

RUISKUVALUOSAN SUUNNITTELU

Tuotekehitys liikuntavälinevalmistajalle

Tiivistelmä

Tekijä(t) Niemi, Heikki	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 23	Valmistumisaika Syksy 2019
Työn nimi Ruiskuvaluosan suunnittelu Tuotekehitystyö liikuntavälinevalmistajalle		
Tutkinto Insinööri (AMK)		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön aiheena on ruiskuvalutuotteen suunnittelu. Työn toimeksiantaja on suomalainen liikuntavälinevalmistaja, jonka valmistaman harjoitteluvälineen osan kustannustehokkuutta ja ulkonäköä haluttiin kehittää.</p> <p>Opinnäytetyössä suunniteltiin kovaan mekaaniseen rasitukseen altistuva astinlauta ja tehtiin sille FEM-analyysi soveltuvia standardeja mukaillen. Lisäksi tuotteen valmistuksesta tehtiin viitteellinen kustannusarvio tukemaan päätöstä tuotteen jatkokehityksestä ja tuotteistamisesta.</p> <p>Ruiskuvalutuotteen suunnittelun teoriaa tarkasteltiin opinnäytetyön aiheena olevan tuotteen näkökulmasta. Samoja suunnitteluperiaatteita voidaan soveltaa ruiskuvalutuotteen suunnittelussa yleisesti.</p>		
Asiasanat tuotesuunnittelu, tuotekehitys, ruiskuvalu		

Abstract

Author(s) Niemi, Heikki	Type of publication Bachelor's thesis	Published Fall 2019
	Number of pages 23	
Title of publication Designing an Injection Molded Part Product Development for a Sports Equipment Manufacturer		
Name of Degree Bachelor of Engineering		
Abstract <p>The subject of this bachelors thesis is design work for an injection molded part. The work is done for a Finnish sports equipment manufacturer that wanted to improve on the cost efficiency and the outlook of a part of their product.</p> <p>The part is a stepping board that is designed to withstand a large mechanical load. An FEM analysis is conducted according to relevant standards. An approximate estimate of manufacturing costs is made in order to facilitate decision making on further product realization.</p> <p>Theory and principles of designing injection molded parts are examined from the viewpoint of the subject part. Same principles apply universally on all injection molded parts.</p>		
Keywords Product design, product development, injection molding		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	DOWNFORCER™ -VOIMALAUTA.....	2
2.1	Rakenne	2
2.2	Käyttö ja käyttäjät	2
2.3	Tuotteen mekaaniset rasitukset käytön aikana	2
2.3.1	Prototyypin lämpökuvaus.....	3
2.3.2	Prototyypin simulointi.....	4
3	TUOTTEELLE ASETETUT VAATIMUKSET	6
3.1	Valmistettavuus	6
3.2	Valmistuskustannukset	6
3.3	Standardit	6
3.4	Mekaaninen kuormitus.....	7
3.5	Pysyvä muodonmuutos ja viruminen	8
3.6	Ulkoiset kuormitukset.....	9
3.7	Ulkonäkö	9
4	SUUNNITTELU.....	10
4.1	Rakenne ja muotoilu	10
4.1.1	Jäykisterivat.....	10
4.1.2	Päästöt ja ulostyöntö	11
4.1.3	Kaasunpoisto ja ilmataskut	12
4.2	Materiaalinvalinta.....	13
4.3	Testaus ja simulointi	14
4.4	Varmuusluku.....	16
4.5	Valmistuskustannukset	17
4.6	Viimeistely tuote ja ulkonäkö.....	19
5	YHTEENVETO	21
	LÄHTEET	22

1 JOHDANTO

Backup Sport Finland Oy on vuonna 2012 perustettu suomalainen urheilutarvikkeita valmistava yritys. Vuodesta 2015 asti yritys on keskittynyt kehittämään Downforcer™ -voimalautaa ja Downforcetraining™ -harjoitusmenetelmää. (Backup Sport Finland Oy 2016)

Yrityksessä koettiin tarpeelliseksi tutkia vaihtoehtoisia valmistusmenetelmiä voimalaudan astinlevyille. Aiemmin levyt ovat olleet vaneria. Filmipäällystetty koivuvaneri aiheuttaa suuren osan tuotteen materiaalikustannuksista (Laitinen 2017a).

Tavoitteena tässä opinnäytetyössä on suunnitella sarjatuotantoon soveltuva osa, jonka valmistuskustannukset ovat olemassa olevaa ratkaisua pienemmät. Suunnittelussa otetaan huomioon vaneria vastaava jäykkyys ja käytön kannalta olennaiset muut mekaaniset ominaisuudet. Erityisesti tässä opinnäytetyössä keskitytään ruiskuvalutuotteen suunnitteluun, sillä sen katsotaan olevan nimenomaan suuriin tuotantosarjoihin soveltuva tuotantomenetelmä. Suunnittelussa kiinnitetään huomiota myös valmistuskustannuksiin, joita arvioidaan mahdollisuuksien mukaan.

Suunnittelutyön tueksi tarvitaan tietoa valmistusmateriaaleista. Tietoa hankitaan tietokannoista ja mittaamalla materiaalien ominaisuuksia. Mittauksissa pyritään keskittymään tuotteen käytön kannalta olennaisiin ominaisuuksiin ja käytössä syntyviin rasituksiin.

2 DOWNFORCER™ -VOIMALAUTA

2.1 Rakenne

Voimalaudassa on teräsrunko, kaksi astinlevyä ja vastuskappaleet. Vastuskappaleet ovat solumuovia, joka joustaa paineen alla ja palautuu hitaasti muotoonsa.

Prototyypin astinlevyt ovat ruuveilla kiinni teräsohutlevyrakenteissa, jotka kiinnittyvät M8-pulteilla runkoon. Astinlevyt ja teräskourut lepäävät vastuskappaleiden ja pulttien muodostamien tukipisteiden päällä.

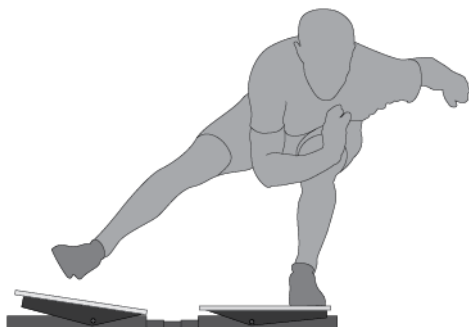
2.2 Käyttö ja käyttäjät

Voimalautaa käytetään pikaluistelijoiden ja jääkiekkoilijoiden harjoittelussa. Laudalle on suunniteltu luistelun voimaharjoitteita ja jääkiekon tekniikkaharjoitteita. Toimeksiantajan tavoitteena on laajentaa tuotteen käyttöä esimerkiksi sairaaloihin kuntoutuksen tueksi. (Laitinen 2017b).

Tuotteen kestävyuden kannalta tärkein käyttäjän antropometrinen ominaisuus on kehonpaino. Muut mitat, kuten käyttäjän pituus, eivät vaikuta ratkaisevasti lautaan kohdistuviin voimiin. Toisaalta eri käyttäjäryhmien välisiä eroja esimerkiksi pituudessa tai alaraajojen liikelaajuudessa voidaan kompensoida laitteen säädettävyydellä, johon ei tässä opinnäytetyössä puututa.

2.3 Tuotteen mekaaniset rasitukset käytön aikana

Lautaan kohdistuva rasitus riippuu harjoittelutavasta ja käyttäjän painosta ja voimasta. Suunnittelussa keskitytään kuvassa 1 havainnollistetun, suurimman mekaanisen rasituksen aiheuttavaan käyttötapaan. Muiden käyttötilanteiden oletetaan sisältyvän tämän tarkastelutavan asettamiin vaatimuksiin.



Kuva 1. Suuren mekaanisen rasituksen tuottava harjoite.

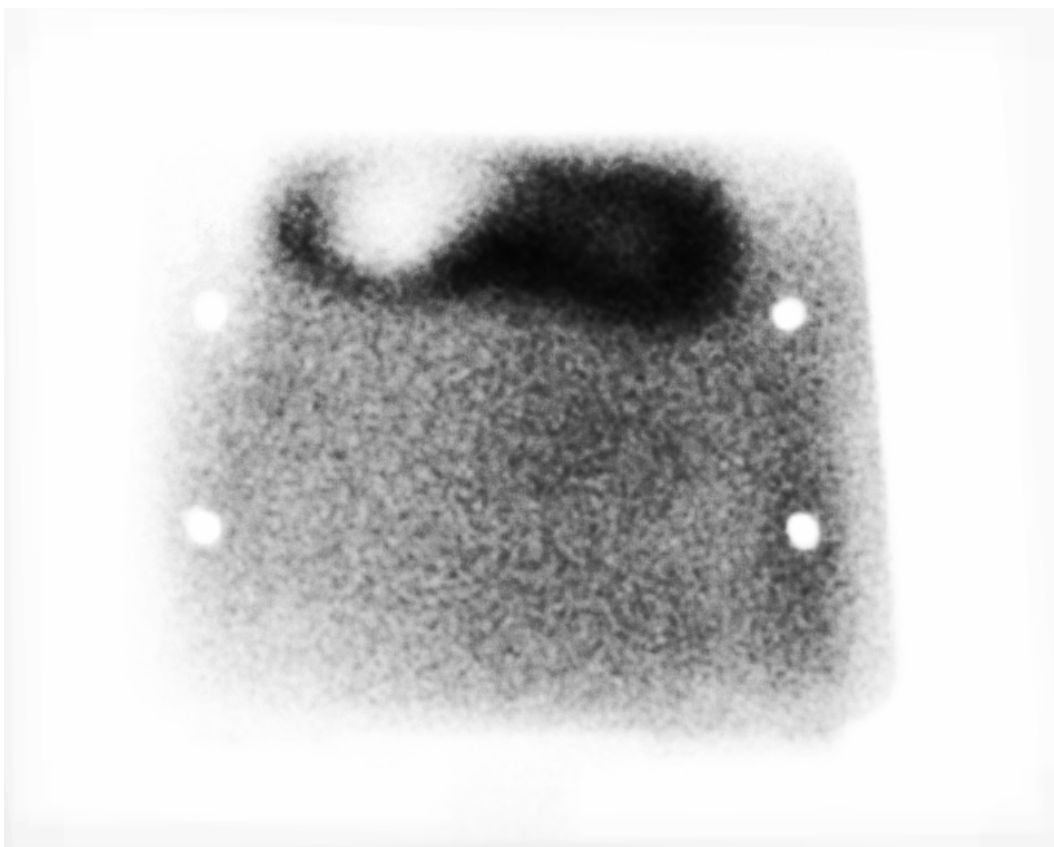
Tuotteeseen kohdistuvia mekaanisia rasituksia käytön aikana tutkittiin lämpökameran avulla ja tietokonesimulaatioilla. Jännitysten ja muodonmuutosten sijaintia käytettäisiin suunnittelussa tukirakenteiden sijoittelussa ja mitoituksessa.

2.3.1 Prototyypin lämpökuvaus

Toimeksiantajan toimittamassa prototyypissä toinen vanerilevyistä on korvattu 15 mm muovilevystä leikatulla osalla. Muovilevy on huomattavasti vanerilevyä joustavampi ja taipuu selvästi jalan alla. Muodonmuutokset aiheuttavat materiaalissa lämpenemistä, jonka pitäisi näkyä lämpökameralla. Tässä kokeessa käytettiin Fluke Ti25 -lämpökameraa.

Oletettiin että lämpökameralla saadaan helposti selville suurimman jännityksen alaiset alueet astinlevyssä. Lämpötilaerot jäivät kuitenkin verrattain pieniksi, joten täysin yksiselitteistä tulosta ei tällä menetelmällä saatu. Kokeessa tuotetta käytettiin noin minuutin ajan todellista käyttötilannetta vastaavalla tavalla, minkä jälkeen levystä otettiin useita lämpökamerakuvia. Kuormitus ja kuvaus toistettiin kolme kertaa.

Vähäisten lämpötilaerojen vuoksi lämpökameran kuvissa oli pieni kontrasti ja paljon kohinaa. Kohinaa pyrittiin vähentämään ja erottelutarkkuutta ja kontrastia lisäämään kerrostamalla useita kuvia kuvankäsittelyohjelmalla, jolloin lämpötilaeroista saatiin hieman havainnollisempi kuva. Kuvassa 2 esitetään lämpökameran kuvista kuvankäsittelyllä koostettu yhdistelmä.



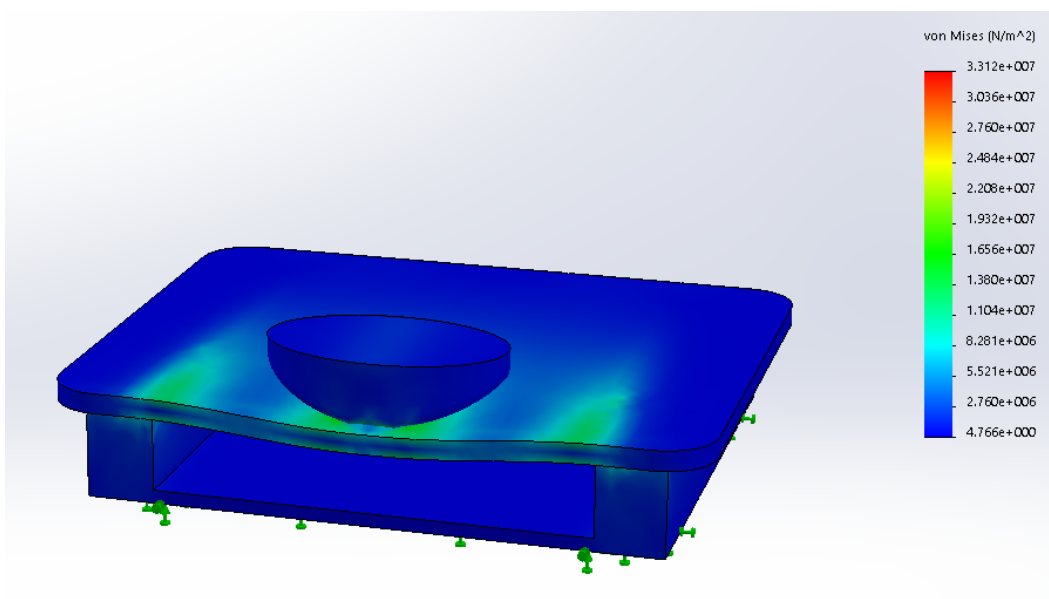
Kuva 2. Lämpökameran kuvista kuvankäsittelyn avulla koostettu yhdistelmä.

Kuvassa lämpimät alueet näkyvät vaaleina ja viileämmät alueet tummina. Neljä valkoista pistettä laudan kulmien lähellä ovat kiinnitysruuvien kannat. Kylmä kengänjälki erottuu lähes mustana alueena kuvan yläreunassa, jossa päkiän alle on jäänyt lämpimämpi, vaalea alue. Laudan alla oleva tukirakenne erottuu ympäristöönsä tummempina alueina kiinnitysruuvien alla pystysuorina kaistaleina laudan reunojen lähellä. Muuten voidaan olettaa suurimpien muodonmuutosten kohdistuneen ympäristöönsä vaaleammille alueille päkiän ja kantapään alueilta laudan alareunaa kohti ja toisaalta vaakasuorille linjoille kiinnitysruuvien välillä.

2.3.2 Prototyypin simulointi

Prototyypin muovisesta astinlaudasta tehtiin yksinkertaistettu digitaalinen malli, jonka käyttäytymistä rasituksen alaisena simuloitiin SolidWorks 2016 -ohjelmalla. Tavoitteena oli verrata virtuaalisen mallin yhtäpitävyyttä lämpökuvauksen tulosten ja kappaleesta tehtyjen silmämääräisten havaintojen kanssa. Tulosten perusteella arvioitiin tietokonemallinnuksen käyttökelpoisuutta tässä opinnäytetyössä suunniteltavan tuotteen testaamisessa. Kuvassa 3 esitetään tietokoneella mallinnettu levyn jännitysgradientti. Simulaation ja havaintojen välillä on yhtäläisyyksiä, kuten tukirakenteiden viereen syntyvät jännityksen ja muodonmuu-

toksen alaiset alueet. Toisaalta tietokonemallissa astinlaudan kiinnitys tukirakenteeseen ei vastaa prototyypin rakennetta, vaan on yksinkertaistettu, koko kontaktipinnalta kiinteä liitos.



Kuva 3. Yksinkertaistettu malli prototyypin jännitysten simuloinnista.

Prototyypin astinlataan kohdistuvia jännityksiä ei voitu edellä kuvatulla lämpökuvaustekniikalla mitata, mutta jännitysten ja muodonmuutosten jakautumisesta kappaleessa saatiin kuitenkin tietoa. Yksinkertaistetun mallin puutteista huolimatta tietokonemallinnus arvioitiin käyttökelpoiseksi menetelmäksi tämän opinnäytetyön viitekehyksessä sillä edellytyksellä, että mallista tehdään olennaisilta osiltaan riittävän tarkka.

Tuotteen jännitysten simuloinnilla suljettiin pois toimimattomia rakenneratkaisuja: jos rakenne ei kestä tietokoneella, se tuskin kestää käytännössäkään. Toisaalta täysimittaista tuotetta ei voi testata ennen ruiskuvalumuotin valmistusta, jolloin ainoa mahdollisuus arvioida sen suorituskykyä on laskenta ja virtuaalinen testiympäristö.

3 TUOTTEELLE ASETETUT VAATIMUKSET

Astinlaudalle asetettiin vaatimuksia ja toiveita, jotka perustuivat tuotteen käyttöön, säilytykseen ja valmistukseen. Erilaiset asiakas- ja käyttäjäryhmät asettavat erilaisia vaatimuksia, jotka pitää ottaa suunnittelussa huomioon. Lisäksi tuotteeseen liittyy viranomaisvaatimuksia, joiden täyttäminen on välttämätöntä, jotta tuote on mahdollista kaupallistaa.

3.1 Valmistettavuus

Tuotteen valmistettavuus tarkoittaa tässä opinnäytetyössä sitä, että tuote suunnitellaan siten että sen valmistaminen olisi mahdollista. Valmistettavuuden osalta keskitytään erityisesti ruiskuvalun teknisiin vaatimuksiin.

Valmistettavuus edellyttää tuotteen suunnittelulta päästöjen, jäähdytysaikojen ja muiden ruiskuvalukappaleelle ominaisten rajoitteiden huomioimista ja implementaatiota. Valmistustekniikan asettamat rajoitteet rajoittavat voimakkaasti esimerkiksi aineenvahvuuksia ja tukirakenteiden määrää ja muotoa. Näitä rajoitteita ja niiden vaikutuksia suunniteltavaan tuotteeseen käsitellään yksityiskohtaisemmin luvussa 4.

3.2 Valmistuskustannukset

Ruiskuvalutuotteen valmistuksessa suurin kiinteä kustannus on muotin valmistus. Muuttuvia kustannuksia kertyy materiaalista, ruiskuvalujaksoon kuluva ajasta ja mahdollisista muista työvaiheista. Muita työvaiheita voivat olla esimerkiksi valukanavien poisto tai purseiden trimmaus.

Kokoonpanoa vaativat osat aiheuttavat lisätyötä ja lisäävät siten tuotteen valmistuskustannuksia. Tavoitteena on tuote, jonka valmistuksessa ja kokoonpanossa on mahdollisimman vähän työvaiheita.

3.3 Standardit

Standardin SFS-EN 913:2009 mukainen testikuormitus tehdään voimalla 2770 N tuotteen kestävyyskannalta epäedullisimpaan paikkaan. Voima määritetään kaavan (1) mukaisesti. Tässä käytetty kehon massa, 94 kg, perustuu väestön 95. prosenttipisteeseen, eli kattaa 95 % populaatiosta (SFS-EN 913, 2009, s. 12.)

$$F_t = m_b \times a \times C_d \times S + F_s + L_v \quad (1),$$

missä:

- lujuuden määrittämisessä käytettävä testivoima: F_t
- kehon massa: $m_b = 94 \text{ kg}$
- kiihtyvyys: $a = g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- varmuuskerroin: $S = 1,2$
- dynaaminen kerroin: $C_d = 2,5$
- staattinen kuorma: $F_s = 0$
- muuttuva kuorma: $L_v = 0$.

Voimistelu- ja urheiluvälineissä staattista ja muuttuvaa kuormaa ei tarvitse ottaa huomioon (SFS-EN 913, 2009, s. 12). Näillä arvoilla testivoimaksi tulee: $F_t \approx 2\,770 \text{ N}$.

3.4 Mekaaninen kuormitus

Tuotteen mekaanisessa tarkastelussa nivelet ja vastuskumit muodostavat astinlaudan tukipisteet ja käyttäjän jalka välittää kuormituksen. Tuotteen kestävyys kannalta epäedullisin kuormitusalue on mahdollisimman kaukana sekä tukipisteistä että laudan reunoista, eli laudan keskellä.

Lautaan kohdistuvaa kuormitusta on mitattu voima-anturein varustetuilla kengänpohjallisilla osana Backup Sport Finland Oy:n tuotekehitystä. Todellisessa käyttötilanteessa tehdyssä mittauksessa on havaittu 2000 N:n maksimivoima. Mittaus tehtiin harjoituksessa, jossa käyttäjä hyppii laudalta toiselle. Harjoituksissa, joissa käyttäjä ei nosta jalkoja irti laudalta maksimivoima oli pääasiassa alle 700 N ja kaikissa mittauksissa alle 750 N. Tästä voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

- Testiä suorittava henkilö painoi n. 70 kg – 76 kg, TAI
- kaikki voima ei välittynyt kengänpohjallisen kautta, vaan esimerkiksi kengän rakenteen välityksellä, TAI
- mittausvälineiden kalibrointi ei ole onnistunut.

Joka tapauksessa voidaan todeta, että tuotteen mitoituksessa pitää käyttää suurempaa voimaa kuin testitilanteessa havaittu maksimi. Standardin mukaan laskettu voima, 2770 N, vastaa suuruusluokaltaan 40 cm korkeudelta pudotetun 94 kg massan pysäyttämistä 20 cm matkalla, kaavan (2) mukaisesti:

$$W = mgh = F_0s \Rightarrow F_0 = \frac{mgh}{s}$$

$$\Rightarrow F = \frac{mgh}{s} + mg = \frac{94 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,40 \text{ m}}{0,20 \text{ m}} + 94 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 2770 \text{ N} \quad (2),$$

missä: W = hidastamiseen käytetty työ,
 m = pysäytettävä massa = 94 kg,
 g = putoamiskiihtyvyys $\approx 9,81 \text{ m/s}^2$,
 h = putoamismatka = 0,40 m,
 s = pysähtymismatka = 0,20 m,
 F_0 = hidastamiseen käytetty voima,
 F = kokonaisvoima = $F_0 + mg$.

Laskussa oletetaan hidastumisen olevan tasaista, vaikka edellä mainitussa mittauksessa kerätystä voima-anturin datasta voidaan havaita terävä huippu jalan osuessa laudalle. Lautaan kohdistuva jännitys on suoraan verrannollinen käyttäjän massaan, kun pudotuskorkeus ja hidastamismatka ovat vakioita. Riittävällä tarkkuudella voidaan päätellä: jos 70 kg painava käyttäjä aiheuttaa 2000 N:n voiman, niin 94 kg painava käyttäjä aiheuttaa vastaavassa tilanteessa n. 2700 N:n voiman. Näillä perusteilla lujuuslaskennassa käytetään standardin mukaista 2770 N:n voimaa.

Laudalla harjoittelun kannalta on tärkeää, että astinlaudan taipuma pysyy mahdollisimman pienenä. Suunnittelun tavoitteena voidaan pitää 15 mm paksua koivuvaneria vastaavaa taivutusjäykkyyttä (Laitinen, 2017b.) Laudan taipuma käytön aikana pyritään pitämään pienenä rakenteen ja materiaalinvalinnan avulla.

Materiaalin jäykkyyttä kuvataan Youngin moduulilla eli kimmomodulaarilla, jonka suuruus ilmoitetaan paineen yksiköinä, joko mega- tai gigapascalina. Materiaalit, joilla on lukuarvoltaan suuri kimmomodulaari ovat jäykempiä kuin materiaalit joiden kimmomodulaari on pieni.

3.5 Pysyvä muodonmuutos ja viruminen

Polymeerit ovat viskoelastisia materiaaleja, joissa esiintyy matalan lämpötilan virumista. Virumisella tarkoitetaan muodonmuutoksia, joita ilmenee jännityksen alaisessa kappaleessa kun jännitys jää alle materiaalin myötörajan. Virumista saattaa tässä tuotteessa esiintyä lähinnä varastoinnin yhteydessä, jos kappaleet jäävät jännityksen alaisiksi esimerkiksi pinottaessa.

Tässä tuotteessa saattaa esiintyä pitkäaikaisesta normaalista käytöstä aiheutuvia pysyviä muodonmuutoksia. Jos tuotteen suunnittelussa saavutetaan luvussa 4.4 mainittu riittävä

jäykkyys, käytön aikainen taipuma on suhteellisen vähäistä, jolloin myös pysyvä muodonmuutos tuotteessa jää vähäiseksi.

Virumiseen ja pysyvään muodonmuutokseen ei tämän opinnäytetyön kuvaamassa tuotesuunnittelutyössä oteta kantaa, sillä aihe ei tässä tapauksessa vaikuta suunnitteluun merkittävästi. Muodonmuutoksia ehkäisee lisäksi astinlaudan jäykkyys, johon suunnittelussa joka tapauksessa keskitytään.

3.6 Ulkoiset kuormitukset

Yksi toimeksiantajan toiveista tuotteen suhteen liittyi puhdistettavuuteen. Materiaalin tai mahdollisen pinnoitteen on kestettävä sairaalaympäristössä käytettäviä puhdistusaineita. Laitetta ei ole tarkoitettu ulkokäyttöön, mutta se saattaa silti altistua auringonvalolle ja ultraviolettisäteilylle. UV-säteily haurastuttaa useimpia polymeerejä. Polymeerejä lisäainestetaan yleisesti UV-stabilisaattoreilla, jotka vähentävät ultraviolettisäteilyn haitallisia vaikutuksia.

3.7 Ulkonäkö

Toimeksiantajalla ei ollut tarkkoja toiveita laitteen ulkonäön suhteen. Visuaalisen ilmeen toteuttamiseksi pohdittiin useita mahdollisuuksia, mutta asia jätettiin opinnäytetyön tekijän määriteltäväksi (Laitinen 2017b.) Laitteen muotoilun osalta luotettiin opinnäytetyön tekijän aiempaan koulutukseen muotoilijana (AMK).

4 SUUNNITTELU

4.1 Rakenne ja muotoilu

Astinlevylle suunniteltiin useita rakennevaihtoehtoja. Erilaisia rakenteita ideoitiin luonnostelemalla suuri määrä erilaisia vaihtoehtoja. Alkuvaiheen luonnoksista valittiin käyttökelpoisia kokonaisuuksia ja toimivaksi arvioituja piirteitä, joita vietiin jatkokehitykseen.

Toimivimmiksi arvioiduista pääsuunnittelulinjoista tehtiin 3D-mallit, joiden jäykkyyttä ja kestävyyttä arvioitiin tietokonemallinnoilla. Jännityksiä mallintamalla saatiin uutta tietoa suunnittelutyön tueksi.

Iteratiivisessa suunnitteluprosessissa toistettiin luomis- ja karsimisvaiheita. Ideointi- tai luomisvaiheessa tuotettiin useita vaihtoehtoisia suunnitelmia tai tuotevaihtoehtoja. Karsimisvaiheessa ideamassasta pyrittiin tunnistamaan sellaiset suunnittelun pääsuunnat tai yksityiskohdat, joilla oli jatkokehitys- ja toteutuspotentiaalia. Seuraavan luomis- ja karsimissyklin pohjana käytettiin edellisestä vaiheesta valittuja ideoita, joista taas luotiin vaihtoehtoisia suunnitelmia. Samaa etenemistapaa sovellettiin tuotteen yksityiskohtien ja osakokonaisuuksien suunnittelussa. Syklejä toistettiin, kunnes päästään riittävään detajitasoon tai muuten riittävän tarkkaan toteutusehdotukseen, jotta jäljellä olevia vaihtoehtoja voitiin vertailla. Prosessissa pyrittiin optimoimaan tuotteen ominaisuuksia siten, että kaikissa yksityiskohdissa ja teknisissä ratkaisuissa voitiin valita paras mahdollinen vaihtoehto.

4.1.1 Jäykisterivat

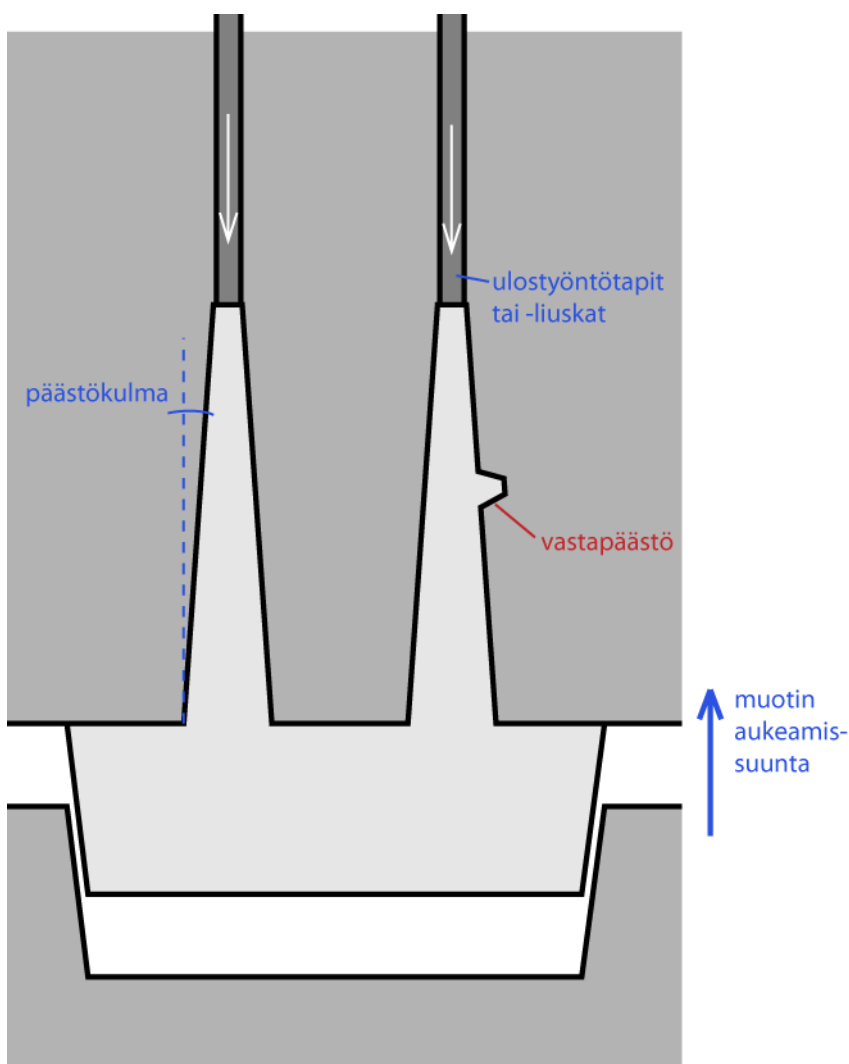
Suurin jännitys käyttötilanteessa kohdistuu jäykisteripoihin laudan alapuolella. Näiden ripojen lujuus vaikuttaa suoraan laudan kuormankantokykyyn. Ripojen mitoituksessa on otettava huomioon kuoriosan paksuus. Liian paksut rivat aiheuttavat tuotteen pintaan imuja, jotka ovat aiheuttavat merkittävän visuaalisen haitan. Hyväksi havaittu jäykisterivan paksuus on puolet materiaalin paksuudesta (Järvelä, Syrjälä, Vastela, 2000, s.309).

Jäykisteripojen lukumäärän lisääminen ja syventäminen lisäävät kappaleen jäykkyyttä. Liian syvä tai tiheä rivoitus kuitenkin heikentää kappaleen ruiskuvalettavuutta. Rivoituksessa on syytä ottaa huomioon myös päästökulmat, joita käsitellään tarkemmin luvussa 4.1.2. Liiallinen rivoitus tekee ruiskuvalumuotin jäähdytyksestä vaikeampaa, monimutkaiseksi muotista irrotusta ja lisää materiaalinkulutusta. Hyvin toteutettuna riittävä rivoitus voi kuitenkin olla kustannustehokas ja toimiva ratkaisu riittävän jäykkyyden saavuttamiseksi.

Tässä työssä laudan pohjaan suunniteltiin runsas rivoitus, joka muodostaa kennomaisen rakenteen. Vaihtoehtona tutkittiin myös kotelomaista rakennetta, jossa laudan pohjaan olisi liimattu levystä leikattu osa. Tästä olisi kuitenkin aiheutunut ylimääräisiä työvaiheita, mikä olisi nostanut valmistuskustannuksia. Tätä ei pidetty taloudellisesti järkevänä suunnittelulinjana (Laitinen, 2017c.)

4.1.2 Päästöt ja ulostyöntö

Ruiskuvalukappaleen suunnittelussa pitää ottaa huomioon muotista irrottaminen. Runsas rivoitus vaikeuttaa kappaleen irrottamista muotista. Muotista irrottaminen tapahtuu ulostyöntömekanismilla osana ruiskuvaluprosessia. Päästö tarkoittaa kappaleen muotoilua siten, että kappale on irrotettavissa muotin aukeamissuuntaan ilman muotin tai muovimateriaalin muodonmuutosta. (Järvelä, Syrjälä, Vastela, 2000, s.296)

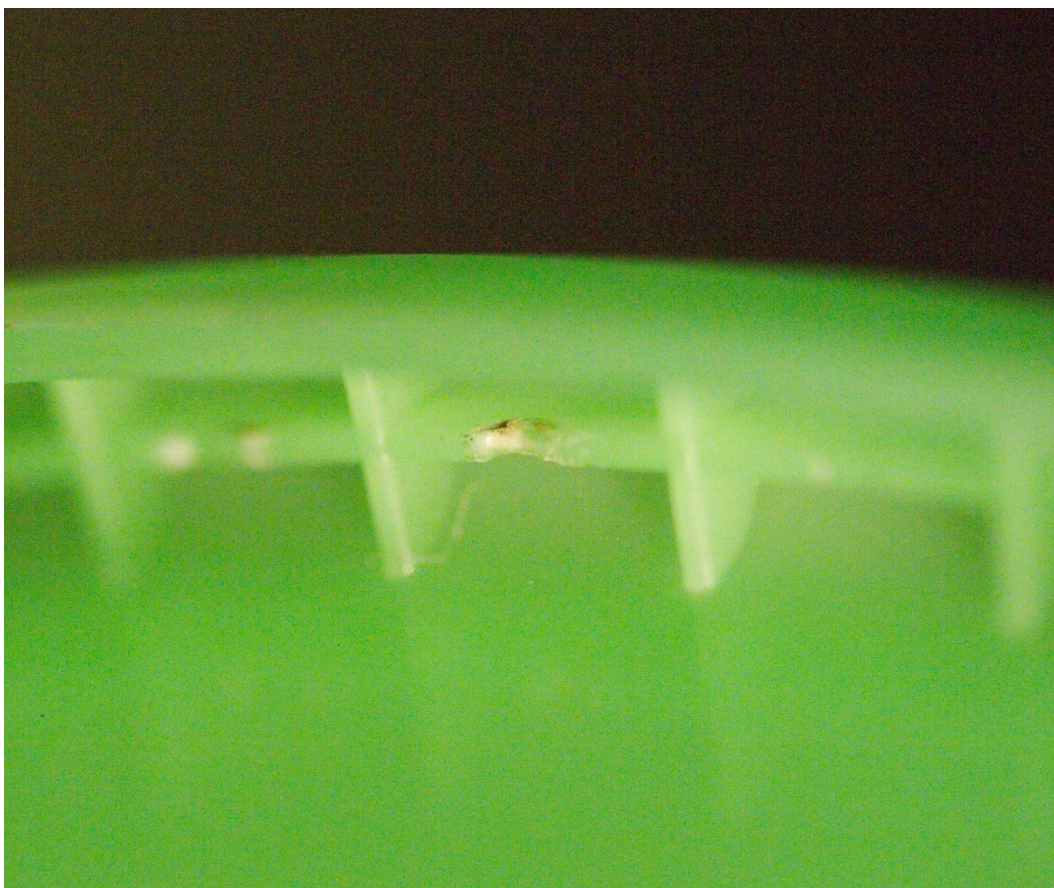


Kuva 4. Päästöt, vastapäästöt ja ulostyöntö.

Päästöt otettiin huomioon jäykisteripojen suunnittelussa. Laudan kokonaispaksuuden kasvaessa sen jäykkyys ei lisääntynyt lineaarisesti samassa suhteessa. Jäykisteripojen syventäminen johti ripojen harjan ohentamiseen riittävän päästön toteuttamiseksi, jolloin jäykistävä vaikutus ei kasvanut merkittävästi syvemmällä rivoituksella. Suunnittelussa pyrittiin tasapainoon valmistettavuuden, materiaalikulutuksen ja mekaanisen kestävyyskesken.

4.1.3 Kaasunpoisto ja ilmataskut

Ruiskuvalukappaleen suunnittelussa otetaan huomioon kaasun poistuminen muotista muovisulan edetessä. Kaasut poistuvat muotista jakotasolle tehtyjen kaasunpoistokanavien kautta tai muista raoista, joista muovisula ei kuitenkaan pysty virtaamaan. Kappaleen reunoille, tai esimerkiksi jäykisteripojen harjanteisiin voi muodostua ilmataskuja puutteellisen kaasunpoiston seurauksena. Ilmataskuun jäänyt kaasu voi estää muotin täyttymisen, minkä lisäksi paineen vaikutuksesta kuumeneva kaasu saattaa aiheuttaa kappaleeseen mustia jälkiä. Kuvassa 5 esitetään puutteellisen kaasunpoiston aiheuttamia jälkiä ämpärin reunan jäykisterivassa. Ruiskuvalumuottiin jäänyt kaasutasku on estänyt muotin täyttymisen ja paineen kasvaessa kuumentunut kaasu on aiheuttanut muovimateriaaliin hiiltymisjälkiä. Kuvassa 5 esitetyn kaltainen virhe heikentää tuotteen mekaanisia ominaisuuksia.



Kuva 5. Puutteellisesta kaasunpoistosta johtuva jälki muoviämpärin tukirivassa.

Kaasun poistumiseen muotista voidaan vaikuttaa kappaleen ja muotin suunnittelulla ja ruiskutuspusteen valinnalla. Ruiskuvalutapahtuman simuloinnilla voidaan ennakoida muovisulan etenemistä muotissa ja arvioida kaasunpoiston onnistumista ja ongelmakohtia.

Astinlaudassa kaasunpoisto voidaan toteuttaa laudan pohjassa ulostyöntömekanismin yhteydessä. Kaasunpoiston sijoittumiseen muotissa vaikuttaa ruiskutuspusteen valinta.

4.2 Materiaalinvalinta

Valmistusmateriaalin valinnassa kiinnitettiin huomiota materiaalin mekaanisiin ominaisuuksiin ja ruiskuvalettavuuteen. Materiaalin hinta oli myös yksi valintaperuste. Valmistusmateriaalin valinta tehtiin suuntaa-antavasti tietokanta-aineiston perusteella.

Valmistusmateriaalin valinnassa pyrittiin mahdollisimman suureen taivutuslujuuteen ja jäykkyyteen. Mitä jäykempi materiaali on käytettävissä, sitä kevyempiä rakenteita tuotteessa voidaan käyttää.

Monia ruiskuvalettavia muoveja on saatavilla myös kuitulujitettuna. Lujittamattomilla muovilaaduilla ei saavutettu tässä tuotteessa riittävää jäykkyyttä.

Taulukkoon 1 on listattu lujitettuja ja lujittamattomia ABS- ja PA6-muovilaatuja ja niiden mekaanisia ominaisuuksia. Tässä työssä laskennan pohjatietona käytettiin 17 p.% lasikuitulujitettua ABS-muovia, jonka murtolujuus on 73 MPa ja kimmomoduuli 4,6 GPa. Kimmomoduuli kuvaa materiaalin venyvyyttä tai taipuisuutta ja suurempi lukuarvo viittaa jäykempään materiaaliin.

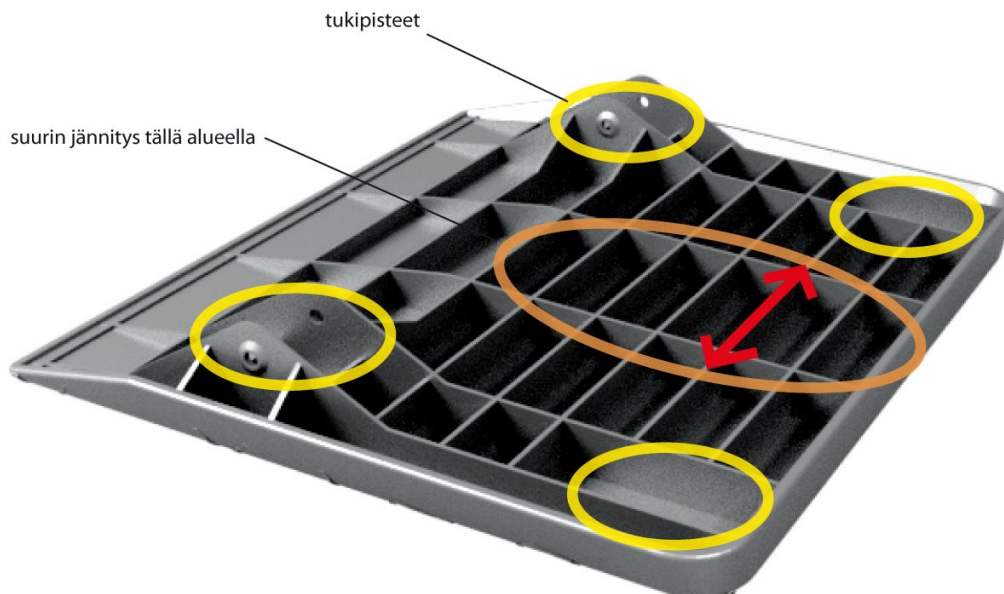
Taulukko 1. Lujitettuja ja lujittamattomia muovilaatuja ja niiden mekaanisia ominaisuuksia.

	murtovenymä [%]	murtolujuus [MPa]	kimmomoduuli [GPa]	
Akulon® GA-XLG6 PA6-GF30	3	170	7.92	(DSM Engineering Plastics, 2018a)
Akulon® K224-G3 PA6-GF15	3	125	4.82	(DSM Engineering Plastics, 2018b)
Akulon® K222-D PA6	4	85	2.29	(DSM Engineering Plastics, 2018c)
RONFALIN® ABS 1411 GF 30 ABS-GF30	1.3	81	6.97	(A. Schulman GmbH. 2018a)
RONFALIN® ABS 1412 GF 17 ABS-GF17	1.9	73	4.60	(A. Schulman GmbH. 2018b)
RONFALIN® ABS 1326 ABS	3.2	52	2.31	(A. Schulman GmbH. 2018c)

Taulukon 1 tietojen perusteella tuotteeseen olisi voitu valita rakennemateriaaliksi myös lasikuitulujitettu polyamidi. ABS:ää pidettiin tässä vaiheessa kuitenkin varmempana valintana sen ruiskuvaluominaisuuksien ja vähäisemmän vedenimeytymisen perusteella.

4.3 Testaus ja simulointi

Tuotteen kestävyyttä käyttötilanteessa arvioitiin tietokonemallinnuksella. Ohjelmistona käytettiin SolidWorksia, jossa kappaleelle määritettiin tukipisteet ja kuormittava voima. Tuloksia voidaan pitää suuntaa-antavina ja niistä voidaan päätellä, onko tuotteen toteutus mahdollista ja millä ehdoin.



Kuva 6. Jännitykset ja tukipisteet

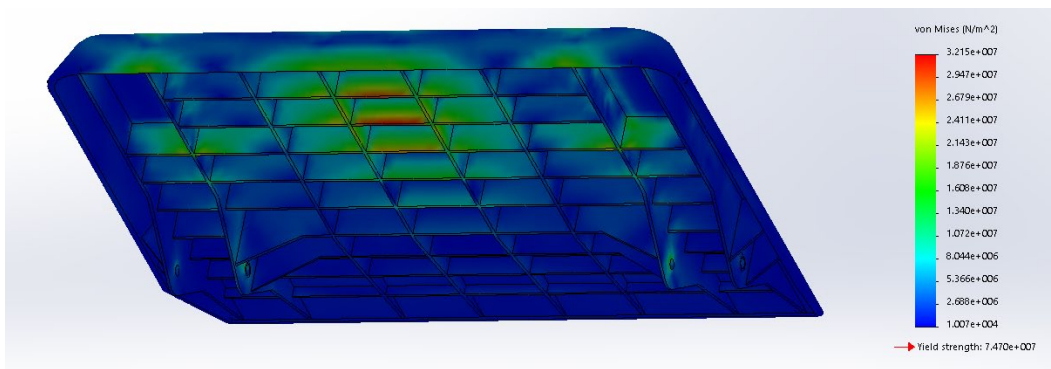
Kappaleessa on neljä tukipistettä: vastuskumit ja nivelet, joiden sijoittuminen kuvataan kuvassa 6. Lautaan kohdistettiin 2770 N:n testivoima 10 cm x 10 cm kokoiselle alueelle laudan keskialueella, kuvassa 7 osoitetussa paikassa.



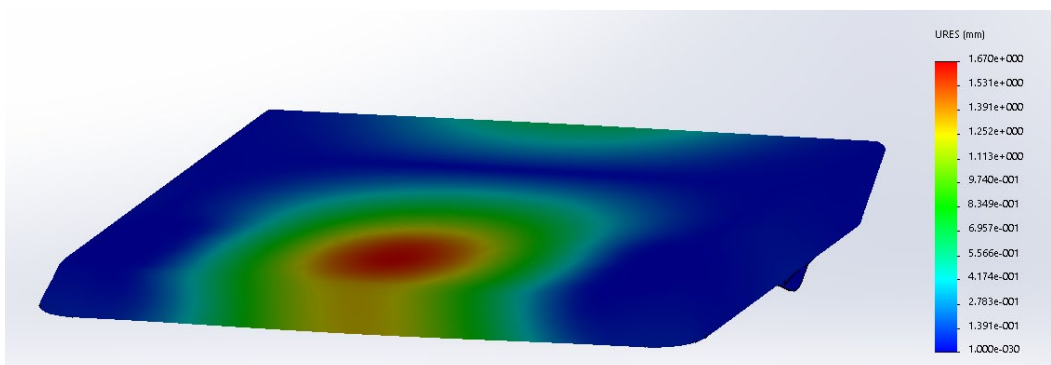
Kuva 7. Testivoiman kohdistuminen

Jännitys (σ_{vert}) laskettiin FEM-ohjelmistolla (SolidWorks), jolloin maksimijännitykseksi 2770 N:n kuormalla saatiin 32 MPa. Ruiskuvalettava ABS -muovi, jossa on 17 p. % lasikuituluji-tetta, on murtolujuudeltaan luvun 4.2 taulukon 1 mukaan 73 MPa.

Kappaleen jännityksiä kuormitettuna kuvataan kuvassa 8 ja muodonmuutosta samassa testijärjestelyssä kuvassa 9. Astinlauta taipuu koejärjestelyn mukaisessa tilanteessa kes-
kikohdaltaan 1,7 mm alemmas kuin täysin jäykkä ideaalikappale.



Kuva 8. Kappaleen jännitykset kuormitettuna. Maksimijännitys punaisella alueella n. 32 MPa.



Kuva 9. Taipuma

4.4 Varmuusluku

Varmuusluku lasketaan yhtälön (3) mukaan.

$$n = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma_{vert}} \quad (3),$$

missä n = varmuusluku, σ_{kr} = kriittinen jännitys ja σ_{vert} = laskennallinen jännitys. Staattisessa kuormituksessa varmuusluvun ohjearvo on välillä 1,2...4. Varmuusluvun minimiarvo riippuu tapauksesta ja laskentatuloksen tarkkuuteen vaikuttavat mm. valmistusmateriaalin anisotrooppisuus sekä kuormituksen suuruuden ja suunnan arviointivirheet. Varmuuslu-

vun suuruuden määrittämiseen ei ole yksiselitteistä ohjetta. (Ranta, A., Björk ym. 2014, s. 43.) Valtanen (2013) antaa varmuusluvun ohjeavoksi sitkeillä materiaaleilla 1,3...1,8 ja haurailta materiaaleilla 1,8...3.

Varmuusluvun laskennalla varmistetaan, että tuote kestää sille suunnitellun kuormituksen. Varmuusluku kannattaa pitää mahdollisimman pienenä, jolloin tuotteesta voidaan tehdä mahdollisimman kevyt mutta riittävän kestävä. Tässä tuotteessa kappaleen paino ei ole rajoittava tekijä käytön kannalta, mutta suurempi materiaalinkulutus lisää valmistuskustannuksia. Seinämänpaksuus optimoidaan siten, että seinämistä tehdään mahdollisimman ohuet, jolloin tuotteen jäähdytys ruiskuvalussa on nopeampaa. Ruiskuvalujakson pituus vaikuttaa myös merkittäväällä tavalla valmistuskustannuksiin.

Lautaan kohdistuu tykyttävä vaihtokuormitus. Kuormitustaaajuus jää tässä tuotteessa pieneksi, arviolta alle 0,7 Hz lähes kaikissa harjoitteissa. Kuormitusjaksot ovat vaihtelevia, lyhytkestoisia ja epäsäännöllisiä. Laudan lujuuslaskennassa jännityksiä käsitellään näistä syistä staattisena kuormana. Vaihtokuormituksen vaikutus otetaan kuitenkin huomioon sopivan varmuusluvun arvioinnissa.

Laudan murtuminen ei todennäköisesti johda käyttäjän loukkaantumiseen. Laudan rakenteen murtuminen tai myötäminen käytön aikana ei johda käyttäjän kannalta merkittävästi erilaiseen liikkeeseen. Metallinen tukirakenne ottaa kuormituksen vastaan, jolloin käyttäjän kokema ylimääräinen liike on arviolta välillä 2...10 mm.

Riittävä varmuusluku on arviolta välillä 1,9...2,1. Arvion perusteina ovat edellä mainituin perustein seuraavat tekijät:

- kuormitusnopeus käytön aikana
- vaihtokuormitus käytön aikana
- valmistusmateriaalin anisotrooppisuus
- valmistusmateriaalin lujuusarvojen epätarkkuus
- pieni henkilövahingon todennäköisyys rikkoutumistilanteessa.

Varmuusluvuksi tuli edellisessä kappaleessa lasketuilla lujuusarvoilla 2,2 alaspäin pyöristettynä, kun materiaalin paksuus oli 6 mm ja jäykisteripojen paksuus 3 mm. Varmuusluku on siis tämän arvion perusteella riittävä.

4.5 Valmistuskustannukset

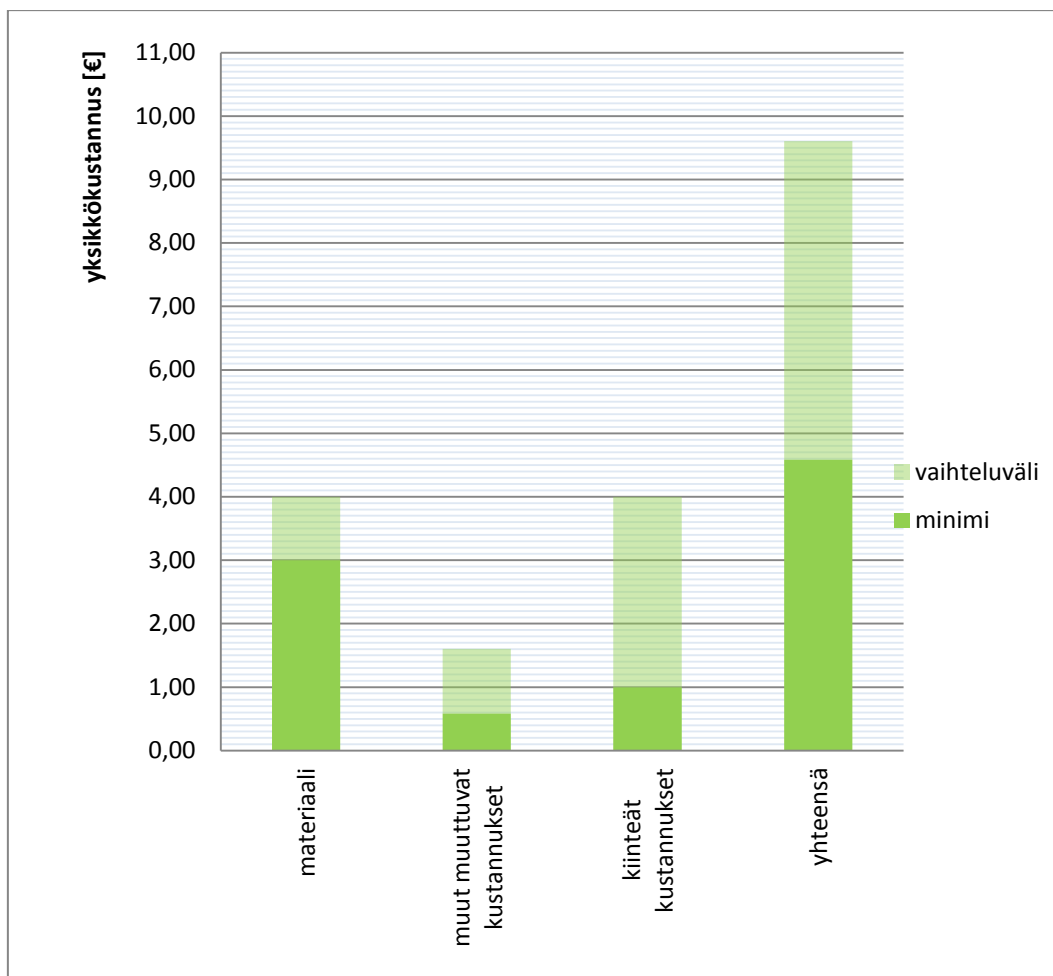
Valmistuskustannuksia arvioitiin taulukkolaskentatyökaluilla. Laskelman lähtöarvoina on opinnäytetyön tekijän arvioita alan yleisestä kustannustasosta. Lähtöarvot ovat eriteltyinä taulukossa 2. Arviot perustuvat opinnäytetyön tekijän henkilökohtaiseen kokemukseen ja asiantuntemukseen suomalaisista muovialan yrityksistä tämän opinnäytetyön tekemisen

aikaan. Jaksonajan arvio perustuu ruiskuvalutapahtuman simulointiin. Arvioissa käytettiin suurta epätarkkuusalueita, jolloin tätä laskelmaa voidaan käyttää lähinnä suunta-antavana suuruusluokka-arviona.

Taulukko 2. Kustannuslaskelman laadinnassa käytetyt arviot eri kustannusosatekijöiden vaihteluväleistä.

	tuotantomäärä [kpl]	työn hinta [€/h]	muuttuvat kustannukset			kiint. kust.	
			jaksonaika (rv) [s]	muut työvaiheet [s/kpl]	materiaalit [€/kpl]	muotin hinta [€]	muut kulut [€]
min.	25 000	35	55	5	3	50000	0
maks.	50 000	55	75	30	4	100000	0

Kuviossa 1 kuvataan graafisesti yksikkökustannusten muodostumista edellä mainittujen lähtöarvojen perusteella. Kuvaajan vaalea alue kuvaa yksikkökustannusten vaihteluväliä. Pylvään alaosa kuvaa optimaalista tilannetta, jossa yksikkökustannukset on saatu minimoitua.



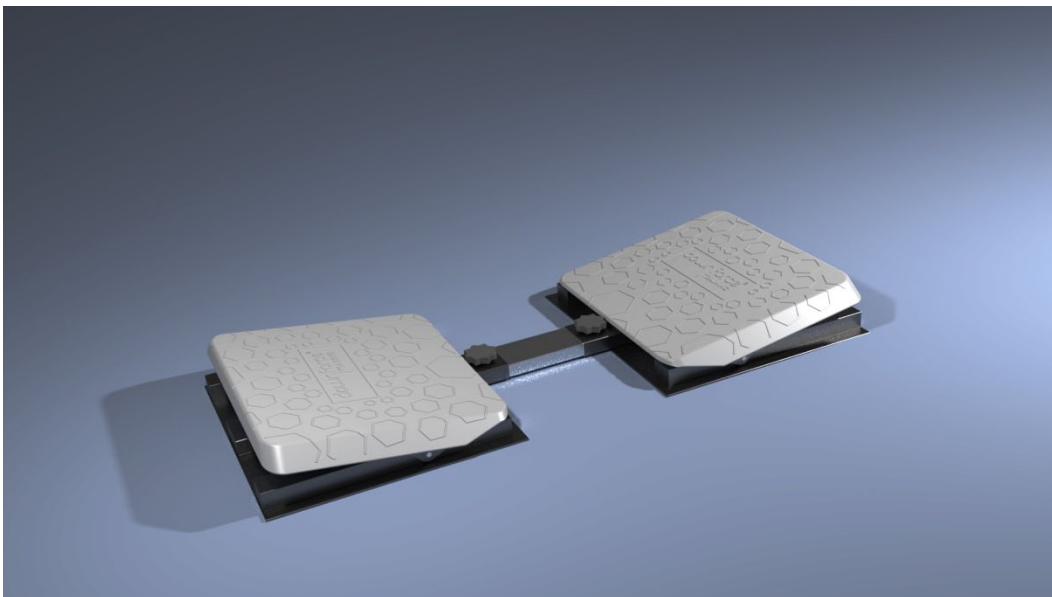
Kuvio 1. Kustannustekijöiden vaikutus tuotteen yksikkökustannuksiin.

Laskelmasta voidaan päätellä tuotteen vähimmäisvalmistuskustannukseksi muodostuvan 4,58 euroa kappaleelta ja enimmäiskustannukseksi 9,60 euroa kappaleelta. Tarkemman arvion laatiminen on tarvittaessa mahdollista myöhemmin esimerkiksi muotin valmistajien tarjousten ja markkinatutkimuksen perusteella.

Kuitulujitettu raakamateriaali on kalliimpaa kuin lujittamaton. Lujitteet myös kuluttavat ruis-kuvalumuottia, mikä saattaa nostaa muotin valmistuskustannuksia. Tämä korostuu etenkin sarjakoossa kasvaessa.

4.6 Viimeistely tuote ja ulkonäkö

Kuva 10 esittää tässä opinnäytetyössä suunnitellun osan siten, kuin se asettuu kokoonpanoon. Tässä työssä osa on harmaana, mutta materiaalia voi värjätä jos se koetaan tarpeelliseksi.



Kuva 10. Havainnekuva lopputuotteesta. Tässä opinnäytetyössä suunniteltu osa esitetty harmaana.

Pintakuvioinnilla on kolme pääasiallista funktiota: kitka, ulkonäkö ja brändi. Pintakuvio estää käyttäjän jalan liukumista pinnalla, joka voi olla märkä käytön aikana. Kuvioitu pinta piilottaa pieniä pinnan epätasaisuuksia, joita voi aiheutua kuitulujitetun materiaalin ominaisuuksista tai luvussa 4.1.1 mainituista imuista. Brändillä tarkoitetaan tässä mahdollisuutta liittää tuotteeseen näkyvälle paikalle yrityksen tai tuotteen logo tai muu tunniste.

Astinlaudan voimakkaasti viistetyt sivut ja pyöristetyt kulmat luovat tuotteelle visuaalista ilmettä. Sivujen kaltevuus helpottaa myös kappaleen ulostyöntöä ja päästön toteuttamista osan reuna-alueilla.

5 YHTEENVETO

Tuotekehityksessä ja -muotoilussa ratkaistaan usein ongelmia, joissa on useita toisiinsa vaikuttavia ja ristiriitaisiakin muuttujia. Valmistuskustannukset, mekaaniset ominaisuudet ja tuotteen ulkonäkö voivat olla keskenään hyvinkin monimutkaisessa vuorovaikutuksessa. Kaikkia muuttujia ei välttämättä pystytä kuvaamaan samoilla suureilla; valmistuskustannuksia mitataan euroissa, mutta miten arvotetaan tuotteen ulkonäköä tai kestävyyttä?

Tässä opinnäytetyössä kuvatussa tuotesuunnittelutyössä korostui tuotteelta vaadittujen ominaisuuksien vuorovaikutussuhde. Ruiskuvalutuotteelle suuret lujuus- ja jäykkyysvaatimukset ja valmistustekniset vaatimukset olivat suunnittelutyötä voimakkaimmin ohjaavia haasteita. Rakenteen ja materiaalin määrittely oli välttämätöntä tehdä mekaanisten ominaisuuksien perusteella, jolloin tuotteen valmistuskustannukset nousivat. Toisaalta esimerkiksi tuotteen ulkonäköön liittyviä seikkoja ei voitu täysin ohittaa, sillä tuote on tarkoitettu kuluttajamarkkinoille.

Mekaanisesti riittävän kestävä laudan valmistaminen on tässä opinnäytetyössä kuvatuin perustein mahdollista. Tuotteen valmistuksessa on kuitenkin suuria haasteita ja riskejä, kuten valmistajan löytäminen: laudan poikkipinta-ala on ruiskuvalutuotteeksi suuri ja riittävän sulkuvoiman tuottavia koneita on vain harvoilla valmistajilla. Tuotteen todellinen toteuttamispotentiaali riippuu monista muistakin tekijöistä, joita tässä työssä ei voitu riittävästi tarkkuudella käsitellä. Toimeksiantajan kannalta taloudellinen kannattavuus on oleellista ja sen arvioinnissa tarvitaan mm. tietoa markkinatilanteesta ja arvio uuden tuotevariantin tuottamasta lisäarvosta.

LÄHTEET

Backup Sport Finland Oy. 2016. Yritys [viitattu 20.2.2017]. Backup Sport Finland Oy.

Saatavissa: <http://downforcetraining.com/yritys/?lang=fi>

Björk, T, Hautala, P., Huhtala, K., Kivioja, S., Kleimola, M., Lavi, M., Martikka, H., Miettinen, J., Ranta, A., Rinkinen, J., Salonen, P. 2014. Koneenosien suunnittelu, s. 43. Sanoma Pro Oy. Helsinki.

Järvelä, P., Syrjälä, K., Vastela, M. 2000. Ruiskuvalu. Plastdata Oy. Tampere.

Laitinen, K., 2017a. Puhelinkeskustelu. 27.2.2017

Laitinen, K., 2017b. Tapaaminen. 21.3.2017

Laitinen, K., 2017c. Tapaaminen. 8.5.2017

Valtanen, E., 2013. Matemaattisia kaavoja ja taulukoita, s. 303. Genesis-kirjat Oy. Keuruu.

SFS-EN 913:2009 Voimisteluvälineet. Yleiset turvallisuusvaatimukset ja testausmenetelmät. Suomen standardoimisliitto SFS ry. Helsinki.

DSM Engineering Plastics. 2018a. Akulon® GA-XLG6 datasheet [viitattu 26.6.2018].

CAMPUS, CWFG mbH. Frankfurt am Main, 2018. Saatavissa:

<https://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/Akulon%C2%AE+GA-XLG6/DSM/50/a2c61c88/SI?pos>

DSM Engineering Plastics. 2018b. Akulon® K224-G3 datasheet [viitattu 26.6.2018].

CAMPUS, CWFG mbH. Frankfurt am Main, 2018. Saatavissa:

<https://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/Akulon%C2%AE+K224-G3/DSM/50/d2c29c3c/SI?pos>

DSM Engineering Plastics. 2018c. Akulon® K222-D datasheet [viitattu 26.6.2018].

CAMPUS, CWFG mbH. Frankfurt am Main, 2018. Saatavissa:

<https://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/Akulon%C2%AE+K222-D/DSM/50/d3adcd87/SI?pos>

A. Schulman GmbH. 2018a. RONFALIN® ABS 1411 GF 30 datasheet [viitattu 26.6.2018].

CAMPUS, CWFG mbH. Frankfurt am Main, 2018. Saatavissa:

<https://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/RONFALIN%C2%AE+ABS+1411+GF+30/A%252E+Schulman/1/924c2d18/SI?pos>

A. Schulman GmbH. 2018b. RONFALIN® ABS 1412 GF 17 datasheet [viitattu 26.6.2018].

CAMPUS, CWFG mbH. Frankfurt am Main, 2018. Saatavissa:

<https://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/RONFALIN%C2%AE+ABS+1412+GF+17/A%252E+Schulman/1/274da24c/SI?pos>

A. Schulman GmbH. 2018c. RONFALIN® ABS 1326 datasheet [viitattu 26.6.2018].

CAMPUS, CWFG mbH. Frankfurt am Main, 2018. Saatavissa:

<https://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/RONFALIN%C2%AE+ABS+1326/A%252E+Schulman/1/4dbdefc2/SI?pos>