusmenetelmä on hallitsevassa asemassa ja sopivuutta voi olla joskus vaikeakin löytää. [3, s. 249; 4, s. 2.]

3.1 Materiaalien kehittyminen ja tietolähteitä

Melkein kaikki tänä päivänä käytettävät materiaalit on kehitetty viimeisen 100 vuoden aikana. Tarkkaa lukua erilaisista materiaaleista ei löydy, mutta Ashbyn ym. [5, s. 2] mukaan niitä on jo yli 160 000, joista 45 000 on synteettisiä polymeerejä. Materiaalikirjoja pyritään vähentämään standardoinnin avulla. Suomessa yleisesti voimassa olevat materiaalistandardit ovat SFS-standardeja ja ne jakaantuvat kolmeen ryhmään: aine-, aineenkoetus- ja tuotestandardit. [3, s. 307; 4, s. 2; 5, s. 2–3.]

Materiaalia valitessa täytyy tietää, mitä ominaisuuksia sillä on. Materiaalien ominaisuuksista saa tietoa, esimerkiksi valmistajien nettisivuilta ja käsikirjoista, joista tunnetuin on *ASM Materials Handbook*. Käytössä on myös tietokoneavusteisia ohjelmistoja, jotka voidaan jakaa kahteen pääryhmään: tietopankkeihin ja asiantuntijajärjestelmiin. Tietopankit ovat tietovarastoja, joihin voidaan tallentaa ja joista voidaan etsiä materiaaliominaisuuksia koskevia tietoja erilaisin kriteerein. Asiantuntijajärjestelmissä käytetään hyväksi ohjelmistoja, jotka kykenevät ratkaisemaan päättelyä vaativia ongelmia etukäteen laadittujen sääntöjen perusteella. Tarjolla on myös 3D-grafiikkaohjelmistoja, joihin on liitetty ominaisuuksia, joiden avulla voidaan määrittää kappaleelle tarvittavat lujuudet ja niiden avulla voidaan hakea oikeanlainen materiaali ja valmistustapa. [3, s. 258; 5, s. 3.]

3.2 Valintaprosessi

Materiaalin valinta on osa tuotteen suunnitteluprosessia ja valintaa joudutaan tekemään monella tasolla suunnittelun kestäessä. Materiaalin valintaprosessi koostuu yleensä seuraavista vaiheista:

- tuotteen tehtävien ja toimintojen kartoitus
- tuotteen vaatimusprofiilin laadinta
- valintastrategian päättäminen
- materiaalien esivalinta
- materiaaliakohtaisen ominaisuusprofiilin laadinta
- vaatimusten ja ominaisuuksien yhteensovittaminen, eli lopullinen valinta
- käyttöseuranta, joka voi johtaa mahdolliseen uudelleenarviointiin ja valintamennettelyn uusimiseen [3, s. 248–249; 4.]

Tuotteen suunnittelu syntyy tarpeesta. Kyse voi olla jo olemassa olevasta tai aivan uudesta tuotteesta. Tuotteen tehtävä ja siltä halutut toiminnot selkiintyvät yleensä jo tuotetta suunniteltaessa. Kartoitus antaa hyvän pohjan materiaalin valintaprosessille. Tuotteen analysoinnissa voidaan etsiä vastauksia, esimerkiksi kysymyksiin mitä se tekee, miten se tekee sen, missä se sen tekee, kuka sitä käyttää ja mitä sen tulisi maksaa. [3, s. 249; 5, s. 34.]

3.2.1 Vaatimusprofiilin laatiminen

Vaatimusprofiilissa kartoitetaan ne toimintojen, käyttöympäristön, valmistettavuuden ja kustannusten vaatimukset, joita tuotteeseen ja sen materiaaliin kohdistuu. Vaatimusten laadinta voi perustua esimerkiksi omakohtaisiin kokemuksiin ja harkintaan, aikaisempien vastaavien tuotteiden käyttäjäkyselyihin tai vauriotapausten seurantaan. Toimintoja voivat olla esimerkiksi kuormankantokyky, muodon säilyttäminen, väsymiskestävyys ja keveys. Ympäristön vaatimuksissa tarkastellaan miten käyttöympäristö vaikuttaa materiaaliin mekaanisesti ja kemiallisesti. Valmistettavuudessa voidaan esimerkiksi tarkastella, mitä valmistusmenetelmiä tuote vaatii ja miten suuria tilausmäärät ovat. Vaatimusprofiilissa tarkastellaan kustannuksia materiaalin hinnan, valmistuksen ja käytön aikaisten kustannusten näkökulmasta. [3, s. 249; 4.]

3.2.2 Valintastrategian päättäminen

Materiaalin valintastrategiana voi olla esimerkiksi ”*halvin mahdollinen tuote*” tai ”*paras mahdollinen tuote*”. Pyrkimässä halvimpaan mahdolliseen tuotteeseen on varauduttava käyttökustannusten kasvuun. Valintastrategiaa päätettäessä on hyvä myös suorittaa alustava elinjaksokustannus (LCC) -analyysi kaikkien mukaan tulevien kustannuselementtien kartoittamiseksi. LCC, eli Life Cycle Cost -analyysissä tarkastellaan kokonaiskustannuksia tuotteen koko elinkaaren aikana. Tuotteen elinjakso alkaa, kun käyttäjän tarve tiedostetaan ja päättyy, kun tuote poistetaan käytöstä. Kuvassa 5 on esimerkki LCC-analyysissä huomioon otettavista kustannuksista. Elinjaksokustannusanalyysissä suurimpana ongelmana on tulevien kustannusten määrittämisen vaikeus ja tästä syystä valinnat tehdään usein materiaalin tai tuotteen hankintaan liittyvien kustannusten perusteella. [3, s. 251, 267–268; 4.]



Kuva 5. Elinjaksokustannusanalyysissä huomioonotettavat kustannukset. [3, s. 267.]

3.2.3 Materiaalien esivalinta

Materiaalien ominaisuudet vaihtelevat eri materiaaleilla. Materiaalin esivalinnalla voidaan ensin rajata karkeasti pois epätodennäköisimmät materiaalit ja materiaalityhmät. Sen jälkeen voidaan aloittaa tarkempi vertailu eri materiaalien välillä, kunnes jää järkevän kokoinen joukko jatkotarkasteluja varten. [3, s. 251; 4.]

3.2.4 Ominaisuusprofiilin laadinta

Materiaalin valintaa joudutaan tekemään monella tasolla suunnittelun kestäessä. Ominaisuusprofiilia laadittaessa määritetään, mitä ominaisuuksia materiaalilla tulisi olla, jotta se vastaisi tuotteen asettamia vaatimuksia. Ominaisuuksia ovat esimerkiksi kulumiskestävyys, kitkakerroin ja lämmönjohtavuus. Tarvittava tietämys yksittäisistä materiaaleista voi olla tässä vaiheessa vielä hyvin yleisellä tasolla. [3, s. 249–251.]

Seuraavassa vaiheessa tarkastellaan tarkemmin materiaalia ja sitä, miten hyvin se vastaa tuotteen vaatimia ominaisuuksia. Samalla laaditaan ominaisuuksien painoarvo, eli tärkeysjärjestys, tuotteen toiminnan kannalta. Jos ominaisuus on ilmaistavissa numeroarvona, voidaan sitä useimmissa tapauksissa käyttää suoraan. Poikkeuksena esimerkiksi hinta, kun pyritään halvimpaan mahdolliseen materiaaliin. Jos ominaisuus ei ole ilmaistavissa numeroarvona, voidaan materiaalit asettaa paremmuusjärjestykseen. Tässä tapauksessa parhaalle materiaalille voidaan antaa lukuarvoksi 100 ja muille niiden heikompia ominaisuuksia vastaava pienempi luku. Joillekin ominaisuuksille voi olla vähimmäisvaatimustaso, esimerkiksi lujuus. Silloin vaatimustason täyttävälle materiaalille annetaan arvoksi 100 ja sen alittavalle materiaalille 0 tai jokin sataa pienempi luku. Tässä tapauksessa annettava numeroarvo riippuu siitä, miten tärkeä vähimmäisvaatimuksen täytyminen on tuotteen toiminnan kannalta, sekä miten paljon ominaisuus jää alle vaadittavan vähimmäistason. [3, s. 251–252; 4, s. 32.]

Materiaalien ominaisuuksille määritetään painokertoimet, niiden tärkeysjärjestyksen mukaan, tuotteen haluttujen toimintojen kannalta. Painokertoimet voidaan määrittää esimerkiksi harkinnanvaraisesti kokemukseen perustuen, mutta ongelmaksi voi tulla se, että joudutaan vertaamaan kaikkia ominaisuuksia samanaikaisesti keskenään. Helpoin tapa painokertoimien määrittämiseen on vertailla niitä taulukkomuodossa, kuvan 6 mukaan, jolloin verrataan vain kahta ominaisuutta kerrallaan. Vaaka- ja pystyriveille merkitään ominaisuuksien symbolit niin, että kutakin taulukon ruutua vastaa aina kaksi ominaisuutta. Taulukko täytetään siten, että ruutuun merkitään tärkeämpi ominaisuus toiminnan kannalta. Ruutuun merkitään kumpikin symboli, jos ominaisuudet ovat samanarvoisia tai valintaa ei osata tehdä. Jos ominaisuuden tärkeyttä toiseen verrattuna halutaan korostaa, voidaan symboli merkitä ruutuun moninkertaisena. Kun kaikki ruudut on käyty

läpi, lasketaan ruudukosta kunkin ominaisuuden symbolin esiintymiskertojen lukumäärä, joka on painokertoimen arvo. [3, s. 252–253; 4, s. 33–34.]

	B	C	D	E
A	AB	A	A	E
	B	B	B	BE
		C	CD	E
			D	E

Kuva 6. Painokertoimien määrittämisessä käytettävä taulukko. [4, s. 34.]

3.2.5 Vaatimusten ja ominaisuuksien yhteensovittaminen

Tuotteen vaatimusten ja ominaisuuksien yhteensovittaminen voidaan tehdä eri tavoin. Yksinkertaisin tapa on käyttää hyväksymisperiaatetta, jossa selvitetään, täyttävätkö ehdolla olevat materiaalit asetetut vaatimukset. Tarkastelussa materiaalin ominaisuus on joko hyväksyttävä tai ei, joka merkitään taulukkoon ominaisuuden kohdalle, joko plus- tai miinusmerkin avulla. Jos materiaali on saanut yhdenkin miinuksen, se merkitään yhteenvedossa hylätyksi. [3, s. 253; 4, s. 29–30.]

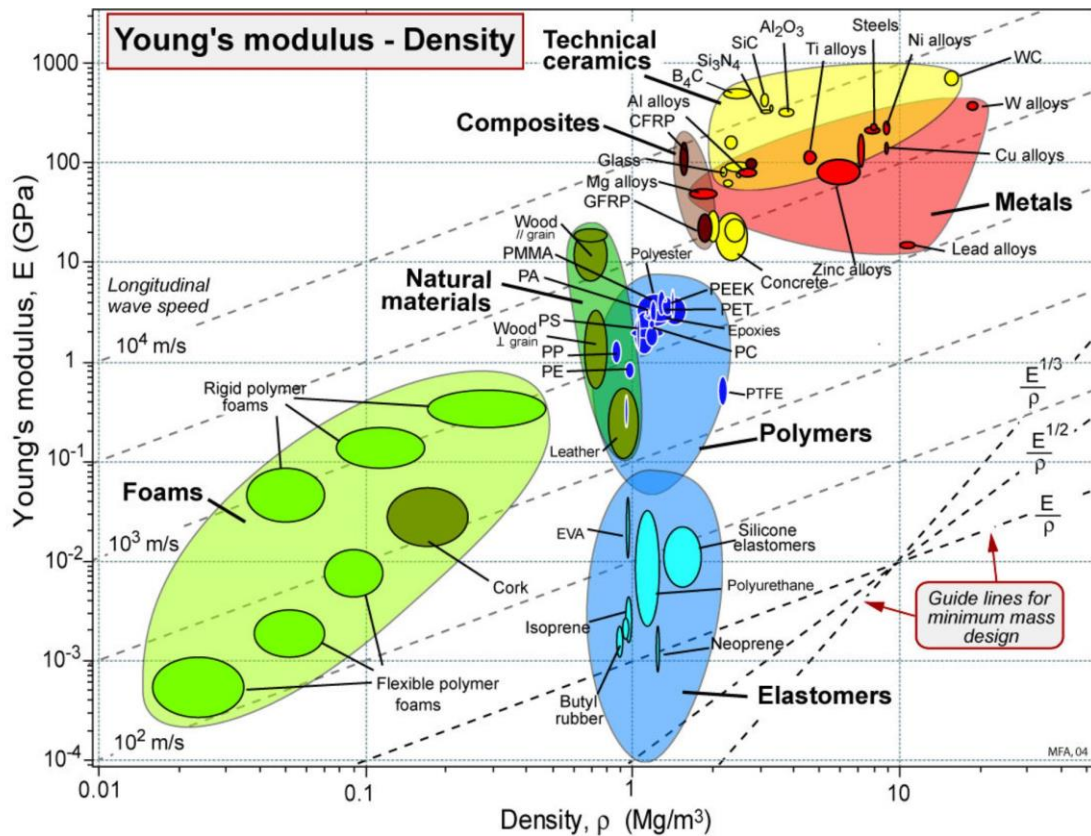
Arvoanalyysin avulla, tuotteen vaatimuksia ja materiaalin ominaisuuksia saadaan verrattua yksityiskohtaisesti. Siinä lasketaan kullekin materiaalille vertailuluku, joka kuvaa materiaalin soveltuvuutta tarkasteltavaan käyttökohteeseen. Vertailuluku lasketaan kaavan

1 avulla, jossa w_i on ominaisuuden painokerroin, M_i on ominaisuusprofiiliin kuuluva materiaaliominaisuuden lukuarvo ja C on kyseessä olevan materiaalin käyttöön liittyvät kustannukset (mikäli mahdollista). Vertailuluvut on helpointa laskea taulukkomuodossa ja parhaiten kohteeseen soveltuva materiaali saa suurimman arvon. Kun parhaat materiaalit on saatu selville, tarkistetaan vielä niiden valintaan mahdollisesti vaikuttavat rajaehdot, kuten saatavuus, standardit, säädökset, imago ja kierrätettävyys. Tämän jälkeen materiaalin valinnan ensimmäinen vaihe on päätöksessä. [3, s. 253; 4, s.31–36.]

$$\text{Vertailuluku} = \sum_i \frac{w_i M_i}{C} \quad (1)$$

Vaatimuksia ja ominaisuuksia voidaan sovittaa yhteen myös niin sanottujen meriittiparametrien eli toimivuusindeksien avulla. Niitä käytetään, kun materiaalin toimivuus riippuu samanaikaisesti useammasta kuin yhdestä materiaaliominaisuudesta. Toimivuusindeksejä voidaan johtaa teoreettisesti kulloiseenkin tilanteeseen soveltuvaksi. Jos esimerkiksi vaatimuksena on mahdollisimman kevyt ja luja rakenne, materiaalin toimivuus on suoraan verrannollinen lujuuteen ja kääntäen verrannollinen tiheyteen. Yleisesti toimivuusindeksi voidaan määritellä materiaaliominaisuuksien yhdistelmäksi, joka ennalta asetetun suureen suhteen maksimoi materiaalin toimivuuden tietyssä käyttökohteessa. Tietyissä käyttötilanteissa materiaalien toimivuutta rajoittavat monet ominaisuudet tai ilmiöt samanaikaisesti. Tällöin materiaalin kokonaistoimivuus voidaan määrittää laskeamalla yhteen tai kertomalla keskenään eri ominaisuuksien toimivuusindeksit. [3, s. 253-255; 4, s. 42-48.]

Materiaalin valinnassa voidaan myös käyttää ominaisuus/valintakarttoja. Ne on kehittänyt professori Michael Ashby Cambridgen yliopistosta Englannista. Kutakin materiaali-ryhmää edustaa oma alueensa koordinaatistossa, kuten kuvasta 7 huomataan. Materiaaliryhmillä on tietyn tyyppiset ominaisuudet, jotka vaihtelevat ryhmälle tyypillisissä rajoissa. Materiaaliominaisuudet voidaan esittää koordinaatistossa, jonka akseleina ovat käyttösovellukselta vaaditut ominaisuudet. [3, s. 257; 4, s. 49.]



Kuva 7. Tiheys-kimmomoduuli-ominaisuuskartta. [6.]

Valintakarttojen ajattelun lähtökohtana on, että materiaaliominaisuudet rajoittavat tietyn materiaalin toimivuutta halutussa käyttösovelluksessa. Useimmiten toimivuus on yhdistelmä kahdesta tai useammasta ominaisuudesta ja näistä voidaan muodostaa toimivuusindeksejä. Valintakartassa toimivuusindeksien vakioarvot voidaan esittää suorina, jonka akselina ovat kyseessä olevat indekseihin sisältyvät materiaaliominaisuudet. Materiaalit, jotka osuvat samalle opassuoralle, ovat samanarvoisia tarkasteltavan käyttökohteen kannalta. Etsintäalueen voi myös rajata akselin suuntaisesti, kun valinnassa kummallakin akselilla on sovelluksen käytön kannalta ensisijainen ominaisuus. Valintakarttojen käytön etuna on, että niiden avulla voidaan nopeasti rajata potentiaalisimpien materiaalien määrä niin pieneksi, että niiden lähempi yksityiskohtainen tarkastelu on järkevää. [3, s. 257–258; 4, s. 49–55.]

3.2.6 Prototyypin valmistus ja käyttöseuranta

Prototyyppi valmistetaan valituista materiaaleista ja testataan tuotteen lopullisissa käyttöolosuhteissa. Tuotteesta voidaan myös valmistaa koe-erä tai lopullinen tuote, joita asiakkaat testaavat, esimerkiksi jos valmistajalla ei ole itsellä mahdollisuutta testata sitä. [3, s. 254; 4, s. 83.]

Käyttöseurannassa saatujen kokemusten ja palautteen perusteella, arvioidaan materiaalin toimivuutta. Tarvittaessa tehdään vaadittavat uudelleenarvioinnit ja palataan valintaprosessin sopivaan vaiheeseen. Joissakin tapauksissa materiaalin valintaprosessia voidaan joutua tarkistamaan ja täydentämään aina vaatimusprofiilin uudelleenlaatimisesta lähtien. [3, s. 254; 4, s. 83.]

Materiaali valikoituu siihen kohdistuvien vaatimusten perusteella ja sillä tulee olla tiettyjä ominaisuuksia, jotta se täyttäisi sille asetetut vaatimukset. Materiaalin valinta on lyhyesti sanottuna vaatimusten ja ominaisuuksien optimaalista yhteensovittamista tiettyjen rajaehdojen vallitessa. Rajaehdoja ovat laatuvaatimukset, materiaalin saatavuus, lait ja asetukset, hävittäminen sekä tuotevastuu. [3, s. 249; 4, s. 6, 15.]

4 Apuvälineen toiminta ja tarkoitus

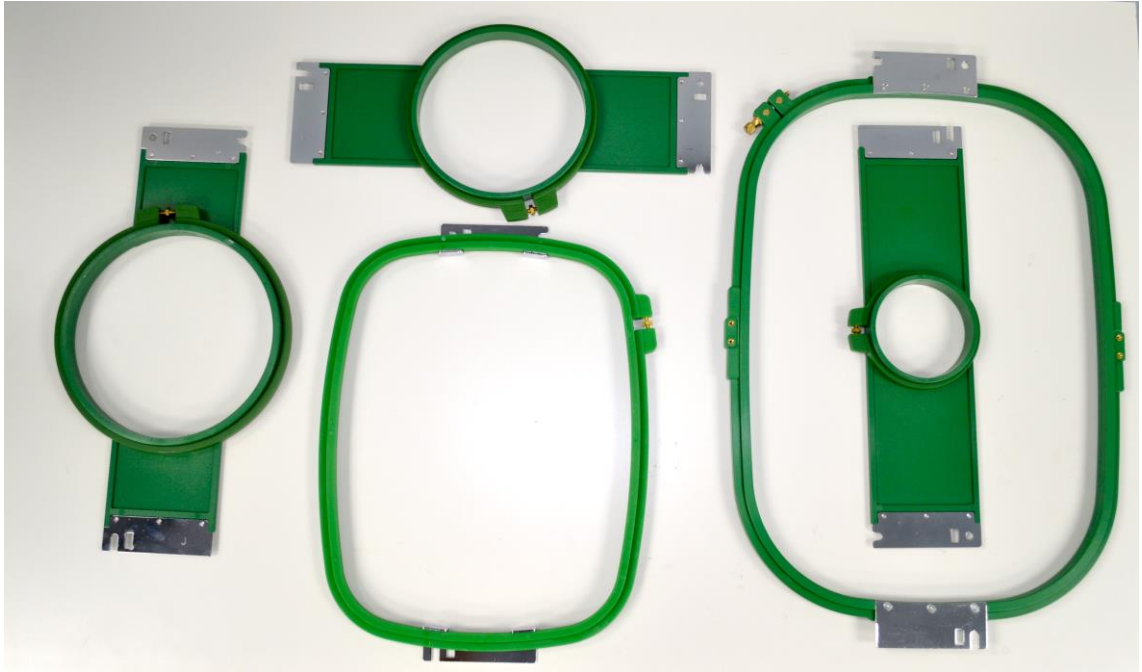
Normaalisti brodeerauksessa raami kiinnitetään tekstiilituotteeseen pöydän päällä, johon se on levitetty. Raamin takaosa ja tukikangas pujotetaan tekstiilituotteen sisälle, suurin piirtein oikeaan kohtaan. Kangas nousee, kun sinne laittaa käden ja kun sen ottaa pois, niin tukikangasta ja raami on liikkunut paikoiltaan. Tarkempi paikka haetaan raamin toisella osalla. Samalla raamin takaosaa ja tukikangasta siirretään toisella kädellä oikealle kohdalle, jonka jälkeen etuosa painetaan takaosaan tiukasti kiinni.

Jotkut brodeeraajat mittaavat ja merkitsevät tuotteeseen oikean kohdan, johon logo/kuvio tulee. Jotkut taas katsovat kohdan silmämääräisesti. Uuden apuvälineen tarkoituksena on helpottaa tuotteen raamittamista, sekä nopeuttaa työskentelyä ja vähentää erillisen mittaamisen tarvetta. Sen yksinkertainen tekniikka vähentää näpertelyä pienten osien kanssa ja vähentää rikkoutumisen riskiä.

Apuvälineen pitkä runko antaa työskentelytilaa pujottaa tuote suoraksi runkoa vasten, hankalissakin tapauksissa. Hankalia tuotteita brodeerata ovat esimerkiksi vuorilliset takit. Monissa merkkäamiseen tarkoitetuissa takeissa on selässä erillinen vetoketju, joka auttaa pääsemään vuorin sisään. Tikkauksen nurja puoli jää tällöin piiloon takin sisälle. Vetoketjuaukko on monesti pieni ja oikeaan kohtaan voi olla vaikea päästä. Tässä tilanteessa helpottaa, että apuväline pitää tukikankaan ja raamin takaosan paikoillaan ja niiden paikkaa voi muuttaa työntämättä kättä vuorin sisään.

Ensin raamin takaosa laitetaan apuvälineen rungon osassa olevaan syvennykseen. Tukikangas asetetaan läpän ja raamin takaosan väliin, joka pitää sen paikoillaan, kun tekstiilituote pujotetaan sen päälle. Kun tuote on saatu aseteltua paikoilleen, painetaan raamin toinen osa siihen tiukasti kiinni ja nostetaan ne varovasti läpän läpi. Läppä pitää tukikankaan paikoillaan koko ympyrän alueelta, jolloin riittää, että tukikangas vastaa kooltaan logoa, eikä kehystä. Siksi se voidaan leikata pienemmäksi ja näin säästetään myös materiaalikuluissa.

Brodeeraukseen tarkoitettuja apuvälineitä ei ole markkinoilla kovinkaan paljon. Tuotteen suunnittelun tekee haasteelliseksi erilaisten tekstiilituotteiden laaja kirjo ja se, että yhden apuvälineen tulisi soveltua mahdollisimman monelle. Lisäksi eri kokoisille kehyksille pitää olla oma raamittaja. Kuvassa 8 on eri raamivaihtoehtoja Tajiman brodeerauskoneeseen. Esimerkiksi, selkäbrodeerauksissa käytetään 335 × 260 mm:n kokoista, neliön muotoista raamia. Brodeerausapuvälineen toiminta ei myöskään saa olla liian monimutkainen, koska se hidastaa työskentelyä.



Kuva 8. Erilaisia raamivaihtoehtoja Tajiman brodeerauskoneeseen.

Tuote on suunniteltu kiinnitettäväksi työpöytään vaakapuristimen avulla. Kyseinen apuväline ei sovellu kaikkien tekstiilituotteiden raamittamiseen, joten sen voi siirtää helposti pois tieltä ja ottaa tarvittaessa uudestaan käyttöön. Siirrettävyydellä mahdollistetaan myös se, että jokainen brodeeraaja voi sijoittaa raamittajan itselleen sopivimpaan kohtaan.

Tunnetuimpia brodeerauskonemerkkejä ovat Tajima, ZSK, Brother, Melco, Barudan ja Toyota. Näistä suosituin ja tunnetuin on Tajima. Eri merkeissä brodeerauskehysten muodot ja kiinnitykset vaihtelevat, joten sama raamittaja ei sovellu kaikkiin malleihin. Tässä työssä oleva apuväline on suunniteltu ja mitoitettu Tajiman raamin mukaan. Samaa mallia käyttävät myös esimerkiksi Barudan ja Toyota. Pyöreää raami mallia löytyy ko'issa 9 cm, 12 cm, 15 cm, 18 cm ja 21 cm. Uusi raamittaja on suunniteltu 12 cm:n kokoiselle kehykselle, joka on näistä käytetyin. [1.]

5 Brodeerausapuvälineen osien mitoitusten suunnittelu ja piirustukset

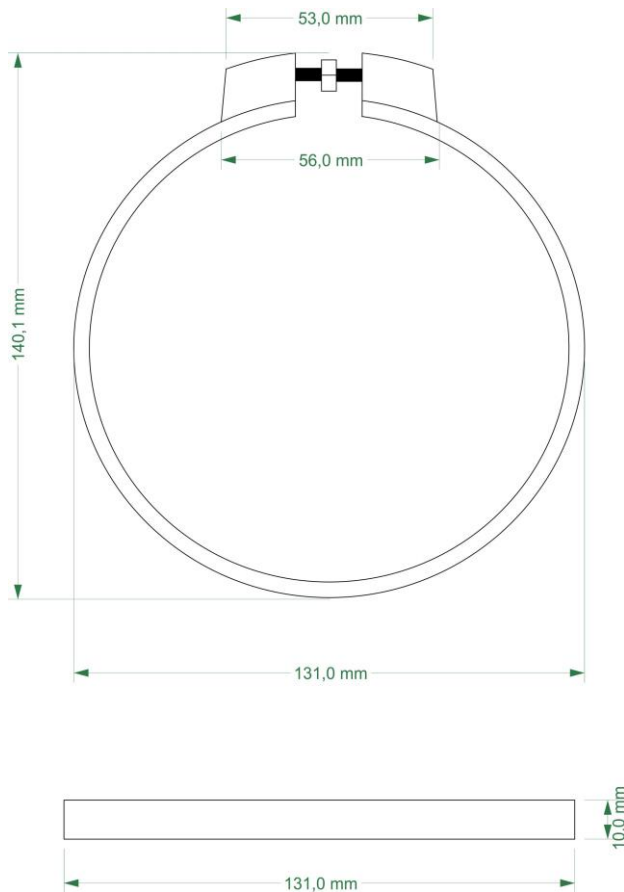
Brodeerausapuvälineen runko muistuttaa suorakaiteen muotoista kappaletta, joka kapeenee suurin piirtein sen keskikohdasta leveyteen 144 mm. Raamittaminen tapahtuu ka-

pean osan päässä, joka on pyöristetty raamin takaosan muotoa seuraten (kuva 9). Raamittaminen on esitelty luvussa 2.2, josta löytyvät myös kuvat 3 ja 4 raamin etu- ja takaosista. Rungon leveämpi pää kiinnitetään työpöytään vaakapuristimen avulla, jonka paikka nähdään kuvasta 10. Kapeampi pää jää ilmaan, mikä mahdollistaa sen, että tekstiilituotteet voidaan pujottaa siihen.

Läppä on litteä kappale, jossa on raamin takaosan muotoinen reikä (kuva 11). Se on liikkuva osa, joka kiinnitetään runkoon saranan avulla. Tukikangas asetetaan läpän alle, joka pitää sen paikoillaan raamituksen aikana. Raamituksen jälkeen raamin takaosa ja tukikangas pujotetaan läpän reiän läpi.

Muotoilussa lähtökohtana on, ettei siihen tule ylimääräisiä ulokkeita, joihin tekstiili jäisi kiinni sitä irrotettaessa. Brodeerausapuvälineen runkoon tehdään syvennykset sekä läpälle että raamin takaosalle. Mittakuvioiden piirtämiseen on käytetty *CorelDRAW X6* -käyttöjärjestelmää, joka soveltuu myös mittatarkkojen teknisten tuotteiden piirtämiseen. Corelissa tiedostot saadaan tallennettua DWG-muotoon, joka soveltuu esimerkiksi *AutoCAD*-ohjelmistoon.

Mitoituksen lähtökohtana oli ottaa tarkat mitat raamin takaosasta. Raamin takaosassa on säätöruuvi, josta sitä suurennetaan tai pienennetään tekstiilin paksuuden mukaan. Ennen mittaamista kehys säädettiin niin isoksi kuin mahdollista. Saadut mitat ovat kuvassa 9. Apuvälineen osien mitoitus on ideaalinen, eikä piirustuksissa ole ilmoitettu mittatoleransseja, jotka määräytyvät käytössä olevan työstökoneen ja materiaalin mukaan. Rungon osan syvennyksen ja läpän aukon mittoja voidaan käyttää suoraan mittatoleranssin suurimpaan sallittuun negatiiviseen arvoon. Osien ulkoreunojen mitat voidaan yhdistää mittatoleranssin positiiviseen arvoon. Mitoituksissa on otettu huomioon raamin toiminta ja tukikangas. Tämän mitoituksen tarkoituksena on määrittää kappaleiden koot, esimerkiksi lujuuslaskelmia varten.



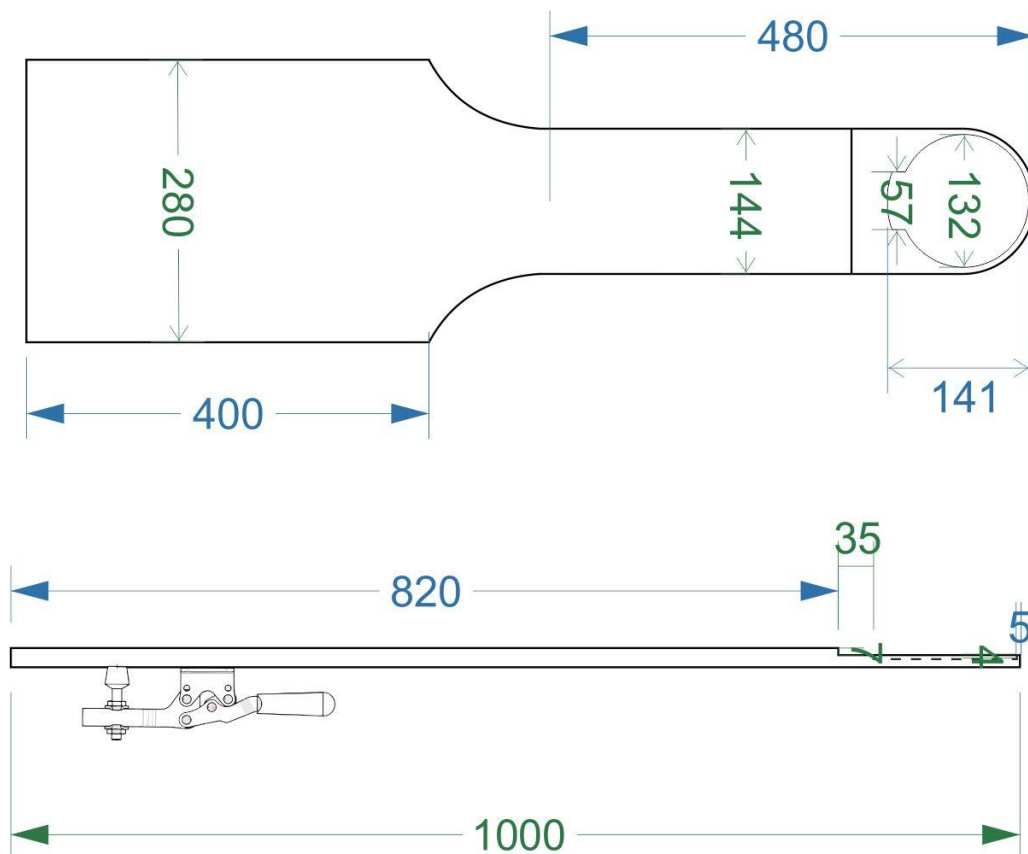
Kuva 9. Raamin takaosan mitat suurimmillaan.

Ensimmäisenä suunnitellaan apuvälineen runko-osaan mitat raamin takaosan syvennystä varten. Raamia käytetään hyvin harvoin ääriasennossa, joten riittää, että kuvassa 9 olevan kehyksen takaosan ympärystymittoihin lisätään 1 mm. Jos syvennystä tarvitsee esimerkiksi hioa, leveys ei kasva liikaa. Uloke, jossa ruuvia voidaan säätää, on kaarevan muotoinen. Ulokkeen syvennys voidaan tarvittaessa tehdä suorakulmion muotoiseksi, koska se ei vaikuta negatiivisesti sen toimintaan. Mittatarkkuus on tärkeämpi renkaan osuudella.

Pykälän välttämiseksi läpän tulisi olla rungon pinnan kanssa samalla tasolla. Kehyksen paksuus on 10 mm. Läppäosa voisi peittää raamista noin 2/3. Silloin se painaisi tukikan-kaan tiiviimmin kehyksen ympärille. Syvennyksen ei tarvitse olla kovin syvä, jotta se pitäisi raamin takaosan paikoillaan. Läpän paksuudeksi tulisi noin 6 mm. Lisätään läpän osuuden syvennykseen 1 mm, jotta se ei jää liian ylös. Tällöin raamin takaosan syvennyksen syvyudeksi tulee levyn pinnasta 11 mm.

Kehyksen ympärillä oleva alue pyritään saamaan mahdollisimman pieneksi, jotta raamittaja soveltuu mahdollisimman monelle tekstiilituotteelle. Jotta materiaaliin jää hieman työstövaraa, sovitaan kehyksen ympärillä olevan alueen leveydeksi 6 mm. Tällöin rungon kapean osuuden leveydeksi tulee 144 mm. Tuotteen paksuudeksi arvioidaan noin 20 mm, mutta lopullinen mitta määräytyy valittavan materiaalin mukaan.

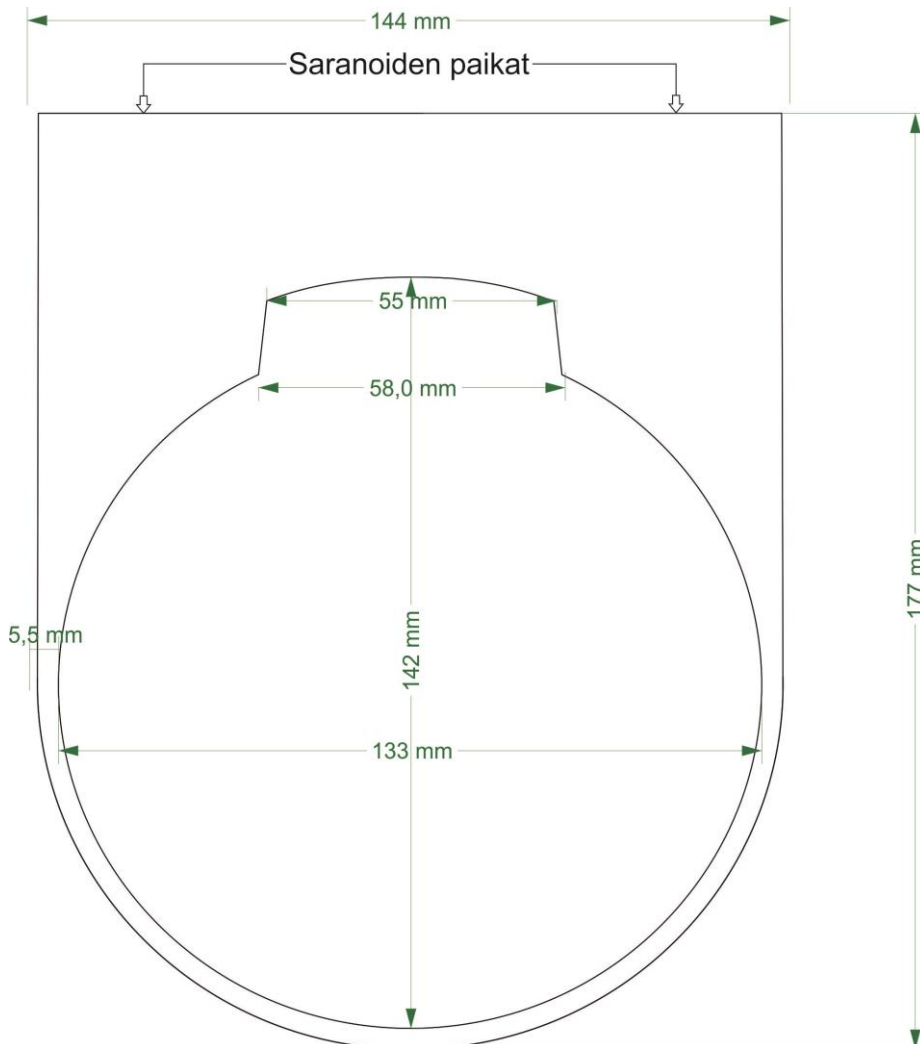
Rungon kokonaispituus on 1 000 mm. Kapean osuuden pituudeksi muotoilun kannalta päädyttiin 480 millimetriin, jonka jälkeen se alkaa leventyä, mikä auttaa pitämään rungon tasapainossa raamituksessa ja samalla vahvistaa rakennetta. Leveydeksi päätettiin 280 mm, jotta se soveltuu, mahdollisesti tuoteperheen lisääntyessä, erilliseen raamitustelineeseen. Rungon mitat ja muoto tarkemmin kuvassa 10.



Kuva 10. Rungon muoto edestä ja sivulta, sekä puristimen paikka rungossa. Mitat millimetreinä.

Läppäosan aukko kohta voi olla hieman isompi, kuin rungon syvennyksen, jotta kehys ei jää läpän alle. Kuvan 9 mittoihin lisätään 2 mm. Tukikangas on hyvin ohut, joten sitä ei tarvitse huomioida erikseen. Loven muoto muutetaan samaksi kuin rungossa, jos se on valmistuksen kannalta tarpeellista. Leveydeltään läppä vastaa rungon mitta, eli 144

mm. Kehyksen ympärille jäävän alueen leveydeksi jää 5,5 mm. Korkeudeksi on arvioitu 177 mm, mutta vahvistuu, kun kiinnitysmenetelmä ja sen koko varmistuvat. Saranoiden paikat ja mitat tarkemmin kuvassa 11.



Kuva 11. Lämpän muoto ja mitat.

6 Materiaalin valintaprosessi rungon materiaalille

Suurin osa tänä päivänä valmistettavista tuotteista valmistetaan ulkomailla. Apuvälineen materiaaleja valitessa halutaan ottaa huomioon niiden kotimaisuus. Kuten aikaisemmin mainittiin, tuote on tarkoitettu markkinoitavaksi lähinnä Euroopan maihin. Kotimaisuudella halutaan korostaa tuotteen laatua ja muotoilua.

Tuotteen menekkiä on vaikea määrittää ilman markkinatutkimusta, joten oletetaan, että tilausmäärät ovat pieniä. Monet brodeeraajat ovat olleet innoissaan tuotteesta, mutta ostopäätöksen tekevät yritysten omistajat. Tuotteen menekki riippuu paljon myös markkinoinnista. Osan kertatilausmääräksi arvioidaan 100 kappaletta. Taulukon 1 esimerkin avulla voidaan verrata, onko kannattavampaa valmistaa tuote valu- vai työstömenetelmällä. Siinä on laskettu valmistuskustannukset 100, 1 000 ja 10 000 kappaleen tilauksille.

$$\text{Valmistuskust./kpl} = \frac{\text{välilliset kust./tunti}}{\text{valmistusnopeus}} + \text{välittömät kust.} + \frac{\text{työkalukust.}}{\text{valmistusmäärä}} \quad (2)$$

Taulukko 1. Esimerkki valmistuskustannusten laskemisesta työstö- ja valumenetelmälle. [7.]

	Työstö	Valu
Välittömät kustannukset	0,13 €/kpl	0,03 €/kpl
Välilliset kustannukset	12,55 €/h	25,33 €/h
Työkalukustannukset* aloitus-	63,32 €	12 664,96 €
kunnossapito-	63,32 €	2 532 €
Työkalun vaihtoväli	1000 kpl	1 000 000 kpl
Valmistusnopeus	50 kpl/h	2 000 kpl/h
Valmistusmäärät (kaava 2)		
100 kpl	0,88 €/kpl	126,69 €/kpl
1 000 kpl	0,43 €/kpl	12,71 €/kpl
10 000 kpl	0,38+(500/10000)=0,43 €/kpl	0,043+(10000/10000)=1,43 €/kpl

6.1 Vaatimusprofiilin laadinta ja valintastrategian päättäminen

Apuväline on siirrettävä, joten valittavan materiaalin pitäisi olla mahdollisimman kevyt. Rungon toinen pää kiinnitetään pöytään ja raamitus tapahtuu sen toisessa päässä. Raamituksessa siihen kohdistuu taivutusjännitystä, joten materiaalin tulisi olla tarpeeksi luja ja jäykkä. Rungon pieni taipuminen sallitaan, koska se voi kertoa myös siitä, että raami on liian tiukalla. Taipumaksi määritetään suurimmalle kuormitukselle 50 mm. Käytön kannalta valintaa rajoittaa enemmän sen lujuus ja paino.

Runkoon kohdistuu taivutusjännitystä vain silloin, kun raami kiinnitetään tekstiilituotteen. Kuormitus on vaihtelevaa, joten materiaalilla tulisi olla hyvä väsymiskestävyys. Apuvälinettä käytetään sisätiloissa, joten sillä ei ole suuria ympäristörasituksia. Hetkellisesti materiaaliin voivat vaikuttaa ompelukoneöljy ja vesi. Tekstiilejä käsiteltäessä syntyy paljon pölyä, joten tuote tulisi olla puhdistettavissa kostealla liinalla.

Runko on järkevintä valmiista levytavarasta. Ensin levy leikataan muotoonsa ja syvennys jyrsitään, jonka jälkeen se voidaan tarvittaessa pinnoittaa. Työstöä parantaa materiaalin hyvä lastuttavuus. Syvennys vaatii hyvää mittatarkkuutta, joten se olisi hyvä työstää CNC-koneella. Apuvälineen runkoon kiinnitetään ruuviliitoksella vaakapuristin, jolla se kytketään työpöytään. Rungon materiaalin tulisi soveltua ruuvikiinnitykselle ja liitoksen tulisi olla mahdollisimman kestävä. Lisäksi muiden osien kiinnitys tulisi olla mahdollisimman helppoa.

Pinnoituksella voidaan esimerkiksi lisätä materiaalin kulutuksenkestävyyttä ja alentaa kitkaa. Lisäksi se suojaa kosteudelta ja parantaa tuotteen ulkonäköä. Siksi vaatimuksissa otetaan huomioon materiaalin pinnoitettavuus.

Tuotteen valmistusmäärät ovat pieniä, ja käytettäessä työstömenetelmää materiaalikustannusten osuus on suuri. Valmistuskustannuksia nostaa myös tuotteen suuri mittatarkkuus. Materiaalin kierrätettävyydellä voidaan vähentää hävittämisestä aiheutuvia kustannuksia. Kierrätettävyydellä halutaan ottaa huomioon myös tuotteen ekologisuus. Taulukossa 2 on laadittu vaatimusprofiili rungon materiaalille. [4.]

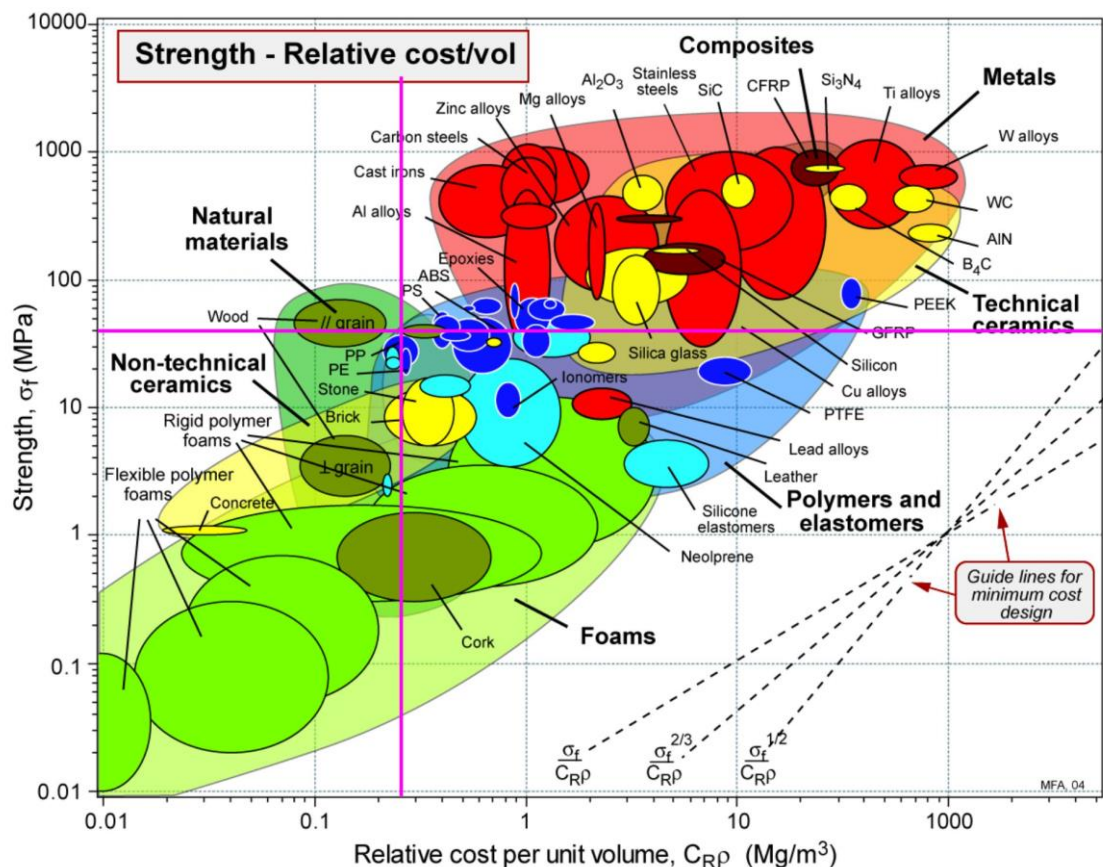
Taulukko 2. Runkomateriaalin vaatimusprofiili.

A. Toimintojen vaatimukset
Muodon säilyttäminen <ul style="list-style-type: none"> - Tarpeeksi luja. - Sopiva jäykkyys, joka kestää taivutusta. Väsymiskestävyys <ul style="list-style-type: none"> - Materiaaliin kohdistuu taivutusrasitusta, kun tuotetta raamitetaan. Paino <ul style="list-style-type: none"> - Tuote on siirrettävä ja sen voi tarvittaessa kiinnittää työpöytään. - Mahdollisimman kevyt materiaali.
B. Ympäristön vaatimukset
Hetkellinen kosteuden kesto Valo
C. Valmistettavuuden vaatimukset
Lastuttavuus <ul style="list-style-type: none"> - Työstö CNC-koneella. Sileä lopputulos <ul style="list-style-type: none"> - Tuote ei saa jäädä kiinni tekstiileihin. Pinnoitettavuus <ul style="list-style-type: none"> - Pinnan täytyy olla sileä ja helposti puhdistettavissa esimerkiksi kostealla liinalla.
D. Kustannusten vaatimukset
Valmistusmäärät pieniä <ul style="list-style-type: none"> - Materiaalikustannusten osuus suuri Hävittämiskustannukset mahdollisimman pienet <ul style="list-style-type: none"> - Kierrätettävyyys

Verrattua muiden kilpailevien tuotteiden hintoja, materiaalin hinta ei saa nousta kovin korkealle. Tarkoituksena ei ole yli hinnoitella uutta tuotetta pois markkinoilta. Tästä syystä valintastrategiaksi valitaan paras hinta-laatusuhde.

6.2 Materiaalin esivalinta

Esivalinnassa voidaan ensimmäisenä jättää pois keraamit, lasit ja elastomeerit. Keraamit ja lasit ovat liian hauraita, ja elastomeerit taipuisia. Kuvan 7 valintakartan tiheyden akselilta nähdään, että tekniset keraamit ja metallit ovat materiaaliryhmistä tiheimmät. Kuvan 12 avulla voidaan verrata materiaalien lujuutta ja suhteellista yksikkökustannusta. Pyrkimyksenä on valita mahdollisimman edullinen ja tarpeeksi luja materiaali. Metallit saavat myös jäädä pois jatkotarkastelusta, koska tuotteen hinta nousisi liian suureksi tai siitä tulisi liian painava siirreltäväksi. [5, s. 17.]



Kuvan 12. Lujuus-suhteellinen yksikkökustannus-ominaisuuskartta. [6.]

Mahdolliseksi materiaaliksi on jäämässä puumateriaalit. Puun lähin kilpailija ominaisuuksiltaan on muovi. Muoviteollisuus Ry:n Kärhän [8; 9] uutistiedotteiden mukaan muovin

raaka-ainehinnat ovat nousseet ennätyskorkealle, halvasta öljynhinnasta huolimatta. Muoveista on huutava pula ja monilla tuotevalmistajilla on suuria vaikeuksia saada kaikkia tarvitsemiaan raaka-aine-eriä. Koiviston ym. [3] mukaan öljyn väheneminen tulee lisäämään puun kilpailukykyä. Puumateriaalit voidaan muovia helpommin uusiokäyttää tai hävittää esimerkiksi polttamalla. [3, s. 210.]

Kuvien 7 ja 12 valintakartoista voidaan myös tarkemmin havainnollistaa puun lujuutta, tiheyttä ja hintaa verrattuna muoveihin. Lujuus on hyvin samaa luokkaa, kuin suurimmalla osalla muoveista, mutta sen kimmomoduuli on suurempi. Koska haetaan mahdollisimman kevyttä ja riittävän lujaa materiaalia, valikoituu jatkotarkasteluihin puumateriaalit. Puu on myös halvempaa kuin muovi, ja lisäksi sillä on hyvä väsymiskestävyys. Suomessa puun käsittely sekä työstö on helppoa ja tuttua. [3, s. 210.]

Puujalosteisia levytuotteita ovat vanerit, lastu-, kuitu-, isolastu- sekä rima- ja sälelevyt. Näistä jäävät jatkotarkasteluun vain vaneri ja kuitulevyt. Lastu- ja isolastulevyn lujuudet eivät riitä käyttötarkoitusta varten. Rima- ja sälelevyt eivät sovellu syvennyksen tekoa varten. Kuitulevyjä valmistetaan märkä- ja kuivamenetelmällä. Märkämenetelmällä valmistetaan kovalevyä, huokoista kuitulevyä kuiviin olosuhteisiin sekä kuitulevyä kosteisiin olosuhteisiin. Huokoisessa kuitulevyssä taasen lujuus ominaisuudet eivät riitä. Kuivamenetelmällä valmistetaan MDF (Medium density fibreboard), LDF (Low density) ja HDF (High density) -levyjä. Suomessa ei ole kuivamenetelmää käyttäviä yrityksiä. [10; 11.]

Mitoituksessa huomattiin, että raamin syvennys tulee vähintään 11 mm:n syvyyteen, joka rajoittaa kuitulevyvaihtoehtoja. Kova- ja HDF-levyjen paksuudet ovat yleensä 3–6 mm. Toimittajaa paksummalle HDF-levylle ei löydetty, siksi ne jäävät pois jatkotarkasteluista. [11.]

6.3 Ominaisuusprofiili

Materiaalin lujuudella tarkoitetaan sen kykyä vastustaa ulkoisten voimien aiheuttamia pysyviä muodonmuutoksia ja murtumista. Suurinta jännitystä, jonka materiaali kestää, käytetään lujuuden mittana. Jännitys on voima jaettuna poikkipinta-alalla, ja sen tavallisin yksikkö on N/mm². [13, s. 40–42.]

Runko on kiinni pöydässä ja sen toinen pää on ilmassa. Raamitus tapahtuu ilmassa olevan osan päässä, johon kohdistuu taivutusvoima. Kun lasketaan taivutusjännitys, voidaan hylätä kaikki ne materiaalit, joiden taivutuslujuus ei saavuta kyseistä arvoa. Taivutusjännitys saadaan laskettua kaavojen 3 ja 4 avulla. Rungon pituudessa kapea osuus päättyy 480 mm:n kohdalla, josta saadaan taivutuspuiteuden l :n arvo.

Haasteellisinta oli määrittää raamitukseen tarvittava voima. Painamisen voima ei voi olla liian suuri, koska silloin kehyksestä jää tekstiiliin pysyvä jälki. Toinen rajoittava tekijä on, jos raamin takaosa on liian tiukalla ja se yritetään painaa väkisin kiinni, niin raami menee rikki. Jotta apuväline kestäisi kovempaakin käsittelyä, pyydettiin koehenkilöitä painamaan henkilövaakaa niin lujaa kuin he pystyivät. Parhain tulos oli 60 kg, josta F saadaan kertomalla se normaaliputoamiskiihtyvyydellä g .

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{F \times l}{W} \quad (3)$$

F on voima
 l on pituus
 W on taivutusvastus

Käsikirjoissa on valmiita kaavoja taivutusvastuksille. Kaavat vaihtelevat kappaleen poikkileikkaus pinta-alan mukaan, joten samaa kaavaa ei voi käyttää kaikissa tapauksissa. Kaava 4 on tarkoitettu laskettaessa poikkileikkaukseltaan suorakaiteen muotoista kappaletta z -akselin suuntaa vastaan.

$$W_z = \frac{b \times h^2}{6} \quad (4)$$

b on leveys
 h on korkeus

Rungon leveys kapeimmasta kohdasta on 144 mm. Korkeus lasketaan 20 mm:n mukaan. Eri levytavaroiden paksuudet vaihtelevat, joten tuotteen lopullinen korkeus määräytyy sen mukaan. Alla laskettuna suurin taivutusjännitys, jonka materiaalin tulisi kestää.

$$\sigma = \frac{m \times g \times l}{\frac{b \times h^2}{6}} = \frac{60 \text{ kg} \times 9,80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 480 \text{ mm}}{\frac{144 \text{ mm} \times (20 \text{ mm})^2}{6}} = 29,41995 \approx 30,0 \text{ N/mm}^2$$

Kimmomoduuli E on materiaalikohtainen ominaisuus ja se kuvaa materiaalin jäykkyyttä. Mitä suurempi luku on, sitä jäykempi se on. Jäykkä materiaali taipuu vähemmän kuin taipuisa. Kaavojen 5 ja 6 avulla voidaan laskea, paljonko materiaali taipuu enintään tietyllä kuormituksella. Taipuman laskeminen antaa realistisemman kuvan materiaalin jäykkyydestä. [13, s. 52.]

$$y_{max} = \frac{F \times l^3}{3 \times E \times I} \quad (5)$$

Kaavakokoelmissa on valmiita kaavoja neliömomentin I_z laskemiseen. Se riippuu kapaleen poikkileikkauksen pinta-alasta ja muodosta, joka suorakulmioiselle muodolle lasketaan kaavan 5 avulla.

$$I_z = \frac{b \times h^3}{12} \quad (6)$$

Aikaisemmin määritettiin, että suurin sallittu taipuma on 50 mm. F on 588,399 N. E saadaan laskettua kaavojen 5 ja 6 avulla.

$$E = \frac{F \times l^3}{3 \times y_{max} \times \frac{b \times h^3}{12}} = \frac{588,399 \times 480^3}{3 \times 50 \times \frac{144 \times 20^3}{12}} = 4518,90432 \text{ N/mm}^2 \approx 4519 \text{ N/mm}^2$$

Materiaalien teknisiä ominaisuuksia tarkastellessa lopulliseen tarkasteluun päätyivät koivu- ja combivaneri sekä MDF. Koivuvanerilla on erinomaiset lujuus- ja jäykkyysominaisuudet tähän tarkoitukseen, mutta se on kallis materiaali. Halvemmiksi vaihtoehdoiksi valittiin combivaneri ja MDF. Kuusivanerissa on paljon oksakohtia, joka vaikeuttaa työstöä, joten se jätettiin pois vertailusta. [14, s. 61.]

Levytavaraa voidaan pinnoittaa valmistuksessa esimerkiksi melamiinifilmillä. Tässä tapauksessa järkevin tapa on maalata tuote työstämisen jälkeen, jottei jyrstyviä pintoja jouduta pinnoittamaan erikseen. Lisäksi se vaikeuttaisi vanerin työstämistä, koska oksakohdat ovat piilossa filmin alla.

6.3.1 Ominaisuuksien painokertoimen määrittäminen rungon materiaalille

Lopulliseen vertailuun päätyneiden materiaalien pääraaka-aine on puu. Ominaisuuksien vertailuun ei otettu erikseen mukaan ympäristön aiheuttamia vaatimuksia, koska materiaali suojataan pinnoittamalla. Tuotteen sileä pinta saadaan hiomalla, jota voidaan verrata lastuttavuuteen. Taulukossa 3 on määritetty ominaisuuksien painokertoimet.

Taulukko 3. Ominaisuuksien painokertoimien määrittäminen.

Ominaisuus	A	B	C	D	E	F	G	H				
Taivutuslujuus A		A	A	AD	A	AF	A	A				
Kimmomoduuli B		BC	BD	BE	BF	BG	B					
Väsymiskestävyys C								D	CE	CF	CG	C
Tiheys D												
Pinnoitettavuus E		F	EG	E								
Lastuttavuus F					FG	F						
Hinta G		GH										
Kierrätyskustannukset H												
Yht./Painokerroin		7	6	5	7	4	7	6	1			

Taulukon 3 tuloksista nähdään, että tärkeimmiksi ominaisuuksiksi valikoitui taivutuslujuus, tiheys ja lastuttavuus. Ilman riittävää taivutuslujuutta tuote ei toimi ja liian painava apuväline on vaikea siirtää ja jää helposti käyttämättä. Valmistustapa on tärkeä, jotta tuote voidaan valmistaa halutusta materiaalista. Seuraavaksi tärkeimmät ominaisuudet ovat kimmomoduuli ja hinta. Kierrätettävyyttä sai pienimmän arvon, koska tuotteen toiminnalla ja valmistettavuudella on suurempi merkitys.

6.3.2 Materiaaliominaisuuksien lukuarvon määrittäminen

Tulosten ja lukuarvojen määrittämisen seuraamisen helpottamiseksi voidaan nimetä materiaalit kirjaimilla A, B ja C. Koivuvaneri on **A**, combivaneri on **B** ja MDF on **C**. MDF-levyistä tarkempaan ominaisuuksien vertailuun päätyi valmistajalta *Egger* MDF-MB E1. Tuote valikoitui tarkempaan tarkasteluun, koska se on jäykempi ja lujempi kuin tavallinen MDF-levy. Se on erikoisvahva levy, eli myös kalliimpi. MDF-levyn ominaisuudet löytyvät liitteestä 1 ja niitä tarkastellaan levyn paksuuden 19–30 mm mukaan. Vanerien ominaisuuksia tarkastellaan paksuuden 21 mm mukaan, mitkä löytyvät liitteestä 2.

Taivutuslujuuden arvot materiaaleille **A** 39,4 N/mm²; **B** 34,5 N/mm² ja **C** 31 N/mm². Standardin EN 310 mukaan taivutuskoe on tehty kolmipistetaivutuksena niin, että levy on

tuettu molemmista päistä ja taivutusvoima kohdistuu levyn keskelle. Aikaisemmin laskettiin, mikä taivutuslujuuden täytyisi vähintään olla tarkasteltavassa rakenteessa, jotta materiaalin lujuus riittäisi. Jotta lujuus olisi verrattavissa luotettavasti laskettuun taivutusjänteiden arvoon, nähdään maksimitaivutusmomentin kaavasta, että valmistajan taivutuslujuuden arvo tulee kertoa neljällä. Materiaaliominaisuuden lukuarvoina voidaan käyttää taivutuslujuutta.

Kimmomoduulit materiaaleille ovat A 9858 N/mm², B 8628 N/mm² ja C 3100 N/mm². Suurin luku tarkoittaa jäykintä materiaalia. Aikaisemmin laskettiin pienin sallittu kimmo kerroin materiaalille, joka oli 4519 N/mm². Materiaali C alittaa arvon, mutta ominaisuus ei välttämättä täysin poista sitä materiaalia käytön kannalta. MDF-levyä voidaan myös vahvistaa melamiinifilmin avulla. Siitä syystä materiaalit saavat lukuarvoiksi **A** 100, **B** 85 ja **C** 30.

Puulla on hyvä väsymiskestävyys, mutta tarkasteltaville materiaaleille ei löydy tarkempia tutkimustuloksia. Ominaisuutta ei pystytä luotettavasti vertailemaan, joten kyseinen arvo jätetään määrittämättä.

Tiheydestä voidaan päätellä, miten paljon materiaali painaa. Tiheydet: A 680 kg/m³, B 620 kg/m³ ja MDF 600 kg/m³. Koska pyritään mahdollisimman kevyeen rakenteeseen, annetaan lukuarvot: **C** 100, **B** 95 ja **A**:lle 80.

MDF-levyn pinnoituksessa täytyy ottaa huomioon jyrinnän syvyys. Syvemmältä materiaali muuttuu pehmeämmäksi ja kuitujen määrä lisääntyy. Lisäksi levyn pinnasta on vaikea saada kaikki pölyt pois ennen maalausta. Vanerin pintaan kuumapuristetaan fenolihartsilla impregnoitu maalaus pohjakalvo, jonka avulla saadaan aikaan sileä ja kestävä maalaus pinta. Se ei kuitenkaan vaikuta syvennyksen alueelle. Vanerin jyrinnässä voi syntyä epätasaisuuksia, joita joudutaan jälkikäteen kittaamaan, mikä lisää työvaiheita pinnoituksessa. Koska combivanerin päällimmäiset osat ovat koivua, ne arvostellaan saman arvoisina. Kaikki materiaalit soveltuvat pinnoitukseen, mutta mikään niistä ei ole erityisen hyvä. Lukuarvoksi niille annetaan **C** 90, **A** ja **B** 80. [14, s. 15.]

MDF on homogeeninen materiaali. Siinä ei ole oksakohtia tai halkeamia, joten se on erinomainen työstää. **C** saa lukuarvoksi 100. Vanerilla on myös hyvät työstöominaisuudet, mutta se tikkuuntuu helposti ja siinä voi olla oksia. Combivanerissa on kuusta, jossa

on koivua enemmän oksakohtia, joten se saa lisämiinuksen siitä. **A**:lle annetaan lukuarvoksi 90 ja **B**:lle 80.

Materiaalit halvimmasta kalleimpaan: MDF, combi- ja koivuvaneri. Koska vertaillaan halvinta mahdollista hintaa, materiaalit saavat lukuarvot **C** 100, **B** 90 ja **A** 80. Työstön ja ominaisuuksien johdosta vanerilta vaaditaan hyvää pinnanlaatua, jossa on mahdollisimman vähän helmioksia. Se nostaa vanerin hinnan korkeaksi. Eggerin MDF-MB E1 -levytuote on valmistettu erityistekniikalla lujemmaksi, joten se nostaa sen hintaa tavalliseen MDF-levyyn verrattuna.

Vanereilla ja MDF-levyllä on samanlaiset uusiokäyttö ja hävittämistavat, ne arvostellaan saman arvoisina. Hävittäminen tapahtuu esimerkiksi polttamalla tai kompostoimalla, joten siitä ei synny lisäkustannuksia käyttäjälle. Lukuarvoksi ne saavat 100. [12.]

6.4 Vaatimusten ja ominaisuuksien yhteensovittaminen

Taulukon 4 vertailuluvut rungon materiaalille on laskettu kaavan 1 avulla. Ominaisuuden lukuarvot on määritetty luvussa (6.3.2). Ominaisuuden painokerroin on määritetty taulukossa 3.

Taulukko 4. Vertailulukujen laskeminen rungon materiaalille.

Ominaisuuden painokerroin W_n	Ominaisuus M_n	A	B	C
7	Taivutuslujuus	$7 \times 39,4 = 275,8$	$7 \times 34,5 = 241,5$	$7 \times 31 = 217$
6	Kimmoduuli	$6 \times 100 = 600$	$6 \times 85 = 510$	$6 \times 30 = 180$
5	Väsymiskest.	-	-	-
7	Tiheys	$7 \times 80 = 560$	$7 \times 95 = 665$	$7 \times 100 = 700$
4	Pinnoitettavuus	$4 \times 80 = 320$	$4 \times 80 = 320$	$4 \times 90 = 360$
7	Lastuttavuus	$7 \times 90 = 630$	$7 \times 80 = 560$	$7 \times 100 = 700$
6	Hinta	$6 \times 80 = 480$	$6 \times 90 = 540$	$6 \times 100 = 600$
1	Kierrätyskustannukset	$1 \times 100 = 100$	$1 \times 100 = 100$	$1 \times 100 = 100$
Vertailuluvut		2 965,8	2 936,5	2 857

Taulukon 4 tuloksista nähdään, että suurimman vertailulukuarvon sai materiaali A, eli koivuvaneri. LCC-kustannuksia ei ollut mahdollista laskea mukaan, koska niiden laskemiseksi ei ollut käytössä tarvittavia tietoja. Tuotteen valmistus ja pinnoitus ovat kaikilla vertailtavilla materiaaleilla samankaltaiset, joten suurta eroa lopputuloksiin tuskin tulisi. Materiaaleissa voidaan käyttää samanlaisia maaleja ja syvennykset tehdään otsajyrsimellä. Koivuvanerin haittapuolia ovat, että se kuluttaa enemmän terää ja voi vaatia

kittauksen ennen maalausta. Kustannuksiin vaikuttaa enimmäkseen materiaalin hinta, joka on jo huomioitu vertailussa.

Realistisempi kuva materiaalien jäykkyyksistä saadaan laskemalla niiden taipumat. Mitä pienempi taipuma, sen parempi materiaali. Jotta tuloksia voidaan verrata paremmin toisiinsa, käytetään kaikilla materiaaleilla paksuutta 20 mm. Vanereissa käytetään taipumalaskelmissa kimmomoduulien laskenta-arvoina niiden keskiarvoja. MDF on homogeeninen materiaali, eli sillä on vain yksi kimmomoduulin arvo. [14, s. 26.]

$$A_{\text{Taipuma}} = \frac{F \times l^3}{3 \times E \times \frac{b \times h^3}{12}} = \frac{588,399 \text{ N} \times (480 \text{ mm})^3}{3 \times 8750 \text{ N/mm}^2 \times \frac{144 \text{ mm} \times (20 \text{ mm})^3}{12}} = 25,8 \text{ mm} \approx 26 \text{ mm}$$

$$B_{\text{Taipuma}} = \frac{F \times l^3}{3 \times E \times \frac{b \times h^3}{12}} = \frac{588,399 \text{ N} \times (480 \text{ mm})^3}{3 \times 8135 \text{ N/mm}^2 \times \frac{144 \text{ mm} \times (20 \text{ mm})^3}{12}} = 27,7 \text{ mm} \approx 28 \text{ mm}$$

$$C_{\text{Taipuma}} = \frac{F \times l^3}{3 \times E \times \frac{b \times h^3}{12}} = \frac{588,399 \text{ N} \times (480 \text{ mm})^3}{3 \times 3100 \text{ N/mm}^2 \times \frac{144 \text{ mm} \times (20 \text{ mm})^3}{12}} = 72,8 \text{ mm} \approx 73 \text{ mm}$$

Tuloksista nähdään, että koivuvanerilla on pienin taipuma, eli se on jäykkyyden perusteella paras valinta. Vanerit valmistetaan Suomessa, joten kotimaisuudenkin näkökulmasta valinta osui oikeaan materiaaliin. Myös ruuviliitosten lujuus ja kestävyys ovat vanerilla paremmat kuin MDF-levyllä. [16, s. 3.]

7 Materiaalin valintaprosessi läpän materiaalille

Läppä on kooltaan hyvin pieni, verrattuna runkoon. Muotoilultaan se on litteä ja siinä on raamin muotoinen reikä, kuten kuvassa 11 on havainnollistettu. Tuotteen menekkiä on vaikea arvioida tässä vaiheessa, mutta kertatilausmäärien oletetaan vaihtelevan sadan kappaleen molemmin puolin. Taulukon 1 esimerkistä huomataan, että valmistustapa on järkevintä työstömenetelmällä. Osan muoto huomioiden, se on järkevintä valmistaa levytavarasta. Materiaalihukka on suuri, joten materiaalin olisi hyvä olla kierrätettävissä.

7.1 Vaatimusprofiilin laadinta ja valintastrategian päättäminen

Läpän tärkein vaatimus on pitää tukikangas paikoillaan, kun tekstiiliä pujotetaan apuvälineeseen. Kuitenkin nostettaessa raamitettu tuote pois, tukikankaan ja raamin takaosan pitäisi liukua helposti reiän läpi. Siksi osalle on tärkeää saada liukuva ja sileä pinta, joka ei jää tukikankaaseen tai tekstiiliin kiinni.

Läpän materiaalin tulisi olla mahdollisimman painava, jotta se pitää tukikankaan paikoillaan. Materiaali ei saa olla hauras, koska raamituksessa läppä kolahtelee runkoa vasten. Materiaalin olisi myös hyvä olla kulutusta kestävä. Osa on mittatarkka, eli sen pitäisi säilyttää muotonsa. Tuote täytyy olla valmistettavissa, joka vaatii lastuttavuutta. Vaatimukset on listattu taulukossa 5.

Taulukko 5. Vaatimusprofiili läpän materiaalille.

A. Toimintojen vaatimukset
Tiheys - Tarpeeksi painava, jotta se pitää tukikankaan paikoillaan. Iskunkestävyys - Raamituksessa läppä kolahtelee runkoa vasten. Jäykkyys - Säilyttää muotonsa. Kulumiskestävyys - Kovempi kuin raamin materiaali, joka on muovi. Tarkempaa tietoa raamin materiaalista ei ole saatavilla.
B. Ympäristön vaatimukset
Hetkellinen kosteuden kesto Valo
C. Valmistettavuuden vaatimukset
Sileä pinta - Osa ei saa jäädä kiinni tekstiileihin, jotteivat ne mene rikki. - Tukikangas ei saa jäädä osaan kiinni, ettei raami irtoa tekstiilituotteesta. Työstettävyys - Lastuava työstö. - Hionta. Liitettävyys saranaan
D. Kustannusten vaatimukset
Valmistusmäärät pieniä. - Materiaalikustannusten osuus suuri. Hävittämiskustannukset mahdollisimman pienet. - Kierratettävyys.

Läppä on liukuva osa ja se liitetään runkoon saranan avulla. Saranan kiinnitystä rajoittaa se, ettei apuvälineeseen saa tulla ulokkeita tai rakoja, joihin tekstiili voisi jäädä kiinni. Siksi saranaa ei voi kiinnittää tuotteen näkyvälle puolelle. Se ei myöskään saa toiselta puolelta nostaa läppää koholle. Valintastrategiaksi valitaan halvin mahdollinen hinta.

7.2 Esivalinta

Kuvan 7 ominaisuuskartan avulla voidaan tiheyden mukaan karsia karkeasti pois jatko-tarkasteluista polymeerit, lasit, puumateriaalit, komposiitit ja elastomeerit. Keraamit ja metallit ovat ominaisuuksiltaan tiheimmät materiaalit. Keraamit ovat hauraita ja niillä on pieni iskusitkeys, joten ne jäävät pois jatkotarkasteluista. Metallien atomisidosrakenteen johdosta ne ovat sitkeitä ja niitä on helppo muotoilla. [13, s. 26; 5, s. 17, 64.]

7.3 Ominaisuusprofiilin laadinta

Koska jatkotarkasteluun pääsivät metallit, on järkevintä verrata niiden ominaisuuksia valmistettavuuden kannalta. Paras tapa saranan kiinnittämiseen olisi hitsaamalla. Lämpömuodon ja mittatarkkuuden johdosta ideaalisin valmistustapa olisi leikata materiaali vesi-, laser- tai plasmaleikkurilla.

Useimmat puhtaat metallit ovat pehmeitä ja siksi helposti muokattavissa. Metallin lujuutta voidaan lisätä seostamalla, mekaanisella käsittelyllä tai lämpökäsittelyllä. Terästen lastuttavuutta voidaan parantaa seostamalla sitä haurastavilla aineilla, jolloin saadaan aikaiseksi mangaanisulfideja. Hyvän lastuttavuuden käänköpuolena on korkea rikkipitoisuus, joka altistaa hitsin kuumahauraudelle. Jos teräksessä on korkea rikkipitoisuus, sitä ei saa liittää hitsaamalla. Seosaineet ja korkea hiilipitoisuus pahentavat hitsin taipumusta kylmähalkeamiin. Ne pienentävät kriittistä jäähtymisnopeutta ja edistävät martensiitin muodostumista. Jos hiilen pitoisuus seostamattomassa teräksessä on alle 0,18 %, hitsattavuus on hyvä. [3, s. 129–138; 5, s. 17.]

Rauta on käyttömetalleista halvin ja yleisimmin käytetty. Valuraudoilla on huonompi hitsattavuus ja iskusitkeys kuin teräksillä. Materiaalien määrää saadaan rajattua, kun etsitään levytuotteita, jotka ovat noin 6 mm paksuja. Koneenrakentajan taulukkokirjasta löytyy materiaalien saatavuusluettelo, josta voidaan etsiä materiaalivaihtoehdot tietyille muodolle ja paksuudelle. Apuvälinettä käytetään sisätiloissa ja siihen kohdistuu hyvin vähän rasituksia. Tästä syystä ei tarvitse ottaa huomioon esimerkiksi hapon- tai tulenkestäviä teräksiä. Tarkempaan vertailuun päätyivät kuumavalssatut teräslevyt S235JRG2 ja S355J2G3. Kolmanneksi materiaaliksi valittiin ruostumaton teräs EN 1.4301, koska sitä ei välttämättä tarvitse pinnoittaa. [3, s. 76, 155; 17, s. 53–57, 173.]

Materiaalin lujuus- ja sitkeysarvot voidaan määrittää vetokokeen avulla. Metallien lujuutta voidaan verrata myötörajaan R_e ja murtolujuuteen R_m . Metallin sitkeyttä voidaan verrata murtovenymään A ja murtokuroumaan Z . Charpy-heilurivasarakokeilla tutkitaan Iskusitkeyttä K , joka kertoo materiaalin kyvystä kestää iskuja murtumatta. Mitä suurempi arvo, sitä sitkeämpi materiaali. [13, s. 43, 60–61.]

Taulukko 6. Ominaisuuksien painokertoimien määrittäminen.

Ominaisuus	A	B	C	D	E	F	G
Tiheys A		A	A	AD	AE	AF	A
Iskusitkeys B			C	BD	BE	BF	B
Kulumiskestävyys C				D	CE	CF	CG
Hitsattavuus D					DE	DF	D
Lastuttavuus E						EF	E
Hinta F							FG
Kierrätettävyys G							
Yht./Painokerroin	6	5	4	6	6	6	2

Taulukon 6 tuloksista huomataan, että suurimmat ominaisuuksien painokertoimet saivat tiheys, hitsattavuus, lastuttavuus ja hinta. Paino on hyvin tärkeä apuvälineen toiminnan kannalta. Hitsattavuudella sekä lastuttavuudella on suuri merkitys valmistettavuuden ja osien liittämisen näkökannalta. Toiseksi suurimman painokertoimen arvon sai iskusitkeys ja sen jälkeen kulumiskestävyys. Materiaalin kulutuksenkestävyyttä voidaan parantaa pinnoituksella, joten siksi se ei ole niin tärkeä ominaisuus kuin iskusitkeys.

7.4 Materiaaliominaisuuksien lukuarvon määrittäminen ja vertailulukujen laskeminen

Nimetään materiaalit, edellisen arvoanalyysin tavoin, D on S235JRG2, E on S355J2G3 ja F on EN 1.4301. Tiheydellä kuvataan materiaalin painoa. Tavoitteena on mahdollisimman painava materiaali, joten lukuarvona voidaan käyttää suoraan tiheyttä. Tiheydet materiaaleille: **D** 7,9 kg/m³; **E** 7,9 kg/m³ ja **F**:lle 7,9 kg/m³. [17, s. 172, 542.]

Iskunkestävyyttä voidaan verrata iskusitkeyteen. Tärkeimpiä iskusitkeyskokeiden käyttötarkoituksia on tutkia, käyttäytyykö materiaali sitkeästi vai hauraasti tietyissä lämpötiloissa. Sitä voidaan myös käyttää vertailtaessa eri materiaalien keskinäistä paremmuutta. Apuvälinettä käytetään normaaleissa huonelämpötiloissa, joissa tarkasteltaville materiaaleille on ominaista murtua sitkeästi, joten kaikille annetaan lukuarvoksi 100. [3, s. 145; 13, s. 63.]

Materiaalin kulutuksen kestävyyttä voidaan kuvata kovuudella. Se tarkoittaa materiaalin kykyä vastustaa paikallista pysyvää muodonmuutosta esimerkiksi naarmuuntumista. Kovuus on suoraan verrannollinen murtolujuuteen. Tässä tapauksessa riittää, että materiaali on kovempaa kuin muovi, joten lukuarvoksi voidaan antaa kaikille materiaaleille 100. [13.]

Materiaaleissa D ja E on hiiltä noin 0,14 %, eli ne ovat hyviä hitsattavia. Erona on mangaanipitoisuus, joka on materiaalilla D 0,40 % ja E:llä 1,5 %. Materiaalia F on myös hyvä hitsata, mutta sen lämpölaajeneminen on hiiliteräksiin verrattuna noin 1,5-kertainen, joka tulee ottaa huomioon. Kuten aiemmin todettiin, mangaani heikentää hitsattavuutta. Tarkkaa saranamallia tai sen materiaalia ei ole pystytty vielä määrittämään. Koska kaikki materiaalit soveltuvat hitsaamiseen, saavat ne lukuarvoksi 100. [3, s. 130–132; 17, s. 173.]

Lastuavassa työstömenetelmässä materiaalia F haittaa sen sitkeys ja työstökarkeneminen. Materiaaleja D ja E on parempi työstää lastuavalla menetelmällä. Materiaalilla E on suurempi mangaanipitoisuus, joka parantaa lastuttavuutta. Lukuarvoiksi annetaan materiaalille **D 95, E 100 ja F 80**. [17, s. 173]

Koneenrakentajan taulukkokirjassa on materiaaleille annettu suhteellinen kilohintaindeksi, joka kuvaa sen kg*:n arvoa. Sen avulla voidaan verrata materiaalien hintaeroa toisiinsa nähden. Kertoimet materiaaleille ovat D 0,9; E 1,1 ja F 4,5. Halvin hinta on paras valintakriteeri, joten vertailuluvuksi annetaan **D 100, E 82 ja F 20**. [17, s. 10, 53, 57.]

Metallien kierrätysmahdollisuudet ovat hyvät ja kulut pienet, joten kaikki saavat lukuarvoksi 100. Taulukon 7 materiaalien vertailuluvut on laskettu kaavan 1 avulla. Ominaisuuksien lukuarvot on määritelty yllä. Ominaisuuden painokerroimet on laskettu taulukossa 6.

Taulukko 7. Vertailulukujen laskeminen läpän materiaalille

Ominaisuuden painokerroin W_n	Ominaisuus M_n	D	E	F
6	Tiheys	$6 \times 7,9 = 47,4$	$6 \times 7,9 = 47,4$	$6 \times 7,9 = 47,4$
5	Iskusitkeys	$5 \times 100 = 500$	$5 \times 100 = 500$	$5 \times 100 = 500$
4	Kulumiskestävyys	$4 \times 100 = 400$	$4 \times 100 = 400$	$4 \times 100 = 400$
6	Hitsattavuus	$6 \times 100 = 600$	$6 \times 100 = 600$	$6 \times 100 = 600$
6	Lastuttavuus	$6 \times 95 = 570$	$6 \times 100 = 600$	$6 \times 80 = 480$
6	Hinta	$6 \times 100 = 600$	$6 \times 82 = 492$	$6 \times 20 = 120$
2	Kierrätettävyys	$2 \times 100 = 200$	$2 \times 100 = 200$	$2 \times 100 = 200$
Vertailuluvut		2 917,4	2 839,4	2 347,4

Taulukosta 7 nähdään, että lopulliseksi materiaaliksi valikoitui materiaali D, eli S235JRG2. Se on kuumavalssattu teräslevytuote. Tässä olisi hyvä ottaa vertailuluvun laskentaan mukaan LCC-kustannukset, mutta niiden laskemista varten ei ole saatavilla tarpeeksi tietoa. Osat teetetään alihankintana, eikä tuotteen tuotantoa pystytä vielä aloittamaan. Ruostumaton teräs oli vertailtavista materiaaleista ainut, josta olisi voinut jättää pinnoitteen pois. Materiaalit D ja E tarvitsevat korroosiolta suojaavan pinnoitteen, jolla on pieni kitkakerroin sekä kestää iskuja. Se lisää työvaiheita verrattuna ruostumattomaan teräkseen, lisäksi pinnoitteen erityisominaisuudet nostavat kustannuksia.

Materiaalia valitessa ratkaisevin ominaisuus oli hinta. Jos lastuttavuus jätetään huomioidematta, ei lopputulos muutu. Tämän perusteella voitaisiin vertailulukua laskea myös suoraan tiheys jaettuna hinnalla. Vaatimusprofiilin avulla saatiin nopeasti rajattua epäsovimmat materiaalityypit.

8 Osien kiinnitys toisiinsa ja apuvälineen kiinnitys pöytään

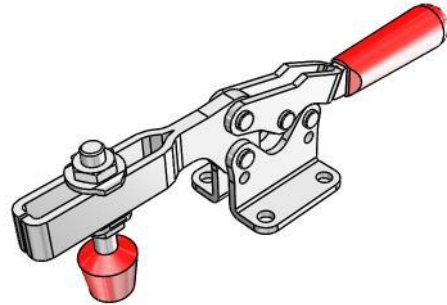
Vanhassa sananlaskussa sanotaan: *”Älä keksi pyörää uudelleen”*. Jos tarvittava väline tai tuote on jo keksitty, edullisemmaksi ja järkevämmäksi tulee käyttää niitä. Niin kuin on aikaisemmin mainittu, apuväline kiinnitetään puristimen avulla pöytään. Puristimen sijainti rungossa on havainnollistettu kuvassa 10. Ergonomian takia ei haluta nostaa työkentelykorkeutta erillisen telineen avulla.

Destacon puristimet on suunniteltu raskaaseenkin käyttöön. Ne on tarkoitettu lähinnä teollisuuskäyttöön, esimerkiksi pitämään työstettävää levyä paikoillaan. Pääasiassa brodeerausessa käytettävissä pöytämalleissa pöytälevy on tuettu huonekaluputkella sen kaikilta sivuilta, kuten esimerkiksi kuvassa 13. Tästä syystä monissa valmistajan puristinmalleissa varren pituus jäi liian lyhyeksi. Asiakkaan käyttämä pöytämalli tulisi huomioida tilauksen yhteydessä. Asiakkaalle sopivin puristinmalli voidaan hankkia samalta valmistajalta.



Kuva 13. Esimerkki brodeerauksessa käytettävästä työpöytämallista. [19.]

Ainoastaan Destaco 235-mallin sarjassa, varren pituus oli pidempi. Käyttötarkoitukseen sopivimmaksi malliksi valikoitui 235-U, joka löytyy kuvasta 14. Varren pituus on 10,5 cm ja lukitusaukko aukeaa 92° , mikä mahdollistaa soveltuvuuden useampiin pöytämalleihin. Sen suurin puristusvoima on 3340 N ja pienin 1330 N. Vähimmäisvaatimus puristimen kiinni pysyvyydelle on noin 590 N. [18.]



Kuva 14. Destaco 235-U vaakapuristinmalli. [18.]

Oikeanlaisen saranan etsiminen ei tuottanut tulosta. Ideaalisin lopputulos saavutettaisiin pulttisaranan tyyllisellä saranalla, josta toinen pää upotettaisiin runkoon syvennyksen kohdalta ja toinen pää hitsattaisiin kiinni läppään. Vaihtoehtoiksi jää saranan teettäminen tai pulttisaranan muokkaaminen mekaanisesti. Prototyypissä saranana käytettiin kahta 25 x 19 mm:n kokoista kaapinsaranaa. Saranan toinen pää hitsattiin kiinni läppään. Runkoon jyrssiin pienet syvennykset, joihin saranat kiinnitettiin ruuvien avulla. Tätä kiinnitystapaa halutaan välttää lopullisessa tuotteessa. Jos saranan valmistaminen tai muokkaaminen tulee liian kalliiksi, jää hyödynnettäväksi prototyypissä käytetty kiinnitysmenetelmä. Ulkonäön parantamiseksi voidaan lisätä saranoiden päälle peitepalat, joiden täytyy jäädä hieman rungon pintatason alapuolelle.

9 Koekäyttö

Prototyypin valmisti yrittäjä itse käytössään olevista materiaaleista. Runko on valmistettu filmivanerista ja läppä ruostumattomasta teräksestä. Läpässä käytetty materiaali on erilainen, kuin lopullisessa tuotteessa. Tiheys on kuitenkin sama, joten se ei vaikuta apuvälineen toimintaan käytön kannalta. Kuva prototyypistä kuvassa 15.



Kuva 15. Valmistettu prototyyppi.

Raamittajaa käytettäessä työskentely nopeutui selvästi. Sitä suuremman hyödyn apuvälineestä saa, mitä enemmän neulontapäitä on käytössä. 1-nuppista konetta käytettäessä jäi aikaa myös muiden töiden tekemiseen. Vaativimpien tuotteiden raamittamisessa läppä nousi välillä vähän ylös, mutta korjaantui vaihdettaessa pujotustekniikkaa. Vaikka läppä hieman nousi, tukikangas pysyi vaaditussa kohdassa. Tukikankaan paikka brodeerausapuvälineessä havainnollistettu kuvassa 16. Runkoon tehtävillä merkeillä säästettiin ylimääräiseltä mittaamiselta, kun raamitettiin samaa kokoa olevia tuotteita. Brodeerausapuväline voi myös helpottaa lisätyövoiman palkkaamista, koska se on erinomainen koulutettaessa kokemattomiakin brodeeraajia.



Kuva 16. Raamin takaosa ja tukikangas asetettuna paikoilleen ennen tekstiilituotteen pujottamista.

Raamin takaosan tiukkuutta on vaikea säätää sopivaksi ilman kokeilemistä. Koekäytössä ilmeni, että ruuvia voidaan helposti säätää, ilman että tekstiiliä tarvitsi ottaa pois paikoiltaan. Raamin tiukkuuden on oltava sopiva, ettei se irtoa kesken brodeerauksen.

Välillä kehysten päällimmäinen osa menee vinoon. Sen voi kuitenkin kääntää suoraksi, pyörittämällä kehystä. Raamittaja toimi myös tässä erinomaisesti. Syvennys pitää takakappaletta paikoillaan ja kehystä pystyy pyörittämään hallitummin, eikä raamitus irtoa niin helposti.

Raamittaessa takin olkapäätä rungon kapean osan olisi hyvä olla pidempi, mutta se vaatisi materiaalin lujuuksen lisäämistä. Lisäksi se menettäisi käytännöllisyyttään muissa tekstiilituotteissa, koska etäisyys pöytään kasvaisi – raamit, tukikankaat ja tekstiilituotteet säilytetään pöydällä.

Ennen koekäyttöä ei ollut varmaa, pitääkö läppä tukikangasta tarpeeksi paikoillaan. Vaihtoehtoina oli lisätä magneetti runkoon, mutta sille ei jää tilaa. Toinen vaihtoehto oli muuttaa läpän tekniikka jouselliseksi. Toisaalta työskentelyä helpotti, että läppä jäi ylös, kunnes tukikangas asetettiin paikoilleen. Apuväline kuitenkin toimii, niin kuin on toivottu ja tekniikka on mahdollisimman yksinkertainen, mikä helpottaa brodeerausta. Lopputuloksena voidaan todeta koekäyttö onnistuneeksi.

10 Johtopäätökset

Insinööriyön tarkoituksena oli valita materiaalit brodeerauksessa käytettävään apuvälineeseen. Lisäksi työhön kuului määrittää apuvälineen mitoitus, sekä pyrittiin ratkaisemaan ongelmat kappaleiden kokoonpanossa ja tuotteen kiinnityksessä pöytään.

Materiaalien valinnat suoritettiin arvoanalyysin avulla. Tarkempaan vertailuun päätyneitä materiaaleja karsittiin jo saatavuuden perusteella. Valintastrategiana rungon materiaalille oli paras hinta-laatu-suhde ja läppäosalle halvin mahdollinen hinta. Rungon materiaaliksi valikoitui koivuvaneri ja läppäosan kuumavalssattu teräslevy S235JRG2.

Prototyypin koekäyttö suoritettiin Pimenno Oy:n omissa tiloissa, aina kun tuotteita tuli tuotantoon. Koekäyttö oli onnistunut ja toimeksiantaja oli tyytyväinen materiaalivalintoihin. Tätä opinnäytetyötä voidaan tulevaisuudessa käyttää hyväksi, esimerkiksi tuoteselosteen luomisessa ja apuvälineenä tuoteperhettä kasvattaessa.

Lähteet

- 1 Herpiö, Sami. Toimitusjohtaja. Pimenco Oy. Suullinen tieto -2016.
- 2 Tajima. <<http://www.tajima.com/productinfo/2015030310142927.html>>. Luettu 15.10.2015.
- 3 Konetekniikan materiaalioppi. Toimittaneet Kaarlo Koivisto, Esko Laitinen, Matti Niinimäki, Tuomo Tiainen, Pentti Tiilikka ja Juho Tuomikoski. Helsinki: Edita Prima Oy 2006
- 4 Opintomateriaali Kai Laitinen, Materiaalinvalinta osa 1.
- 5 Materials engineering, science, processing and design. Third edition. Mike Ashby, Hugh Shercliff ja David Cebon. Elsevier 2014.
- 6 Ashby density chart. <http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/2_materials-charts-2009.pdf>. Luettu 20.4.2015.
- 7 Manufacturing with materials, materials in action series. Edwards Lyndon ja Endean Mark. Great Britain 1995. s.324–325.
- 8 Muovi. <<http://www.muoviteollisuus.fi/fin/ajankohtaista/?2016-1-Muovien-hinnat-hyokkaavat-taas-ylos&nid=219>>. Luettu 20.04.2016.
- 9 Muovi. <<http://www.muoviteollisuus.fi/fin/ajankohtaista/?2015-5-Muovit-saataavuudessa-vaikeuksia-hinnat-taivaissa&nid=170>>. Luettu 20.04.2016.
- 10 Puu. <http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/7/puujalosteet/puujalosteet>. Luettu 20.04.2016
- 11 Kuitulevyt. <http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/7/puujalosteet/kuitulevyt>. Luettu 20.04.2016.
- 12 Puuinfo. <<http://www.puuinfo.fi/node/1648>>. Luettu 20.4.2016.
- 13 Opintomateriaali Kai Laitinen, Materiaalioppi osa 1: Rakenteet ja testaus.
- 14 Vanerikäsikirja. <http://www.wisaplywood.com/en/downloads/brochures/general-brochures/Documents/Handbook_FI.pdf>. Luettu 4.1.2016
- 15 MDF tensile strength. <<http://forums.autodesk.com/t5/inventor-general-discussion/material-properties-bending-strength-mdf/td-p/5177333>>. Luettu 11.5.2016
- 16 Ruuviliitos. <<http://www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/MaterialArchive/Kerto-kasikirja-Ruuviliitokset.pdf>>. Luettu 8.5.2016.

- 17 Koneenrakentajan taulukkokirja. Täysin uusittu 9. painos. Valtanen, Esko. Jyväskylä: Gummerrus kirjapaino Oy 1997.
- 18 Destaco. <<http://www.destaco.com/assets/docs/ds/235.pdf>>. Luettu 15.10.2015.
- 19 Työpöytä teollisuuskäyttöön. <<http://hyotykaluste.com/tuotteet/treston-tyopoyta-eri-kokoja/>>. Luettu 17.5.2016.

Egger MDF-MB E1 -levyn tekniset ominaisuudet

Erikois MDF-levy valmistajalta Egger. Lähde: <http://www.egger.com/downloads/bildarchiv/18000/1_18300_TD_EGGER-MDF-MB-E1_EN.pdf>

MORE FROM WOOD.



QUALITÄTSMANAGEMENT ISO 9001

Coding TDGR605EN
Revision 01
Page Page 1 of 2

TECHNICAL DATA SHEET

EGGER MDF-MB E1 CE

Recipe: 605 - Membrane quality
Application: Base particle board for interior fitments (including furniture) for use in dry conditions, suitable for 3D furniture quality



Board type meets EN 622-5 standard

Mechanical properties Board mean values	Unit	Board thickness		
		>12 - 19	>19 - 30	>30 - 40
Density	[kg/m ³]	Plant specific		
Internal Bond strength EN 319	[N/mm ²]	≥ 0,85	≥ 0,80	≥ 0,75
Bending strength EN 310	[N/mm ²]	≥ 35	≥ 31	≥ 26
Modulus of elasticity EN 310	[N/mm ²]	≥ 3200	≥ 3100	≥ 2900
Swelling in thickness 24h EN 317	[%]	≤ 12	≤ 10	≤ 8
Surface soundness EN 311	[N/mm ²]	≥ 1,2		
Screw withdrawal surface	[N]	≥ 1250		
Screw withdrawal edge	[N]	≥ 1080	≥ 1000	≥ 940
Sand content	[%]	≤ 0,02		
Moisture content *1 EN 322	[%]	6±2		
Surface absorption	[mm]	180		
Formaldehyde content **2 EN 120	[mg/100g]	E1		

General tolerances	Unit	Board thickness		
		>12 - 19	>19 - 30	>30 - 40
Length tolerance EN 324	[mm]	±2,0mm/m, maximum ±5,0		
Width tolerance EN 324	[mm]	±2,0mm/m, maximum ±5,0		
Squareness EN 324	[mm/m]	≤2,0		
Edge straightness EN 324	[mm/m]	≤1,5		
Thickness tolerance EN 324	[mm]	±0,2	±0,3	±0,3
Standard sanding		K180		

MORE FROM WOOD.



QUALITÄTSMANAGEMENT ISO 9001

Coding TDGR605EN
Revision 01
Page Page 2 of 2

Building physical properties	Unit	Board thickness		
		>12 - 19	>19 - 30	>30 - 40
Fire behaviour category				
Board thickness \geq 9 mm and density \geq 600 kg/m ³ in line with EN 13986		D-s2, d0		
Water vapour diffusion resistance value EN 13986				
		μ moist	μ dry	
Mean density 600 kg/m ³		12	20	
Mean density 800 kg/m ³		20	30	
Thermal conductivity EN 13986				
Mean density 600 kg/m ³	W/(m·K)	0,10		
Mean density 800 kg/m ³		0,14		
Air sound insulation EN 13986				
EN 13986		$R = 13 \times \lg(m_A) + 14$ $(m_A = \text{board surface weight kg/m}^2)$		
Sound absorption EN 13986				
Frequency range		0,10		
250 Hz bis 500 Hz		0,20		
1000 Hz bis 2000 Hz				
Biological durability EN 13986				
EN 335-3		Harzard category 1 (no earth contact , dry 20%/65% relative humidity)		
PCP content EN 13986				
EN 13986	[ppm]	<5		

*1 On delivery

*2 Formaldehyde content

According to the "Regulation on the Prohibition of Chemicals (ChemVerbotsV)" annex to § 1, clause 3 from 14th October, 1993 in connection with the publication of the BGA in the federal health sheet 10/91 (s. 487-489) about "testing method for particleboard", uncoated MDF board must not exceed a perforator limit value (photometrical) of 8 mg HCHO/100g over-dry board at moisture content of 6,5 %. The flexible half-years mean value is max. 7 mg HCHO/100g over-dry board.

Provisional note:

This technical data sheet has been carefully drawn up to the best of our knowledge. We accept no liability for any mistakes, errors in standards or printing errors. In addition, technical modifications can result from the continuous further development, as well as from changes in standards and documents originating from statutory bodies. The contents of this technical leaflet should therefore not be considered as instructions for use or as legally binding.

Koivu- ja combivanerien tekniset ominaisuudet

Vanerikäsikirja.

<http://www.wisaplywood.com/en/downloads/brochures/general-brochures/Documents/Handbook_FI.pdf>.

vanerin ominaisuudet洛ps - XPS-käsiteltyinä

Tiedosto Käyttöoikeudet Allekirjoitukset

Etäi

Taulukko 3-2. Koivuvaneri

Rakenne	Poikkileikkaussuureet						Ominaisuus						Keskimääräinen kimmomoduuli			
	Nimellis-paksuus	Viilujen lukumäärä	t keskim. mm	A mm ² /mm	W mm ³ /mm	I mm ⁴ /mm	f _m N/mm ²	f _m ⊥ N/mm ²	f _c N/mm ²	f _c ⊥ N/mm ²	f _t N/mm ²	f _t ⊥ N/mm ²	E _m N/mm ²	E _m ⊥ N/mm ²	E _{t/c} N/mm ²	E _{t/c} ⊥ N/mm ²
□ □	4	3	3.6	3.6	2.16	3.89	65.9	10.6	31.8	20.2	45.8	29.2	16471	1029	10694	6806
□ □ □	6.5	5	6.4	6.4	6.83	21.8	50.9	29.0	29.3	22.8	42.2	32.8	12737	4763	9844	7656
□ □ □ □	9	7	9.2	9.2	14.1	64.9	45.6	32.1	28.3	23.7	40.8	34.2	11395	6105	9511	7989
□ □ □ □ □	12	9	12.0	12.0	24.0	144	42.9	33.2	27.7	24.3	40.0	35.0	10719	6781	9333	8167
□ □ □ □ □ □	15	11	14.8	14.8	36.5	270	41.3	33.8	27.4	24.6	39.5	35.5	10316	7184	9223	8277
□ □ □ □ □ □ □	18	13	17.6	17.6	51.6	454	40.2	34.1	27.2	24.8	39.2	35.8	10048	7452	9148	8352
□ □ □ □ □ □ □ □	21	15	20.4	20.4	69.4	707	39.4	34.3	27.0	25.0	39.0	36.0	9858	7642	9093	8407
□ □ □ □ □ □ □ □ □	24	17	23.2	23.2	89.7	1041	38.9	34.4	26.9	25.1	38.8	36.2	9717	7783	9052	8448
□ □ □ □ □ □ □ □ □ □	27	19	26.0	26.0	113	1465	38.4	34.5	26.8	25.2	38.7	36.3	9607	7893	9019	8481
□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □	30	21	28.8	28.8	138	1991	38.1	34.6	26.7	25.3	38.5	36.5	9519	7981	8993	8507
□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □	35	25	34.4	34.4	197	3392	37.6	34.7	26.6	25.4	38.4	36.6	9389	8111	8953	8547
□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □	40	29	40.0	40.0	267	5333	37.2	34.7	26.5	25.5	38.3	36.8	9296	8204	8925	8575
□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □	45	32	44.2	44.2	326	7196	37.0	34.7	26.5	25.5	38.2	36.8	9259	8241	8914	8586
□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □	50	35	48.4	48.4	390	9448	36.8	34.8	26.4	25.6	38.1	36.9	9198	8302	8895	8605

Sivu 2 / 2

233 %

vanerin ominaisuudet洛ps - XPS-käsiteltyinä

Tiedosto Käyttöoikeudet Allekirjoitukset

Etäi

Taulukko 3-3. Combivaneri

Rakenne	Poikkileikkaussuureet						Ominaisuus						Keskimääräinen kimmomoduuli			
	Nimellis-paksuus	Viilujen lukumäärä	t keskim. mm	A mm ² /mm	W mm ³ /mm	I mm ⁴ /mm	f _m N/mm ²	f _m ⊥ N/mm ²	f _c N/mm ²	f _c ⊥ N/mm ²	f _t N/mm ²	f _t ⊥ N/mm ²	E _m N/mm ²	E _m ⊥ N/mm ²	E _{t/c} N/mm ²	E _{t/c} ⊥ N/mm ²
□ □ □	6.5	5	6.4	6.4	6.83	21.8	50.8	29.0	24.5	22.8	19.1	32.8	12690	4763	8859	7656
□ □ □ □	9	7	9.2	9.2	14.1	64.9	43.9	32.1	22.5	23.7	17.5	34.2	10983	6105	8141	7989
□ □ □ □ □	12	9	12.0	12.0	24.0	144	40.0	33.2	21.5	24.3	16.7	35.0	10012	6781	7758	8167
□ □ □ □ □ □	15	11	14.8	14.8	36.5	270	37.5	33.8	20.8	24.6	16.2	35.5	9386	7184	7520	8277
□ □ □ □ □ □ □	18	13	17.6	17.6	51.6	454	35.8	34.1	20.4	24.8	15.8	35.8	8950	7452	7358	8352
□ □ □ □ □ □ □ □	21	15	20.4	20.4	69.4	707	34.5	34.3	20.0	25.0	15.6	36.0	8628	7642	7240	8407
□ □ □ □ □ □ □ □ □	24	17	23.2	23.2	89.7	1041	32.9	34.4	19.8	25.1	15.4	36.2	8381	7783	7151	8448
□ □ □ □ □ □ □ □ □ □	27	19	26.0	26.0	113	1465	31.2	34.5	19.6	25.2	15.3	36.3	8185	7893	7081	8481
□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □	30	21	28.8	28.8	138	1991	29.9	34.6	19.5	25.3	15.1	36.5	8026	7981	7024	8507

Sivu 2 / 2

233 %