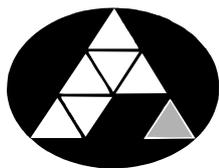


POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Muovitekniikan koulutusohjelma

Ville Heiskanen

KOMPOSIITTIRAKENTEISEN VENTTIILIN SUUNNITTELU

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2012



POHJOIS-KARJALAN  
AMMATIKORKEAKOULU

**OPINNÄYTETYÖ**  
**Toukokuu 2012**  
**Muovitekniikan koulutusohjelma**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
p. (013) 260 6800

**Tekijä(t)**  
Ville Heiskanen

**Nimeke**  
Komposiittirakenteisen venttiilin suunnittelu

**Toimeksiantaja**  
Samplastic Oy

**Tiivistelmä**

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli suunnitella Samplastic Installation Oy:lle muovi-komposiittirakenteinen 3-suuntainen venttiili, joka ohjaa kahta pumppua. Venttiin tulee kestää suurta painetta ja kulutusta. Tuotteen suunnittelun lähtökohtana oli vastaavanlainen metallista tehty venttiili. Venttiin valmistuksesta haluttiin yksinkertaisempi ja kustannuksiltaan edullisempi.

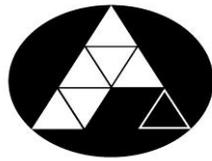
Venttiili oli tarkoitus valmistaa alipaineinjektiolla. Seinämärakenteessa käytettiin lasikuitumaton lisäksi tasavaltaista lasikuitukudosta paikallisina vahvikkeina. Suunnittelussa käytettiin apuna lujuuslaskentaohjelmistoa, jolla tuote saatiin optimoitua mahdollisimman paineenkestäväksi ja kustannustehokkaaksi.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin valmiit 3d-mallit, joilla testimuotit tullaan valmistamaan. Tuotteen geometria ja seinämärakenne saatiin optimoitua, mutta seinämärakenne ja erityisesti tarvittava ainepaksuus kasvoi odotettua suuremmaksi.

**Kieli**  
suomi

Sivuja 51  
Liitteet 6  
Liitesivumäärä 12

**Asiasanat**  
Komposiitti, lujuuslaskenta, seinämärakenteiden optimointi



NORTH KARELIA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

**THESIS**  
**May 2012**  
**Degree Programme in Plastics**  
**Engineering**

Karjalankatu 3  
FIN 80200 JOENSUU  
FINLAND  
Tel. 358-13-260 6800

Author  
Ville Heiskanen

Title  
Designing a 3-Way Valve made of Plastic Composites

Commissioned by  
Samplastics Ltd

Abstract

The goal of this thesis was to design a 3-way plastic composite valve which controls two pumps. This thesis was commissioned by Samplastic Installation Ltd. The valve must withstand pressure and wear. The product design was based on a similar kind of metal valve. The goal was to make the manufacturing of the valve simpler and more cost effective.

The valve was intended to be manufactured by vacuum infusion. The wall structure was made of glass fiber mat and woven glass fiber. Woven glass fiber was used when reinforcement was needed. The structural analysis software was used to simplify the designing process. This helped to reach the best resistance to abrasion and the most cost-effective solution.

This thesis resulted in the complete 3D models, which will be used to manufacture test molds. The geometry of the valve and the wall structure were optimized, however the wall structure and especially the required wall thickness was more than expected.

Language  
Finnish

Pages 51  
Appendices 6  
Pages of Appendices 12

Keywords

Composite, strength calculation, optimization

TIIVISTELMÄ	
ABSTRACT	
1 JOHDANTO .....	5
1.1 Samplastic Installation Oy.....	5
1.2 Opinnäytetyön esittely.....	5
2 MUOVIKOMPOSIITTITUOTTEEN SUUNNITTELU .....	7
2.1 Rakennesuunnittelu .....	8
2.1.1 Vaatimusten määrittely.....	8
2.1.2 Esisuunnittelu .....	8
2.1.3 Varsinainen suunnittelu .....	9
2.1.4 Kelpuutus.....	9
2.2 Viranomaisten asettamat vaatimukset .....	9
2.3 Liitokset.....	10
2.3.1 Mekaaniset liitokset.....	10
2.3.2 Liimaliitokset.....	12
3 SEINÄMÄRAKENTEEN OPTIMOINTI .....	14
3.1 Lujitteet.....	14
3.2 Muovimatriisi .....	15
3.3 Täyteaineet .....	16
3.3 Ydinaineet.....	17
3.3.1 Kennot .....	17
3.3.2 Vaahdot.....	17
3.4 Kerrosrakenteet.....	18
3.5 Paikalliset vahvikkeet.....	19
3.6 Kuitusuuntaukset .....	20
4 VENTTIILIN SUUNNITTELU.....	21
4.1 Määrittely .....	21
4.2 Esisuunnittelu .....	23
4.3 Suunnitteluprosessi.....	24
4.3.1 Määrittely ANSYS-ohjelmassa.....	25
4.3.2 Kuormat ja tuennat ANSYS-ohjelmassa .....	25
4.3.3 Materiaalitiedot.....	25
4.3.4 Venttiilin yläosan suunnittelu.....	26
4.3.5 Venttiilin alaosan suunnittelu .....	29
4.3.6 Venttiilin sisäpuolen suunnittelu .....	34
4.4 Pintavirheen korjaus .....	35
4.5 Päästöjen tarkastus.....	37
4.6 Venttiilin seinämärakenteen optimointi .....	38
4.6.1 Yläosan seinämärakenteet .....	39
4.6.2 Alaosan seinämärakenteet .....	39
4.7 Seinämärakenteiden uudelleen optimointi .....	40
4.7.1 Yläosan uudelleen optimointi.....	40
4.7.2 Alaosan uudelleen optimointi.....	43
4.8 Pulttiliitosten ja ripustusten mitoitus .....	45
4.9 Kelpuutus.....	47
4.8.2 Mahdolliset kelpuutusmenetelmät.....	48
5 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	49
LÄHTEET.....	51
LIITTEET	

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Samplastic Installation Oy

Opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona Kuopiossa toimivalle Samplastic Installation Oy:lle. Samplasticin toimialana on mm. muovituotteiden jatkojalostus, asennus ja huolto. Samplastic on kuitenkin pääasiassa muovialan yritys, joka on keskittynyt teollisuuden tarvitsemiin putkistorakenteisiin. Samplastic valmistaa ja huoltaa teollisuuden tarvitsemia muoviputkistoja. Yritys valmistaa myös muita teollisuuden tarvitsemia muoviosia, kuten suojakoteloita. Samplastic Oy:ssä työskentelee yhdestä neljään henkilöä ja sen liikevaihto on 0,4–1,0 milj €.

## 1.2 Opinnäytetyön esittely

Opinnäytetyön tarkoitus oli suunnitella komposiittirakenteinen 3-suuntainen venttiili teollisuuden käyttöön. Suunniteltavan tuotteen lähtökohtana oli vastaavanlainen venttiili, joka oli tehty metallista. Venttiiliin liitetään kaksi erillistä pumppua, jotka voivat pumpata joko yhtä aikaa tai vuorotellen. Venttiilin yksi käyttötarkoituksista on pumpata lietettä kaivoksilla, jolloin venttiiliin tulee kestävä suurta kulutusta.

Tuotteesta piti saada edullinen ja pienillä alkukustannuksilla valmistettava. Tuotteen geometriasta piti saada optimaalinen toiminnan ja paineen keston kannalta. Jotta tuote olisi valmistettavissa ja tuotteesta tulisi helposti huollettava ja pitkäikäinen, tuote tehdään useammasta osasta, jotka liitetään toisiinsa ruuviliitoksilla. Venttiilin sisäpinnat kumitetaan, jotta saadaan mahdollisimman tiivis ja kulutuksenkestävä sisäpinta. Sisällä olevan pallon tarkoitus on tukkia venttiilin toisen pumpun tuloputki, jotta pumpattava neste ohjautuu lähtöputkeen.

Suunnittelun apuna käytettiin ANSYS-lujuuslaskentaohjelmaa, joka mahdollisti tarkan seinämärakenteen optimoimisen. Mahdolliseksi ongelmakohtaksi arvioitiin kiinnikkeiden kestävyys, sekä suuren paineen aiheuttamat rasitukset tuotteen seinämissä. Lisäksi

mahdolliseksi ongelmakohdaksi arvioitiin pallon liike venttiilin sisällä, koska pallo ei saa tukkia ylintä lähtöputkea. Jotta venttiili kestäisi teollisuuden vaativat olosuhteet, venttiili päätettiin mitoittaa niin, että se kestäisi kymmenen baarin ylipaineen.

Tavoitteena oli suunnitella toimiva venttiili yritykselle, saada optimoitua tuotteen seinämärakenteet ja tehdä saadulle geometrialle viranomaisten vaatimat lujuustarkastelut. Tuote suunnitellaan muovikomposiitista, koska tuotetta haluttiin tehdä yksinkertaisella ja kustannustehokkaalla valmistusmenetelmällä. Työ rajattiin muovikomposiittituotteen suunnitteluprosessiin ja seinämärakenteiden optimoimiseen. Yrityksen on myöhemmin tarkoitus tehdä tämän suunnittelun pohjalta tuoteperhe, jossa on useita eri kokoluokan venttiileitä.

## 2 MUOVIKOMPOSIITTITUOTTEEN SUUNNITTELU

Komposiittituotteen suunnittelu koostuu rakennesuunnittelusta ja materiaalivalinnasta. Tuotteen suunnitteluun vaikuttavat muun muassa tuotteelle halutut ominaisuudet, tuotteen käytön asettamat vaatimukset, käytettävissä olevat valmistusmenetelmät ja valmistuskustannukset. [1, s. 23; 1, s. 31.]

Tuotesuunnittelua hankaloittaa monesti vaihtoehtojen suuri määrä. Vaihtoehtoja on lähes jokaisessa suunnitteluvaiheessa. Näitä ovat muun muassa materiaalivaihtoehtojen suuri määrä, materiaalien suuntausmahdollisuus sekä ominaisuuksien voimakas riippuvuus valmistustekniikasta. Myös tuotteen muotoilu asettaa omat rajoituksensa ja antaa mahdollisuudet tuotesuunnittelulle. [1, s. 31.]

Muovikomposiittituotteen suunnittelu poikkeaa metallisten tuotteiden suunnittelusta huomattavasti. Muovikomposiitti materiaalina ei ole isotrooppinen, joten kuitujen suunnat vaikuttavat niin lujuuteen kuin valmistettavuuteenkin. Komposiittituotteita valmistessa materiaalien lujuusarvot saattavat poiketa huomattavasti, ja eri valmistusmenetelmät aiheuttavat epävarmuutta rakenteeseen. Tästä syystä muovikomposiittituotteita suunniteltaessa joudutaan käyttämään suuria varmuuskertoimia.

Muovikomposiitit antavat kuitenkin myös mahdollisuuksia, joita ei metallirakenteilla voida toteuttaa. Näitä ovat muun muassa paikalliset vahvistukset, kuitujen asettaminen kuormitussuuntiin sekä mahdollisuus tehdä tuotteen geometriasta monimutkaisempia. Lisäksi alkukustannukset muovikomposiittituotteiden valmistuksessa ovat pieniä verrattuna metallituotteiden valmistuskustannuksiin.

## **2.1 Rakennesuunnittelu**

Rakennesuunnitteluprosessi voidaan jakaa neljään eri vaiheeseen: vaatimusten määrittely, esisuunnittelu, varsinainen suunnittelu ja kelpuutus. Vaatimusmäärittelyssä tuotteelle asetetaan yleiset vaatimukset. Nämä voivat liittyä tuotteen muotoon, käyttöominaisuuksiin, hintaan ja kokoon. Vaatimusmäärittelyjen jälkeen tuote esisuunnitellaan. Tässä vaiheessa määritellään tuotteen valmistettavuuden ja toiminnan kannalta oleelliset asiat, kuten muotoilu, valmistusprosessin valinta, materiaalivalinnat, kuormitustarkastelut, yms. Varsinaisessa suunnittelussa määritellään tuotteen lopulliset mitat ja muodot sekä laminaattien kerrosrakenteet. Suunnittelun apuna voidaan käyttää lujuuslaskentaohjelmia, jotka kertovat tuotteen heikoimmat kohdat. Tässä vaiheessa voidaan vielä varsin helposti muuttaa geometrian muotoja siten, että tuotteesta tulee kestävämpi. Kelpuutuksessa tarkastellaan rakenteen todellisia ominaisuuksia. Tähän voivat kuulua muun muassa lujuusarvojen kokeellinen testaus, rakenteiden lujuusanalyysit sekä käyttökokeet. [1, s. 31.]

### **2.1.1 Vaatimusten määrittely**

Vaatimusten määrittelyssä määritetään tuotteen toimivuuden kannalta oleellisimmat asiat. Näitä voivat olla muun muassa tuotteen koko, muoto ja käyttöominaisuudet. Ennen suunnittelua täytyy tietää, mitä kuormia tuotteeseen kohdistuu. Mikäli kuormia ei tunneta entuudestaan, täytyy ne määrittää kokeellisesti tai laskemalla. Staattisten kuormien määrittely on usein helppoa. Kuormien lisäksi laskennassa tulee ottaa huomioon kuormien vaikutusaika. Jos kuormituksen vaikutus loppuu ja alkaa uudelleen, aiheuttaa tämä kappaleeseen väsymistä, joka heikentää rakennetta. [1, s. 33.]

### **2.1.2 Esisuunnittelu**

Esisuunnittelussa määritellään tuotteen valmistusmenetelmä ja materiaalit. Materiaalit kuitenkin voivat vaihtua suunnitteluprosessin aikana, jos valituilla materiaaleilla ei



päästä riittävän hyvään rakenteeseen. [1, s.31.] Materiaalin ja valmistusmenetelmän valintaa on käyty työn myöhäisemmässä osiossa tarkemmin läpi.

Tuotteen alustava muoto määritellään esisuunnittelussa. Tuotteen toimivuuden kannalta on suunniteltava oleelliset muodot ja mitoitukset. Esisuunnittelussa voidaan pohtia myös eri vaihtoehtoja tuotteen geometrialle. [1, s. 31; 2, s. 367.]

### **2.1.3 Varsinainen suunnittelu**

Varsinaisessa suunnittelussa määritetään lopulliset rakenteen mitat ja muodot. Varsinaisen suunnitteluosion tuloksena saadaan laminaattirakenteet ja viranomaisten vaatimat lujuustarkastelut. Lisäksi määritellään tuotteen lopulliset mitat ja muodot. Suunnitteluosion tulokset tulee dokumentoida hyvin ja selkeästi. Dokumenteista tulisi selvittää ainakin rakenteen geometria, seinämärakenteet ja lujuustarkastelut. [1, s. 31; 2, s. 367.]

### **2.1.4 Kelpuutus**

Kelpuutusosiossa käydään läpi rakenteen turvallisuuteen liittyviä asioita. Varmistutaan siitä, että viranomaisten vaatimat varmuuskertoimet täyttyvät. Kelpuutuksessa varmistetaan lujuuslaskennassa käytettyjen materiaaliarvojen paikkansapitävyys. Lisäksi tehdään rakenteelle lujuusanalyysit sekä määritetään rakenteen yksityiskohtien kokeet, joita ovat muun muassa erilaiset lujuus-, väsymis-, isku- ja värähtelykokeet, sekä tarkastellaan rakenteen toimivuutta. [1, s. 31.]

## **2.2 Viranomaisten asettamat vaatimukset**

Tuotteiden käyttöturvallisuuden varmistamiseksi viranomaiset määrittelevät eri tuoteryhmille hyvinkin tarkkoja vaatimuksia. Näitä vaatimuksia voivat olla tuotteen mitoituskuormat, käytettävät materiaalit, mitoitus- ja valmistusmenetelmät sekä laadun-

varmistus. Tyypillisiä sovellusalueita, joissa viranomaiset ohjaavat komposiittituotteiden käyttöturvallisuutta, ovat muun muassa erilaiset paineastiat, veneet, laivat ja lentokoneet. [1, s. 34.] Paineastioille standardit asettavat suuria varmuuskertoimia. Paineastioissa käytetään jopa varmuuskerrointa kymmenen. [3.]

## **2.3 Liitokset**

Komposiittien liitostavat jaetaan kahteen pääryhmään, joita ovat mekaaniset liitokset ja liimaliitokset. Mahdolliset liitokset tulisi valita tuotteen käyttötarkoituksen, olosuhteiden ja hinnan perusteella. Mekaanista liitosta pyritään käyttämään, kun vaaditaan purkumahdollisuutta, tarkastettavuutta ja toimintavarmuutta. Liimaliitoksia puolestaan käytetään kun vaaditaan tiiviyyttä ja keveyttä. [2, s. 380.]

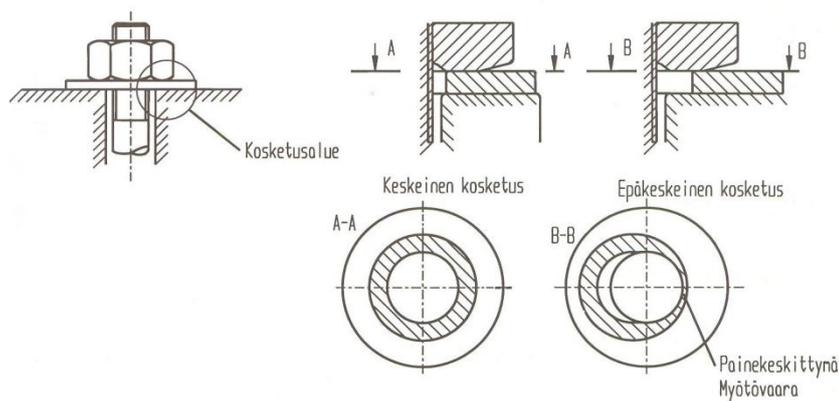
Mekaaniset liitokset aiheuttavat paikallisia jännityshuippuja, kun puolestaan liimaliitoksilla on tasainen jännitysjakauma. Tuotesuunnittelussa tulee ottaa huomioon mekaanisissa liitoksissa ulkonevat liitososat. [2, s. 380.]

### **2.3.1 Mekaaniset liitokset**

Liitosgeometrialla (reikäkoko, liittimien etäisyydet toisistaan ja reunoista) on vaikutuksensa liitoksen kestävyys ja pettämismekanismeihin. Lisäksi liitosten kriittinen pettämistapa riippuu lujitemuovissa käytettävistä materiaaleista ja kuitujen suunnista. Mekaaniset liitokset ovat yleensä pultti-, ruuvi- tai niittiliitoksia. Pulttiliitoksilla on yleisesti parempi kuormankantokyky kuin muilla mekaanisilla liitoksilla. Pulttiliitokset ovat uudelleen kasattavissa olevia liitoksia, kun taas niittiliitokset eivät ole. Liitokset suunnitellaan siten, että lujuudet ovat riittävät sekä pituus- että poikittaissuunnassa. Pulttiliitoksissa käytetään aina aluslevyjä, koska laminaattien paksuussuuntainen lujuus on alhainen. Aluslevyt jakavat jännitykset tasaisemmalle alueelle. Jännityksiä saadaan myös tasoitettua tekemällä pultin ja laminaatin väliset reiät tiukoiksi. Toleranssit eivät saa kuitenkaan olla niin pienet, että pultti ei mahdu reiästä ja riko laminaattia. Pulttien kiris-

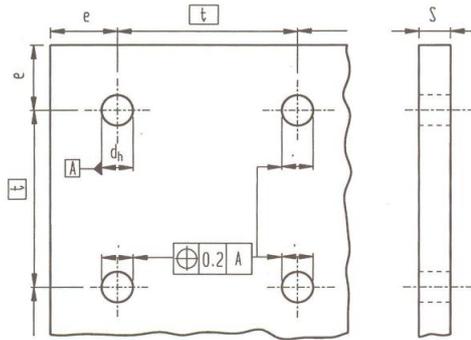
tys tulee valita siten, että liitosvoima on riittävä laminaatin kiristämiseen, mutta laminaatti ei vaurioidu. [1, s. 45.]

Aluslevyjä mitoittaessa tulee huomioida aluslevyn paikka suhteessa reikään tai pulttiin. Jos aluslevy on epäkeskeisesti kosketuksessa pulttiin ja laminaattiin, aiheuttaa se jännityskeskittymiä. Aluslevyn sisähalkaisijan koko tulee valita siten, että tällaista tilannetta ei pääse syntymään, tai riski siihen on pieni (kuva 1). Reiän koko tulee olla myös tiukka, jotta jännityskeskittymiltä vältytään.



Kuva 1. Ruuviliitoksesta tulee epäluotettava, jos ruuvi tai mutteri voi asettua epäkeskeisesti liitososan tai aluslaatan reikään nähden [4].

Sallitut reunaetäisyydet ja ruuvijaot näkyvät kuvasta 2. Kuva 2 esittää metalliliitosten geometriaa, mutta on sovellettavissa myös muovikomposiiteille. Suurin sallittu reunaetäisyys on kuusi kertaa seinämänpaksuus ja pienin reunaetäisyys 1,5 kertaa reiän halkaisija. [4, s. 55, 5.]

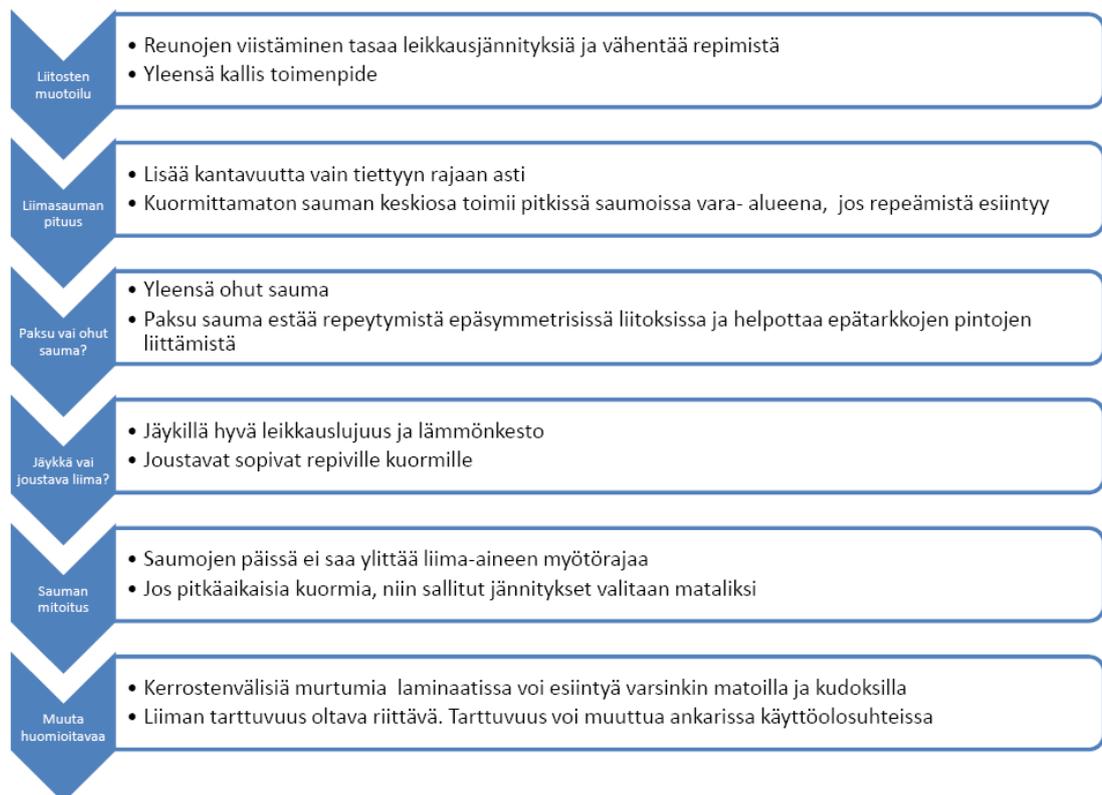


Kuva 2. Ruuvijako  $t$  ja reunaetäisyys  $e$ . Vapaareikien paikkatoleranssi: 0,2 mm (hieno), 0,4 mm (keski) [4, s. 55].

### 2.3.2 Liimaliitokset

Liimasaumaa suunniteltaessa on huomioitava useita tekijöitä. Huomioon otettavia tekijöitä suunnittelussa ovat muun muassa tuotteen käyttötarkoitus, hinnoittelu ja elinkaari.

Kuviossa 1 on esitelty huomioon otettavia asioita liimaliitoksia suunniteltaessa.



Kuviossa 1. Liimaliitosten valinta. [1, s. 60].

Liimasaumassa on aina epätasainen leikkausjännitys jakauma. Liimasaumojen leikkausjännitys jakaumaa voidaan kuitenkin tasoittaa liitettävien levyjen viistämisellä. Saumojen muotoilu on tosin yleensä kallista.

Liimasauman pituus lisää kantavuutta vain tiettyyn rajaan saakka. Pitkässä liitoksessa sauman keskiosa kuitenkin toimii vara-alueena, jos repeilemistä esiintyy. Liimasauma mitoitetaan siten, että leikkausjännitys sauman päissä ei ylitä liima-aineen myötörajaa. Mikäli liimasaumojen tulee kantaa suuria kuormia, on syytä varmistaa liitoksen kestävyys mekaanisilla liitoksilla. Liimaus asettaa vaatimuksia työoloille. Onkin huolehdittava riittävästä työilman tuuletuksista ja suojarusteista. [1, s. 60.]

### 3 SEINÄMÄRAKENTEEN OPTIMOINTI

Seinämärakennetta voidaan optimoida erilaisilla kuiduilla, lujitetyypeillä, hartseilla ja kerroslevyrakenteilla. Optimoinnista haastavan tekee materiaalien suuri valikoima ja suuntausmahdollisuudet. Lisäksi valmistusmenetelmät asettavat rajoituksia käytettäviin lujitteisiin.

#### 3.1 Lujitteet

Lähtökohtana muovikomposiittituotteelle voisi pitää edullisen hinnan takia lasikuitumattoa ja polyesterihartsia. Jos näillä materiaaleilla ei kuitenkaan päästä haluttuun lujuuteen, voidaan valita jokin muu materiaalivaihtoehto. [1, s. 27.]

Lujitteita valittaessa tulee ottaa huomioon kuormitustapa ja valmistusmenetelmä. Kuviossa 2 nähdään, mikä valmistusmenetelmä sopii millekin lujitetyypille.

Valmistusmenetelmä	Lujite
Käsinlaminointi	Katkokuitumatto, kudos
Ruiskulaminointi	Roving
Injektointi	Katkokuitumatto, kudos, Jatkovakuituinen matto, moniaksaali lujite
Kelaus	Roving, kudos, katkokuitumatto, pintahuopa
Puristus	Jatkovakuituinen matto, kudos
Pultrusio	Roving, katkokuitumatto, kudos, pintahuopa
RIM	Katkokuitulasi, jauhettu lasi

Kuvio 2. Valmistusmenetelmät ja lujitetyypit.

Kuormitustapa vaikuttaa suuresti siihen, mitä lujitteita tulisi valita. Yksiaksaalisissa kuormitustilanteissa lujitteet on pyrittävä suuntaamaan pääkuormitussuuntaan. Lujitemateriaalina voidaan käyttää rovingia tai yhdensuuntaiskudosta. Tarvittaessa voidaan käyttää myös hiili- tai aramidilujitteita. [2, s. 372.]

Biaksiaalisissa kuormituksissa, joita esiintyy esimerkiksi paineastioissa ja laattarakenteissa, lujitus tulee suunnata pääjännitysten suunnissa suhteuttamalla lujitteiden määrä kummassakin suunnassa vaikuttavan jännityksen suuruuteen. Kuviosta 3 voidaan tarkastella tarkemmin kuormitustavan vaikutusta lujitteisiin, lujitteiden suuntauksiin ja valmistusmenetelmiin. [1, s. 28.]

KUORMITUSTAPA	LUJITTEIDEN SUUNTAUS	VALMISTUS-MENETELMÄ	LUJITTEET
Yksiaksiaalinen -Veto -Puristus -taivutus	Kuormitussuuntaan	Pultruusio Käsinlaminointi	Roving tai yhdensuuntaiskudos - lasikuitu - hiili- tai aramidi- kuiduilla kevyemmät ja jäykemmät rakenteet
Kaksiaksiaalinen -esim. laatta- ja paineastiarakenteet	Pääjännitysten suunnissa suhteuttamalla jännitysten suuruuteen	Tasomaiset kappaleet: Käsinlaminointi, Alipainesäkki- menetelmä RTM  Kuuma- ja kylmäpuristus Ontelomaiset: Kuitukelaus	Kudotus lujitteet  Matto- ja kudoslujitteet Katkokuitu  Lasikuituroving

Kuvio 3. Kuormitustavan valinta lujitteiden valintaan. [1, s. 28].

### 3.2 Muovimatriisi

Lähtökohtana voidaan pitää orto-tai isoftalaalipolyesterihartseja. Nämä ovat hinnaltaan edullisia. Muovimatriisin valintaan voivat vaikuttaa useat tekijät. Muovimatriisin valinnalla voidaan parantaa palonkestoa, kemiallista kestoä, lujuusominaisuuksia sekä nopeuttaa tuotantoa. Kuvio 4 kuvaa valintaprosessia ja mitä hartseja tulisi missäkin tilanteessa käyttää. [1, s. 29.]

Kantavissa rakenteissa matriisiksi valitaan yleensä epoksi. Epokseilla saavutetaan hyvät lujuusominaisuudet. Joitakin epokseja voidaan käyttää korkeissakin lämpötiloissa. Palonkestoa vaativissa tuotteissa matriisiksi voidaan valita fenolihartsi. Fenolihartseilla

on hyvä lämmönkesto ja palokaasujen määrä palaessa on vähäinen. Kemiaankesto voidaan parantaa valitsemalla matriisiksi Bisfenof A- polyesteri tai vinyyliesteri. Sarjatuotannossa vaaditaan matriisilta nopeaa kostutus ja kuivumisaikaa. Tällöin valitaan uretaani tai metakrylaattihartsit riippuen valmistusmenetelmästä.



Kuvio 4. Muovimatriisien valinta. [1, s. 29]

### 3.3 Täyteaineet

Täyteaineilla pyritään alentamaan raaka-ainekustannuksia, parantamaan valmistettavuutta ja vaikuttamaan tuotteen ominaisuuksiin. Tuotteeseen saatetaan haluta lisää paksuutta kuormankantokyvyn tai jäykkyyden lisäämiseksi, tai yksinkertaisesti halutaan parantaa käsiteltävyyttä. Täyteaineilla voidaan vaikuttaa mm. tuotteen jäykkyyteen, tiheyteen, pinnanlaatuun sekä palonkestoan. [2, s. 57.]



### 3.3 Ydinaineet

Ydinaineita käytetään, kun halutaan saada laminaatille paksuutta, joka lisää taivutusjäykkyyttä. Laminaatin pinnat muodostuvat ohuista ja jäykistä pintalevyistä. Ydinaineena voidaan käyttää joko kennoja tai vaahtoja. Ydinmateriaaleja valittaessa on otettava huomioon niiden muovailtavuus tuotteen valmistuksessa. Hunajakennorakenteiden taivutettavuuteen vaikutetaan solujen muodolla. Umpisoluvaahdosta voidaan joutua urittamaan tai lämpömuovaamaan. [2, s. 105.]

#### 3.3.1 Kennot

Kennoydinaineina voidaan käyttää monia materiaaleja. Metalliset kennot ovat yleensä alumiinia, ruostumatonta terästä tai titaania. Komposiittikennot valmistetaan yleensä aramidikuitupaperista sekä aramidi-, lasi- tai hiilikuitukudoksista, jotka on kyllästetty fenoli-, epoksi- tai polyamidimuovilla. Kennoja voidaan valmistaa myös pahvista, paperista, polyeteenistä, polypropeenista, polykarbonaatista ja ABS:stä. Parhaat lujuusominaisuudet saavutetaan aramidikuitupaperi- ja alumiinihunajakenoilla. [2. s. 110.] Hunajakennojen käyttö kaarevissa kappaleissa edellyttää, että valitaan hunajakennorakenne, joka taipuu haluttuun muotoon. [6.]

#### 3.3.2 Vaahdot

Solumuovit ovat yleisimmin käytetty ydinaine kerroslevyrakenteissa. Eniten käytettyjä solumuoveja ovat polyvinyylidikloridi (PVC), polyuretaani(PUR) ja polystyreeni (PS). Muita solumuoveja ovat mm. styreeniakryylinitriili (SAN), polymetakryyli-imidi (PMI), Polyeetteri-imidi(PEI) ja polyeteerisulfoni (PES) [2. s. 106]. Kaarevia muotoja tehdessä solumuovi täytyy lämpömuovata [6].

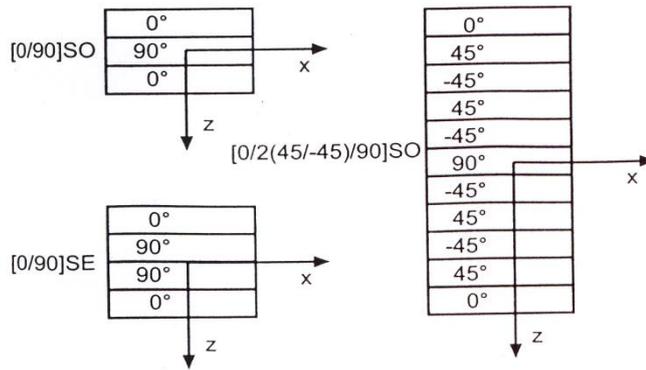
Mekaanisesti vaativissa olosuhteissa pyritään käyttämään joko PVC- tai PMI-solumuoveja. PVC:lla ylin käyttölämpötila on tyypistä riippuen 60–120 °C, kun puolestaan PMI-vaahdoilla ylin käyttölämpötila on tyypistä riippuen 180–250 °C. [6.]

### 3.4 Kerrosrakenteet

Kerrosten järjestyksen mukaan laminaatit luokitellaan symmetrisiksi, antisymmetriseksi ja epäsymmetrisiksi. Symmetrinen laminaatti on keskiakselin suhteen symmetrinen sekä kerrossuuntaukselta että materiaalien osalta. Antisymmetrisessä laminaatissa kuitusuuntaukset ovat vastakkaismerkkisiä. Epäsymmetriset laminaatit ovat nimensä mukaisesti epäsymmetrisiä keskiakselin suhteen. [7.]

Epäsymmetrisiä laminaatteja pyritään välttämään, koska epäsymmetrisen laminaatin käyttäytyminen on arvaamatonta. Lisäksi lämpötila ja kosteus voivat aiheuttaa laminaattiin vääristymisiä. Toisinaan epäsymmetrisen laminaatin käyttö on perusteltua. Epäsymmetrisiä laminaatteja voidaan käyttää rakenteissa, joiden muoto on jäykkä. Tällaisia rakenteita ovat esimerkiksi erilaiset putket, säiliöt ja paineastiat. [2, s. 377.]

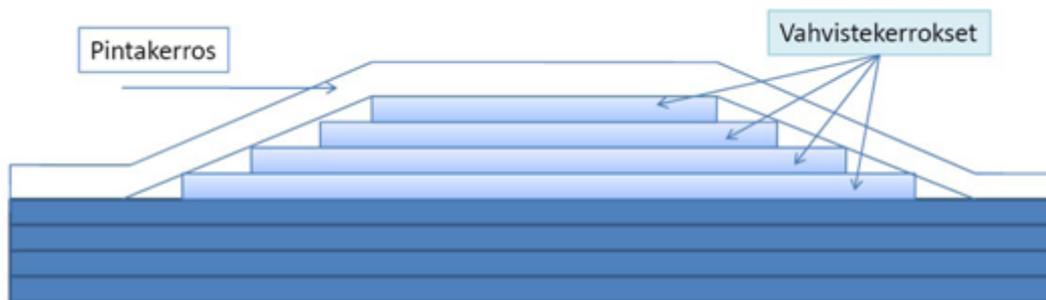
Laminaattirakennekuvasta käy ilmi rakenteen materiaali ja kuitusuuntaukset. Kuvasta 3 nähdään esimerkki laminaattirakenteesta. Symmetrisen kerrosrakenteen tapauksessa riittää se että, kuvataan vain laminaatin toinen puoli. Jos laminaatti on symmetrinen, merkitään se kirjaintunnuksella S (Symmetric). Tarkemmassa esityksessä käytetään kirjainyhdistelmää SO (Symmetric Odd) tai SE (Symmetric Even) kertomaan, onko laminaatissa parillinen vai pariton määrä kerroksia. [7; 2 s. 25.]



Kuva3. Laminaattirakenteen merkintätapa [2, s. 25].

### 3.5 Paikalliset vahvikkeet

Koska paikalliset kuormitukset, epäjatkuvuudet ja aukot aiheuttavat laminaattiin jännityskeskittymiä, voidaan laminaattia vahvistaa paikallisesti. Aukkojen ympärille vahvikkeita suunniteltaessa lähtökohtana on lujittaa molemmat pääjännityssuunnat, jotta jännitykset jakaantuisivat tasaisemmin. Paikalliset vahvikkeet tulee porrastaa jännityskeskittymien pienentämiseksi. Lopuksi vahvikekerrosten päälle laminoidaan pintakerros, jonka tarkoituksena on suojata lujitekerroksen reunat ja estää jännityskeskittymät. Kuvasta 4 käy ilmi vahvikekerrosten porrastus ja pintakerroksen asettelu. [1, s. 40; 2, s. 378.]



Kuva 4. Vahvikekerrosten porrastus. [1, s. 40].

### **3.6 Kuitusuuntaukset**

Muovikomposiittirakenteissa kuitusuuntauksilla voidaan vaikuttaa voimakkaasti rakenteen lujuusominaisuuksiin. Mikäli tiedossa on rakenteen pääjännityssuunnat, voidaan rakennetta optimoida asettamalla kuituja pääjännityssuuntiin. Lujitteiden voimakkaalla suuntauksella voidaan myös heikentää rakennetta, jos kaikki rakenteeseen kohdistuvat kuormat eivät ole tiedossa. Suuntauksia tehtäessä tulisi kuitenkin lujitteita olla molemmissa suunnissa, jotta rakenne ei heikkene toiseen pääsuuntaan. [2, s. 376.]

## 4 VENTTIILIN SUUNNITTELU

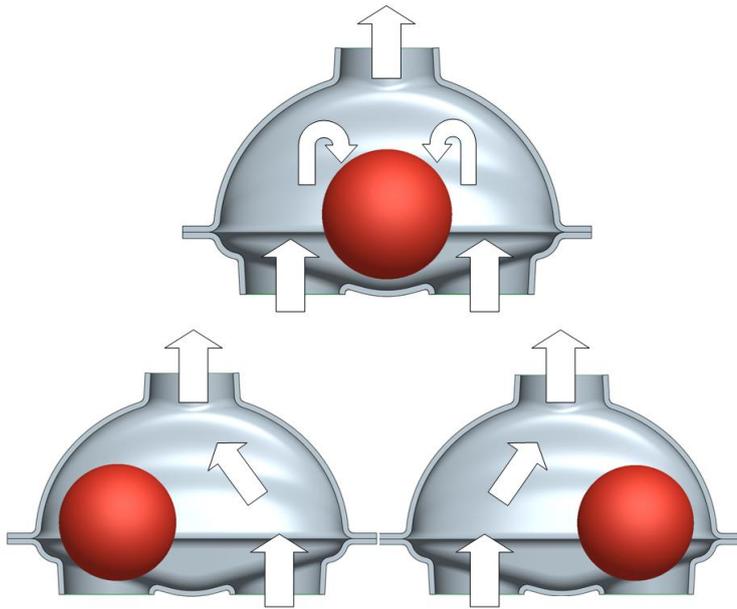
Venttiilin suunnittelun lähtökohtana oli vastaavanlainen venttiili, joka oli tehty metallista. Kuvasta 5 ilmenee venttiilin ulkoasu. Tuote on tehty useammasta osasta yhteen hitsaamalla, ja se on paksua ruostumatonta terästä. Venttiilin osien tarkastelut tehtiin vaiheittain. Ensimmäisessä vaiheessa suunniteltiin yläosan ja alaosan geometria siten, että apuna käytettiin lujuuslaskentaa ja tarkasteltiin rakenteen heikoimmat kohdat sekä yritettiin parantaa niitä geometriaa muuttamalla. Toisessa vaiheessa määriteltiin geometriolle optimaalinen seinämärakenne.



Kuva 5. Metallinen palloventtiili.

### 4.1 Määrittely

Venttiili ohjaa kahta pumppua, joilla pumpataan epäpuhdasta nestettä, kuten esimerkiksi lietettä kaivoksilla. Venttiilin sisällä oleva pallo ohjaa virtausta kuvan 6 mukaisesti. Nestettä voidaan pumpata jommallakummalla pumpulla tai molemmilla yhtä aikaa. Venttiilin rakenne tulee olla sellainen, että ohjaava pallo ei pääse lähtöputkeen ja tuki järjestelmää. Pallon tulee liikkua kahden tuloputken välillä tai asettua tuloputkien keskelle.



Kuva 6. Venttiilin toimintaperiaate.

Venttiilin lähtökohtana oli, että se kestäisi kymmenen baarin ylipaineen. Koska kyseessä on paineastia, venttiili täytyy mitoittaa siten, että se kestää suurella varmuudella. Standardit määrittelevät komposiittipaineastioiden varmuuskertoimen välille 8–10 [3]. Tässä tapauksessa venttiili mitoitettiin varmuuskertoimella kymmenen.

Venttiili tulee rakentaa kahdesta osasta, jotta venttiili on valmistettavissa. Venttiili kummitetaan kymmenen millimetriä paksulla kumikerroksella. Kumin tarkoitus on estää venttiilin rakenteen kuluminen. Osien välille on tarkoitus tehdä mekaaninen liitos, jotta uudelleen kumittaminen on mahdollista. Näin saadaan pitkäkestoinen venttiili. Tuote pitää pystyä myös kiinnittämään joko telineeseen tai ripustamaan johonkin kiinni. Virtauksset aiheuttavat tuotteeseen jonkinlaista värinää, mikä tulee ottaa kiinnikkeiden suunnittelussa huomioon.

## 4.2 Esisuunnittelu

Tuote suunniteltiin valmistettavaksi injektoimalla, joka on kustannustehokas valmistusmenetelmä suuremmissa sarjoissa. Prototuote ja ensimmäiset kappaleet valmistetaan kuitenkin käsinlaminoimalla.

Lähtökohta materiaaliksi valittiin katkokuitumatto, joka voidaan olettaa tasossa isotrooppiseksi. Lujitteena käytettiin katkokuitumattoa 600 g/m<sup>2</sup>. Mahdollisten paikallisten vahvikkeiden materiaaliksi valittiin tasavaltaisen lasikuitukudos. Materiaalien mekaaniset ominaisuudet on esitelty liitteessä 3.

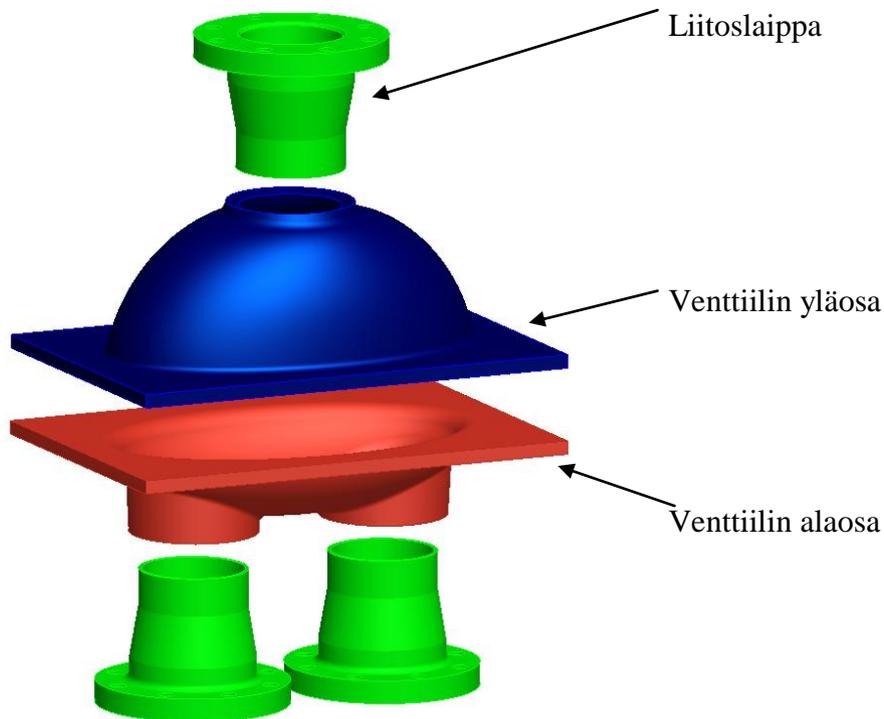
Tuotteen kiinnityksiin oli kaksi vaihtoehtoa. Ensimmäinen vaihtoehto olisi ollut laminoida kiinnikkeet tuotteeseen, kuten alkuperäisessä venttiilissä. Tämä kuitenkin olisi ollut hankala toteuttaa, ja se olisi lisännyt kustannuksia tuotteeseen. Toinen vaihtoehto oli käyttää tuotteessa ripustuslenkkejä, jotka voidaan asentaa tuotteen laipan kiinnityskohtiin. Tällä tavalla vältettiin tuotteen monimutkainen muotoilu ja samalla saatiin kulumusta kestävä kannakointi. Ripustuslenkit voidaan myös vaihtaa, jos ne pääsevät kulumaan. Kuvassa 7 on esitelty ripustuslenkin malli.



Kuva 7. Ripustuslenkki [8].

Venttiilin tulee suunnitella liitokset laipoille, jotta tulo- ja lähtöputket saadaan liitettyä. Laipat liitetään tuotteeseen laminoimalla, joten tämä tulee ottaa huomioon tuotetta suunnitellessa. Kuvasta 8 ilmenee esisuunniteltu rakenne. Laipan piirustukset on esitelty liitteessä 5.

Muovikomposiiteilla on suuri kutistuma, joten muotilta vaaditaan vähintään 3 asteen päästöt ja vähintään 10 mm pyöristykset, jotta laminoitu tuote irtoaisi muotista. Nämä perusasiat on tärkeää pitää mielessä muovikomposiittituotteita suunniteltaessa.



Kuva 8. Venttiilin alustava hahmotelma

### 4.3 Suunnitteluprosessi

Suunnitteluosiossa määritellään tuotteen lopulliset mitat ja muodot sekä laminaattien kerrosrakenteet ja tehdään lujuuslaskelmat. Lujuuslaskennan helpottamiseksi käytettiin ANSYS-13- lujuuslaskentaohjelmaa. Lujuuslaskentaa varten tarvittiin kappaleen geometriat pintamallina, jotka tehtiin ProEngineer-ohjelmalla.

Materiaalit ja lujuusarvot saatiin ESAComp-ohjelmasta. Tuennat ja kuormat määritettiin ANSYS-workbench:ssä ja lopuksi määritettiin kuitusuuntaukset ja laminaattikerrokset ANSYS ACP -lisäosassa. Liitteessä 5 on esitelty venttiilin piirustukset ja liitteessä 2 on esitelty venttiilin lopulliset kerrosrakenteet.



### **4.3.1 Määritykset ANSYS-ohjelmassa**

ANSYS-ohjelma käyttää laskennassa Mesh-elementtiverkkoa. Tihentämällä verkkoa saadaan tarkempia tuloksia, mutta vastaavasti tiheä verkko kasvattaa laskenta-aikaa. Vaativia laskentoja tehdessä voitaisiin käyttää apuna serveriä, joka lyhentäisi laskenta-aikaa merkittävästi verrattuna työasemalla laskemiseen. Tiheällä verkolla mallin laskenta venyi jopa tuntien mittaiseksi, joten päädyttiin harventamaan verkkoa laskennan nopeuttamiseksi. Tarkempia kuitumäärityksiä tehtäessä mallista poistettiin epäoleelliset asiat.

### **4.3.2 Kuormat ja tuennat ANSYS-ohjelmassa**

ANSYS-ohjelmassa määritetään tuotteeseen todellista tilannetta vastaavat tuennat ja kuormat. Suurin mahdollinen rasitus tuotteessa oli ajateltu siten, että venttiilin sisällä olisi kymmenen baarin painevaikutus. Tuenta määritettiin siten, että venttiili oli tuettuna sen laipasta erillisillä tukipaloilla. Koska tuotteeseen piti tehdä myös kiinnityskorvakot, määritettiin myös niiden kesto erillisessä laskennassa.

Kiinnityskorvakkoja laskettaessa tuote mitoitettiin sen massan mukaan. Itse venttiilin arvioitiin painavan n. 50 kg. Massaksi asetettiin kuitenkin 100 kg, jotta tuotteeseen saatiin varmuuskerroin kaksi.

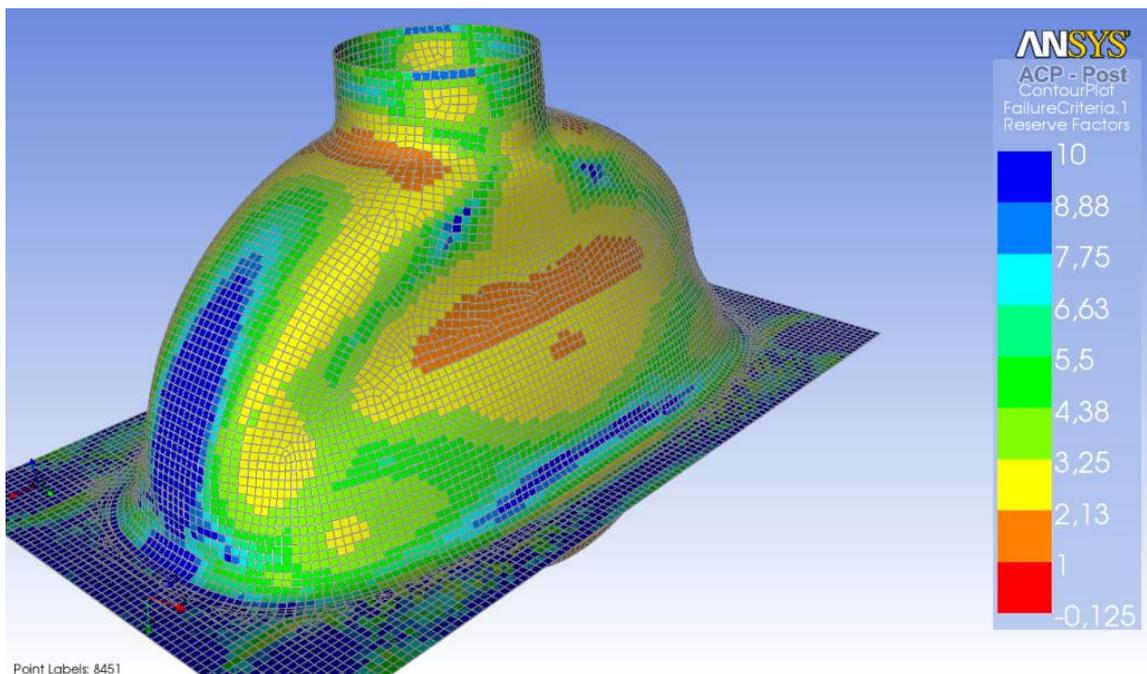
### **4.3.3 Materiaalitiedot**

ESAComp-ohjelmasta saatiin valmiit materiaalitiedot lujuuslaskentaa varten. ESACompin materiaalitiedot ovat varsin kattavat ja materiaaleja voi tehdä tarvittaessa myös itsekin. Laskennassa käytettävät materiaalit valittiin valmiista tietokannasta. Materiaalien lujuustiedot on mitattu testaamalla, joten näitä tietoja voidaan pitää luotettavina. Materiaalitietokannasta saatiin lujuusarvojen lisäksi selville testatun laminaatin paksuus ja

lujitepitoisuus. Materiaalitietojen vienti ANSYS ACP -lisäosaan tapahtuu importoimalla python-koodikielellä oleva tekstitiedosto ANSYS ACP -lisäosan koodi-ikkunaan.

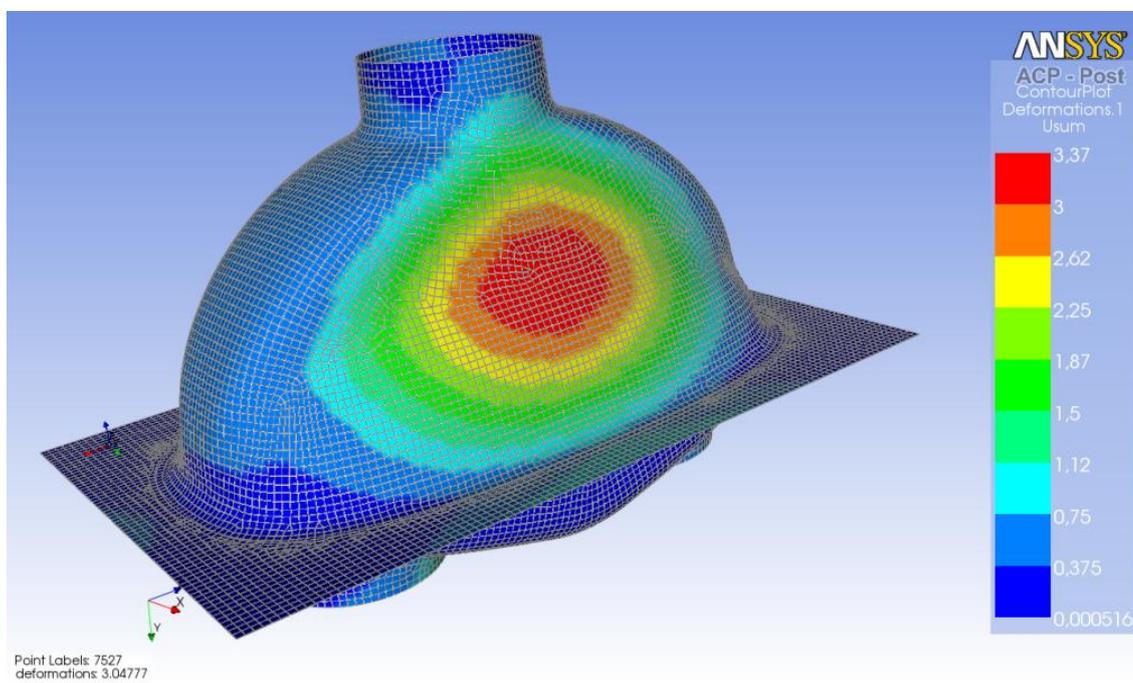
#### 4.3.4 Venttiilin yläosan suunnittelu

Ensimmäinen malli tehtiin venttiilin toimintaa ajatellen eli venttiili muotoiltiin niin, että muoto rajoittaa pallon liikerataa. Kuvassa 9 näkyy venttiilin yläosan rakenteen varmuuskertoimet. Kuvasta huomataan selvästi kaksi ongelmakohtaa. Kauluksen pyöristys ei ollut tässä mallissa täysin symmetrinen, joten tähän kohtaan tulivat jännityskeskittymät. Kriittisin kohta tuli kuitenkin venttiilin toiminnan kannalta oleelliseen muotoon. Optimaalisin muoto olisi paineen keston kannalta pallomainen pinta. Tässä muodossa kaari on juuri toiseen suuntaan, joten rakenteesta tulee heikko tältä osin. Varmuuskertoimet määritettiin maksimivienymien ja -jännitysten suhteen. Venttiilin optimaalista geometriaa hakiessa käytettiin kaikissa laskennoissa samaa laminaattirakennetta. Laminaattirakenne muodostui 12 katkokuitumattokerroksesta.



Kuva 9. Venttiilin yläosan ensimmäisen version varmuuskertoimet. Heikoin kohta on venttiilin toiminnan kannalta oleellisessa muodossa.

Tuotteessa oli myös erittäin suuret muodonmuutokset juuri toiminnan kannalta tärkeässä kohdassa. Muodonmuutokset voidaan todeta kuvasta 10. Tämä ei ole toivottua, koska tuotteen toiminnan kannalta muodonmuutokset voivat olla merkittäviä.



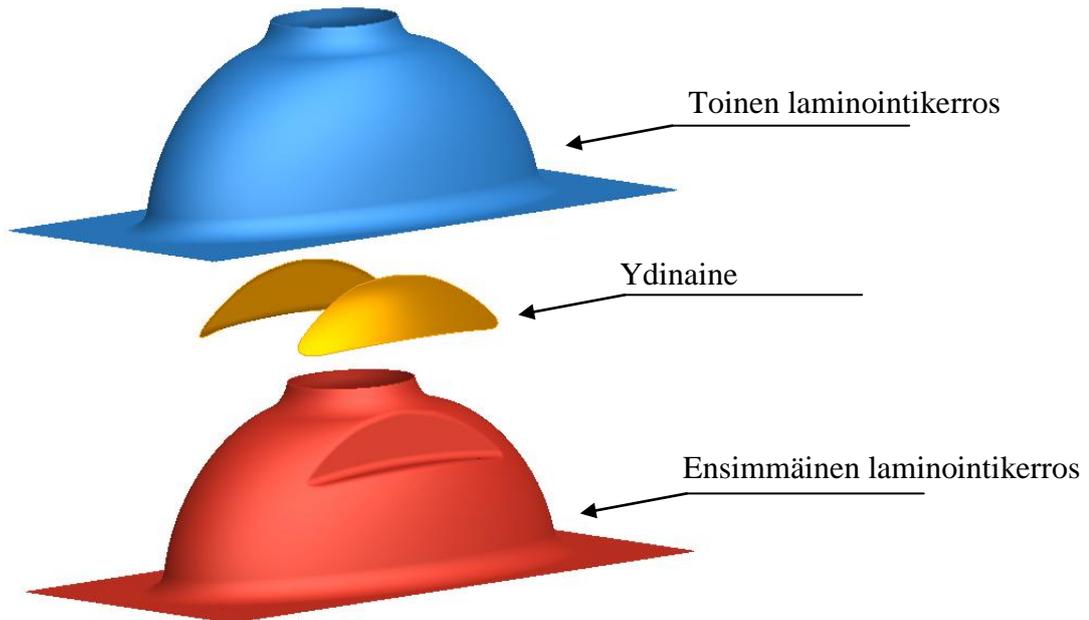
Kuva 10. Venttiilin yläosan suuret muodonmuutokset ovat toiminnan kannalta kriittisessä kohdassa.

Ongelmakohtan ratkaisemiseksi oli kaksi eri vaihtoehtoa. Toinen vaihtoehto oli tehdä venttiiliin pallon liikettä rajoittavat metalliset tapit ja toinen vaihtoehto oli tehdä tuote kerroslevyrakenteella. Metallisten tappien asettaminen inserttinä ajateltiin olevat liian monimutkainen valmistuspa. Metallisten tappien kuluminen oletettiin myös mahdolliseksi ongelmaksi.

Ongelmakohta ratkaistiin tekemällä tuotteeseen kerroslevymäinen rakenne. Tuote koostuu kahdesta eri kerroksesta ja ydinaineesta. Ulkokuoren tarkoituksena on kantaa kuormat ja sisäpuolen rakenteen antaa venttiilille toiminnalliset edellytykset.

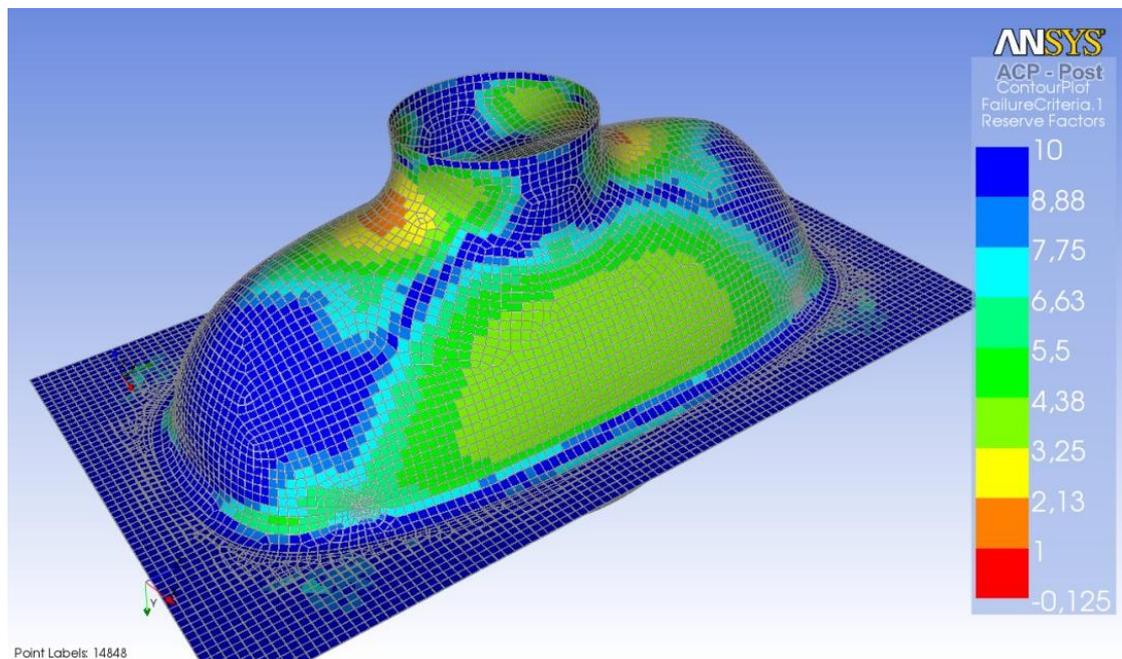
Tuote ajateltiin tehtäväksi siten, että muotti koneistetaan ensimmäisen kerroksen mukaisesti. Ensimmäisten kerrosten jälkeen muotoa tekevään kohtaan asennetaan insertti,

jotta saadaan kuormaa kestävä pinta aikaiseksi. Tämän jälkeen laminoidaan tuote loppuun. Kuva 11 selventää kerroslevyrakennetta.



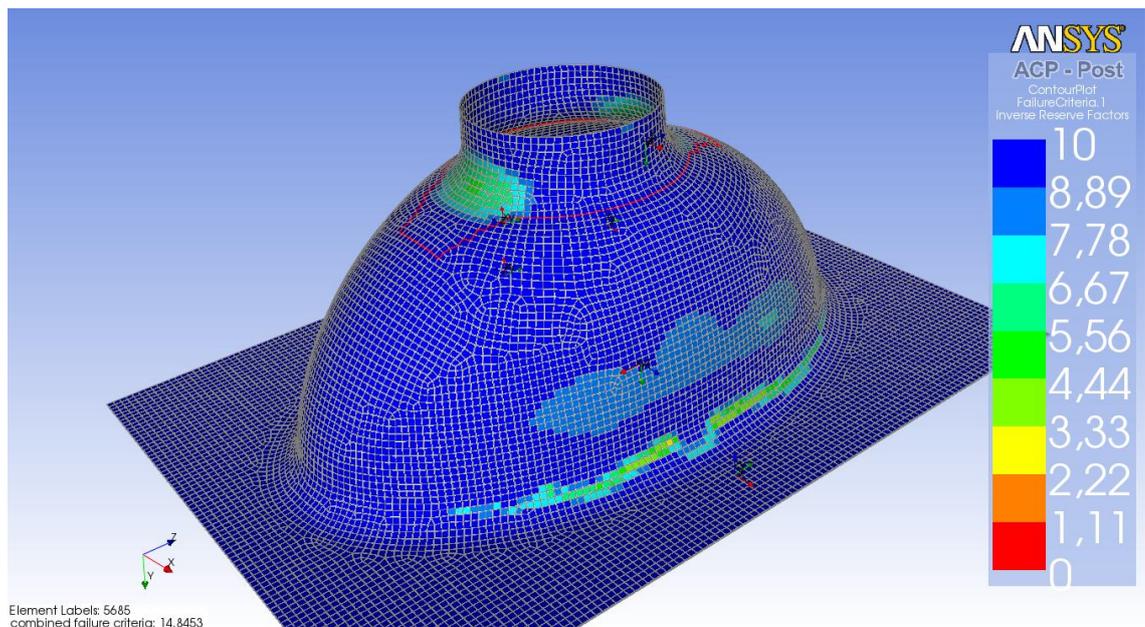
Kuva 11. Kerroslevyrakenne

Seuraavaksi geometriaa muutettiin siten, että venttiilin palloa ohjaava muoto poistettiin. Varmuuskerroin nousi tuolta osin noin neljään. Kuvasta 12 näkyy, kuinka 3D-mallissa on vielä kauluksen symmetrian kanssa ongelmia.



Kuva 12. Venttiilin yläosan varmuuskertoimet ilman ohjaavaa muotoa.

Seuraavaksi muutettiin kauluksen pyöristystä symmetrisemmäksi. Lisäksi rakenteen kaarevuutta muutettiin. Kuvasta 13 voidaan todeta, että rakenteen muodon muutoksella voidaan saavuttaa merkittävä hyöty. Tuotteen geometriaa yritettiin vielä parantaa tämän mallin jälkeen, mutta tuloksetta. Tuotteesta olisi pitänyt tehdä täysin pallomainen rakenne, jos rakenteesta olisi haluttu vieläkin parempi. Tämän myötä olisi kuitenkin tuotteen pinta-ala kasvanut. Tuotteeseen olisi tullut myös toiminnallisia ongelmia. Pallomaisuuden myötä olisi päädytty siihen tilanteeseen, että tuotteessa olisi pitänyt käyttää suuria määriä ydinainetta. Tämä olisi lisännyt myös kustannuksia ja hankaloittanut valmistusta.

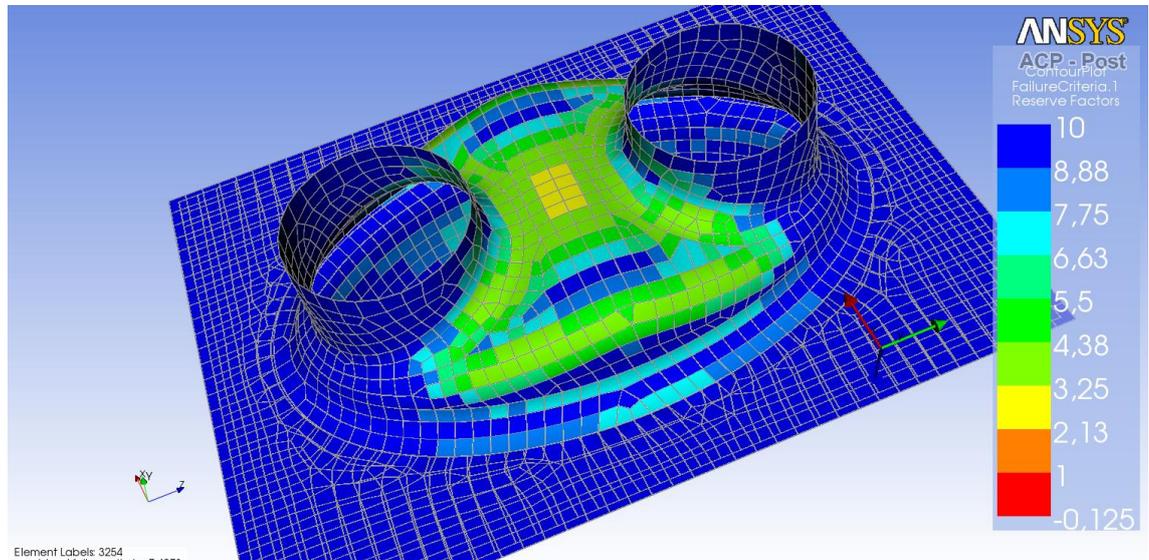


Kuva 13. Venttiilin yläosan lopullisen muodon varmuuskertoimet. Heikoimmat kohdat ovat kauluksessa ja pyöristyksessä.

#### 4.3.5 Venttiilin alaosan suunnittelu

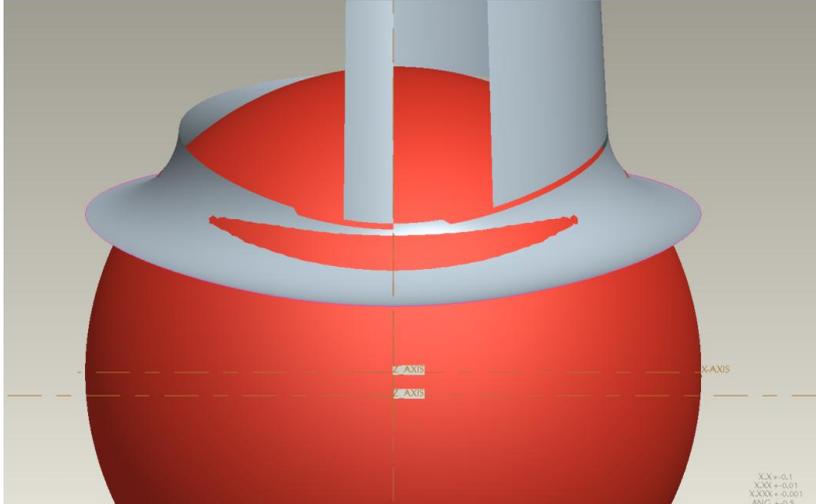
Venttiilin alaosan toiminnan edellytyksenä oli, että pallo sulkee toisen tuloputken tai jää virtauksen vaikutuksesta keskiasentoon. Tuotteesta mallinnettiin aluksi yksinkertainen perusmalli, josta nähtiin tuotteen heikoimmat kohdat. Kuvasta 14 voidaan huomata, että heikoimmat kohdat rakenteeseen asettuvat kahden tuloputken välille.

Rakenteen suunnittelun apuna käytettiin lujuslaskentaa, jotta saatiin tuotteen geometriasta mahdollisimman paineenkestävä. Tuotteen geometriaa optimoitiin muuttamalla yhtä osa-aluetta kerrallaan.

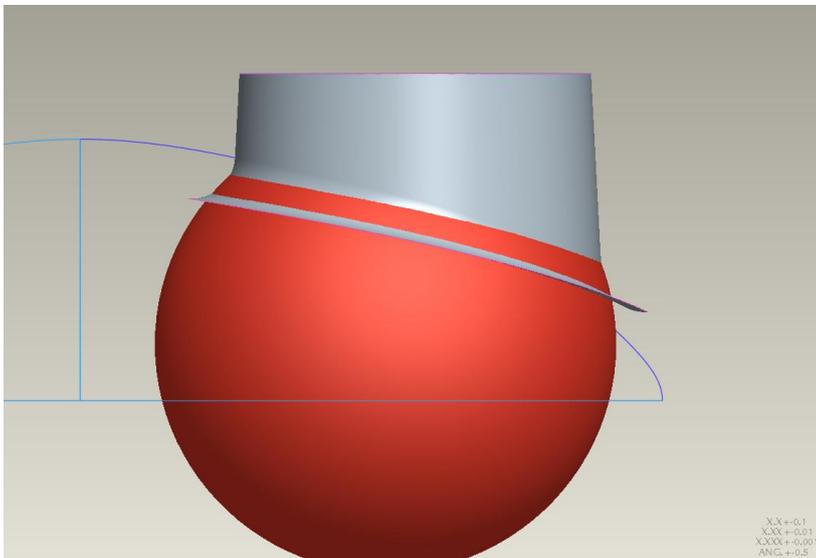


Kuva 14. Venttiilin alaosan yksinkertaisen hahmottelumallin varmuuskertoimet.

Tuotteessa havaittiin toiminnallinen ongelma alkuvaiheessa. Venttiilin alaosan tuloputki ei mennyt kokonaan kiinni, koska tuotteessa oli epäsymmetrinen pyöritys. Kuvasta 15 huomataan epäsymmetrisyyden aiheuttama ongelma. Pyöritys korjattiin mallintamalla se käsin. Kuvassa 16 esitetään pyörähdyssymmetriseksi korjattu pyöritys.



Kuva 15. Venttiilin tuloputken pyöristysten symmetrisyyden ongelmakohta, joka johtaa venttiilin vuotamiseen käytettäessä vain yhtä pumppua.

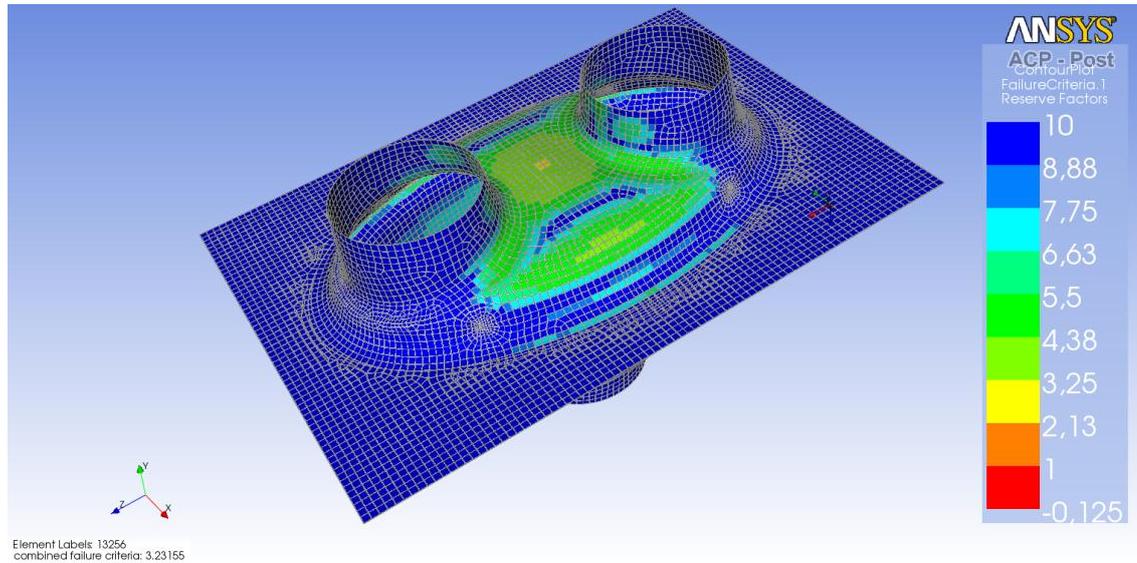


Kuva 16. Venttiilin tuloputken pyörähdyssymmetrinen pyöristys, joka tukkii venttiilin toisen tuloputken.

Mallin korjaamisen jälkeen tuotteen geometriaa optimoitiin uudestaan paineenkestäväksi. Kaikissa laskennoissa käytettiin kolmeatoista mattokerrosta sekä samoja kuormia ja tuentoja. Ainoa muutos laskennoissa oli mallin geometria.

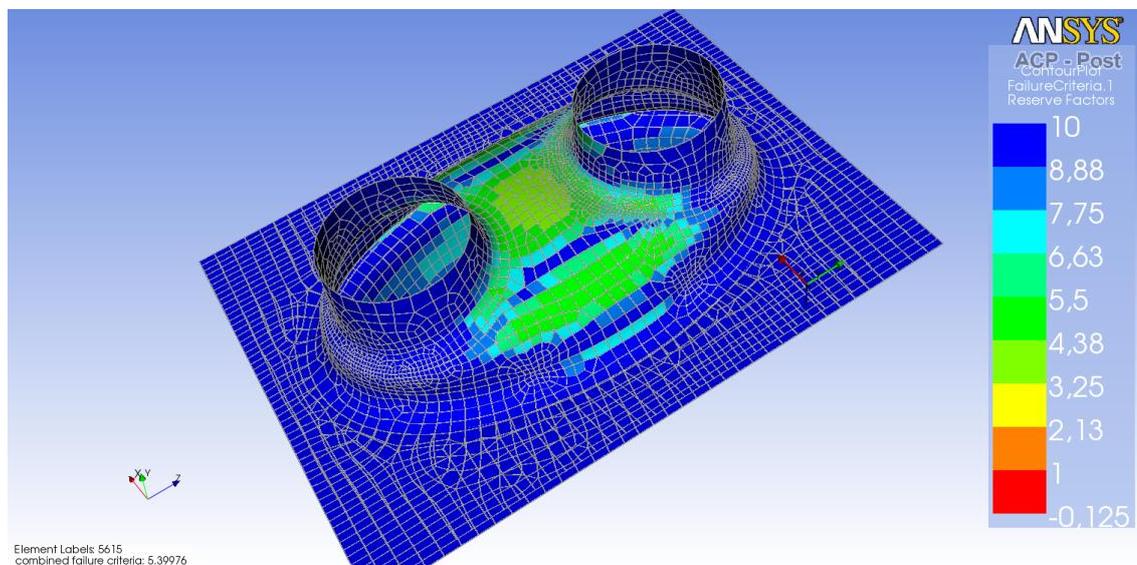
Toisessa versiossa (kuva 17) muutettiin geometriaa huomattavasti pyöreämmäksi kuin, mitä se oli ensimmäisessä mallissa. Tuloputkien välistä aluetta tässä mallissa muutettiin

hieman pyöreämmäksi. Suurin ongelmakohta muodostui tässä vaiheessa sekä tuloputkien väliin että niiden reuna-alueille.



Kuva 17. Venttiilin alaosan toisen version varmuuskertoimet.

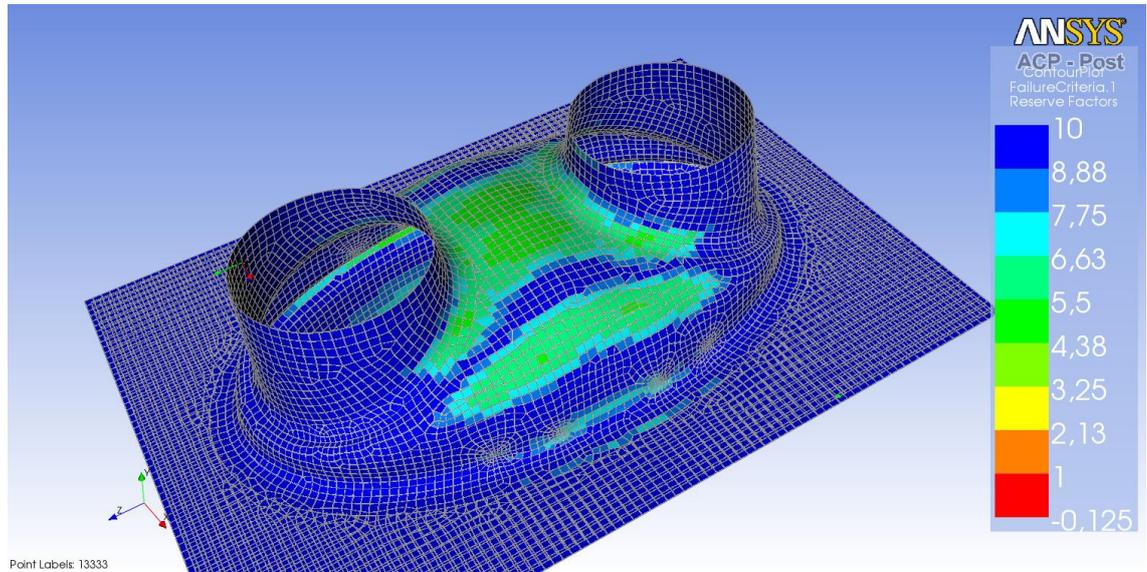
Alaosan kolmannessa versiossa (kuva 18) muutettiin tuloputkien välistä aluetta maltillisesti pyöreämmäksi. Tällä saavutettiin selvää paineenkestoa sekä jännitykset jakautuivat suuremmalle alueelle.



Kuva 18. Venttiilin alaosan kolmannen version varmuuskertoimet

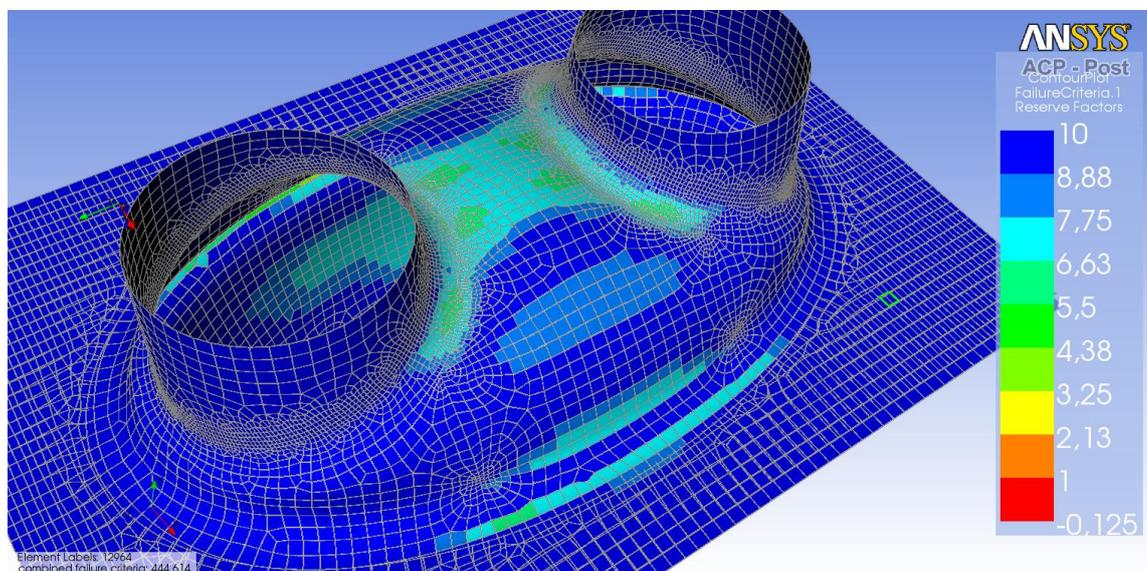


Alaosan neljännessä versiossa muutettiin tuloputkien välisen alueen kaarevuutta voimakkaammin. Selvä parannus näkyy kuvassa 19.



Kuva 19. Venttiilin alaosan neljännen version varmuuskertoimet.

Versiossa viisi muutettiin reuna-alueen kaarevuutta, joka oli edellisessä versiossa heikko kohta. Lisäksi tuloputkien välisen alueen kaarevuutta muutettiin samalla kaarevammaksi. Tästä versiosta yritettiin vielä muuttaa geometriaa, mutta parannusta ei saatu, joten tämä geometria valittiin lopulliseksi.

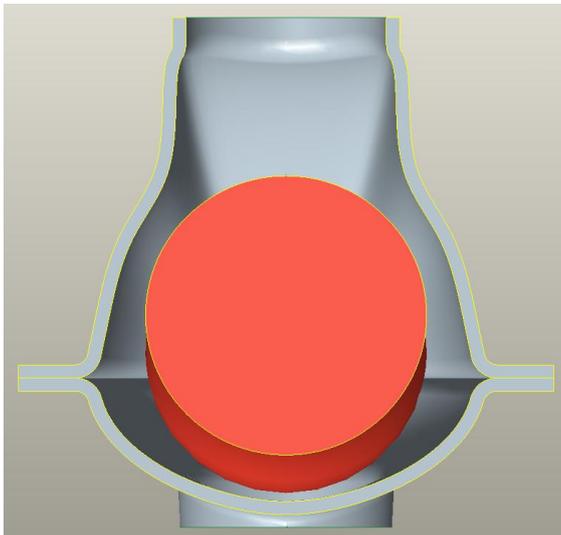


Kuva 20. Venttiilin alaosan lopullisen muodon varmuuskertoimet.

#### 4.3.6 Venttiilin sisäpuolen suunnittelu

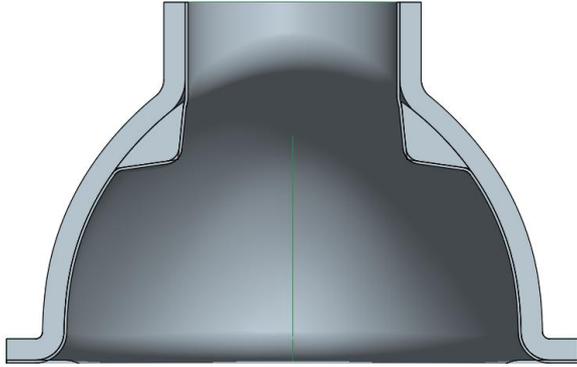
Venttiilin sisäpuoli antaa venttiilille palloa ohjaavan muodon. Suunnittelussa otettiin huomioon pallon liikerata ja haettiin samalla paineenkestävä muoto. Sisäpuolta suunniteltaessa oli tärkeää ottaa huomioon, että venttiili kumitetaan sisäpuolelta n. 10 mm paksulla kerroksella. Pallo ei pääse tukkimaan ylintä lähtöputkea, vaikka kumituskerros kuluisi kokonaan pois.

Sisäpuoli muotoiltiin siten, että pallo liikkuisi kahden tuloputken välillä eikä pääsisi tukkimaan ylintä lähtöputkea. Kuvassa 21 on esitelty venttiilin yläosan sisäpuolen alustava muotoilu. Kuvan 21 muotoilulla ei saavutettu vielä tarpeeksi hyvää paineen kestoä eikä riittävää ohjaavaa muotoa, joten geometriaa muutettiin vielä. Muotoilun helpottamiseksi mallinnettiin pallon liikerataa vastaava muoto. Mallin avulla voitiin tarkastella venttiilin toimivuutta.



Kuva 21. Sisäpuolen alustava geometria ilman kumikerrosta sekä muotoilua helpottava pallon liikerata sivustapäin katsottuna.

Kuvassa 22 näkyy venttiilin sisäpuolen lopullinen muoto. Kuvasta kuitenkin puuttuvat vielä oleelliset viisteet ja pyöristykset, jotka lisättiin malliin myöhemmin. Valitulla muodolla saatiin rajoitettua pallon liikerataa siten, että pallo ei pääse tukkimaan ylintä lähtöputkea missään vaiheessa. Muoto myös ohjaa pallon liikettä kahden tuloputken välillä siten, että liike on mahdollisimman jouheva.

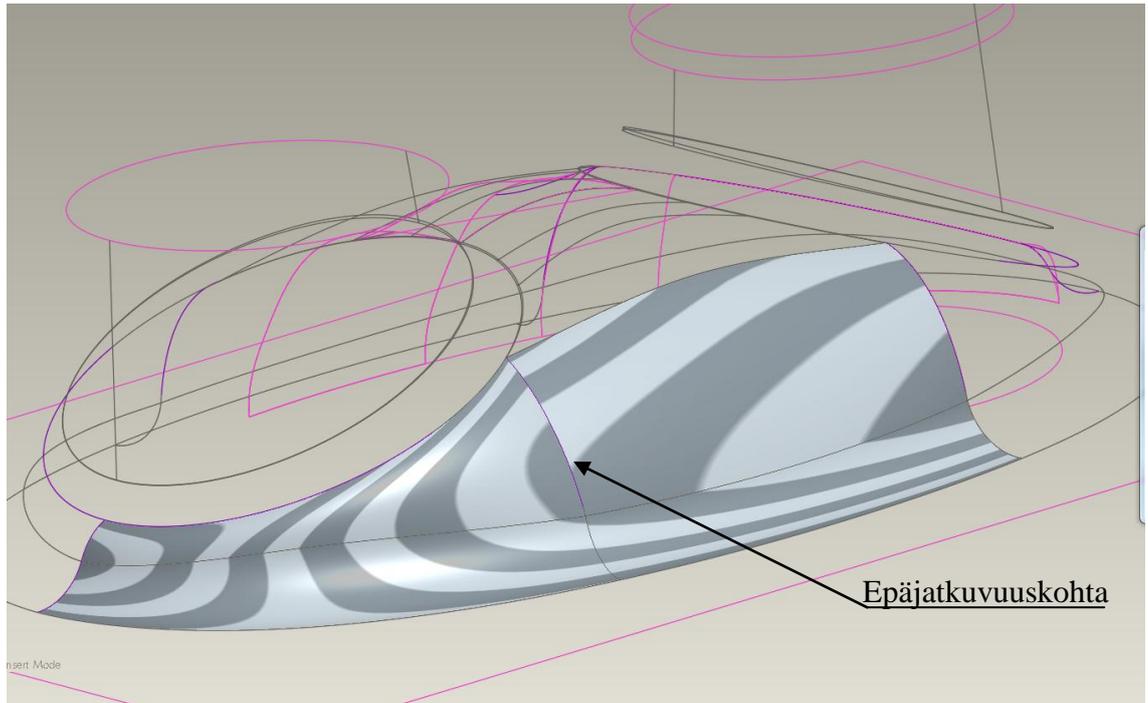


Kuva 22. Sisäpuolen lopullinen muoto ilman päästöjä ja pyöristyksiä.

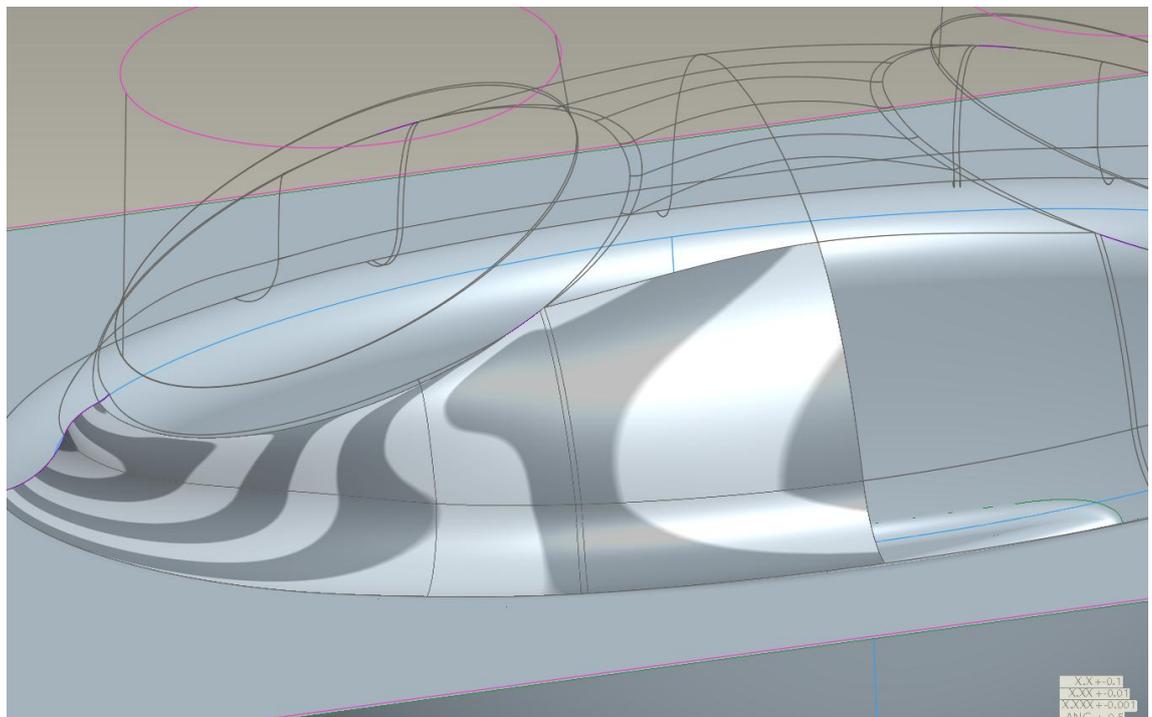
#### 4.4 Pintavirheen korjaus

Mallia jouduttiin muuttamaan useaan otteeseen parasta geometriaa etsiessä, joten oli edullista tehdä mallista hieman karkeampia versioita ja jättää mallin pinnan viimeistely viimeiseksi. Pintamalli ei ollut täydellinen mallia laskettaessa, mutta se ei vaikuttanut itse laskentaan, koska elementtiverkon koko ei ollut niin pieni, että se ottaisi huomioon pienen pintavirheen.

Mallin pintavirheet on esitetty kuvassa 23 ja korjattu malli kuvassa 24. Apuna pintavirheen korjaamiseen käytettiin ProE:stä löytyvää heijastustyökalua. Heijastustyökalu näyttää pintamallin virheet kuvan 23 mukaisesti: pintojen välillä näkyvät selvät epäjatkuvusalueet. Hyvässä pintamallissa heijastusjuovat ovat jatkuvia eivätkä katkeile.



Kuva 23. Virheellinen pintamalli venttiilin alaosassa.

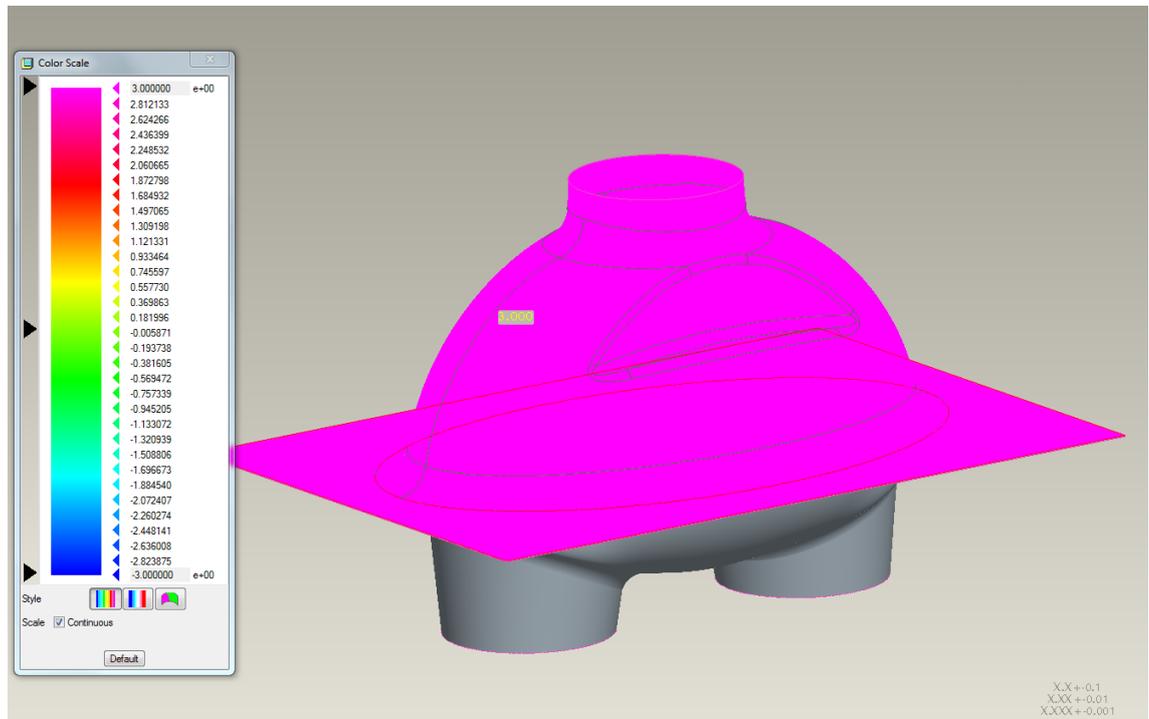


Kuva 24. Korjattu venttiilin alaosan pintamalli.

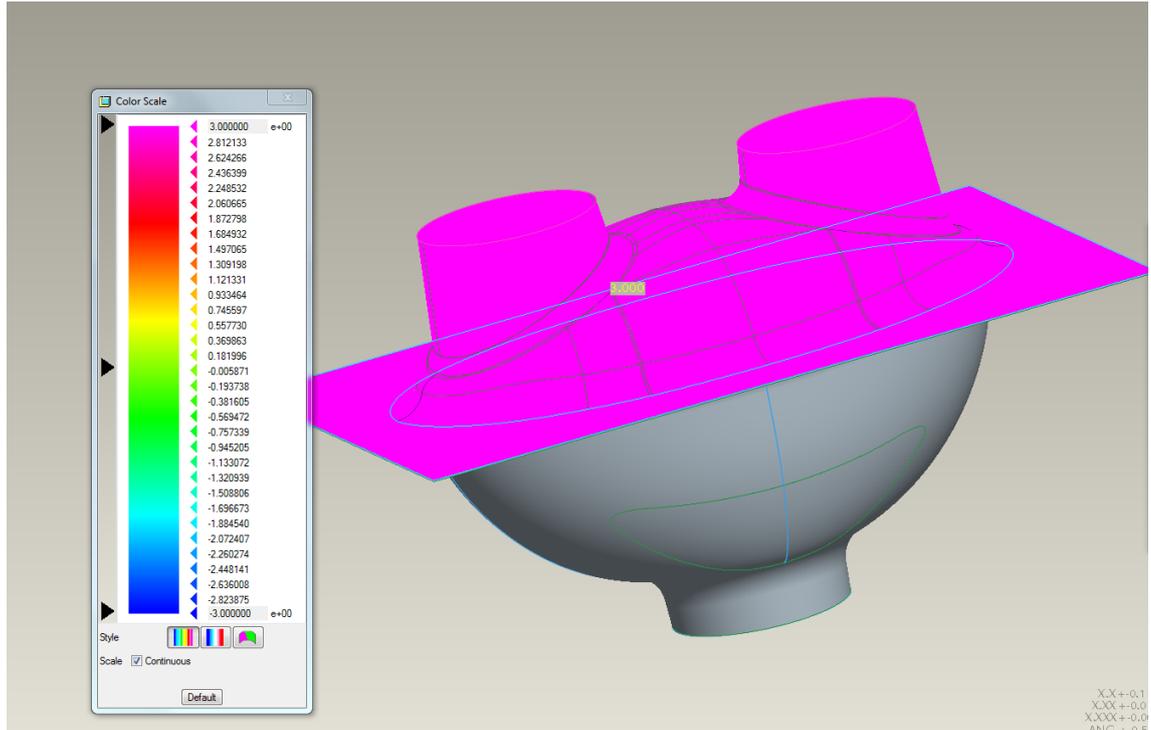
Pintojen korjaaminen oli kuitenkin tärkeää, koska koneistusvaiheessa voi tulla ongelmia terävistä särmistä. Koneistettaessa ongelmaksi voi muodostua terän pomppiminen, mikä pidentää koneistusaikaa ja pinnasta tulee epätasaisempi. Lisäksi koneistusratojen tekeminen hyvään pintamalliin on huomattavasti helpompaa.

#### 4.5 Päästöjen tarkastus

Venttiilin päästökulmat tarkastettiin lopuksi vielä ProE:n Draft-työkalulla. Päästökulmien minimikulma oli määritetty kolmeen asteeseen. Tuotteen geometriasta ei kuitenkaan löytynyt alle 3 asteen päästömuotoja. Kuva 25 esittää yläosan päästökulmat ja kuva 26 esittää alaosan päästökulmat. Kuvista käy ilmi, että päästöt ovat yli kolmen asteen ja tuote on siis irrotettavissa muotista.



Kuva 25. Venttiilin yläosan päästökulmien tarkastus. Joka puolella on yli kolmen asteen päästöt.



Kuva 26. Venttiilin alaosan päästökulmien tarkastus. Joka puolella on yli kolmen asteen päästöt.

#### 4.6 Venttiilin seinämärakenteen optimointi

Venttiilin mitoittamisen lähtökohtana käytettiin kymmenen baarin painetta ja varmuuskerrointa kymmenen. Venttiiliin valittiin alustaviksi lujitemateriaaleiksi katkokuitumatto ja lasikuitukudos. Venttiilin seinämärakenteet mitoitettiin yksi osa kerrallaan. Ensiksi laskettiin yläosan seinämärakenteet, jonka jälkeen mitoitettiin alaosa ja lopuksi palloa ohjaava kerros.

Venttiilin kerrosrakenteita laskettaessa määriteltiin aluksi optimaalinen kerrosrakente koko rakenteelle. Tämän jälkeen rakennetta karsittiin niiltä osin, joissa se oli mahdollista. Liitteessä 1 on esitelty saadut seinämärakenteet.

#### 4.6.1 Yläosan seinämärakenteet

Yläosan seinämärakenteen optimointi aloitettiin käyttämällä ainoastaan katkokuitumattoa. Tällä rakenteella ei päästy tarvittavaan paineenkestoon, joten rakenteen pintoihin lisättiin kudosta. Rakenteesta tuli erittäin paksu, n. 21,9 mm vahvikkeiden alueella ja muualla rakenteessa n. 16,3 mm.

Rakennetta yritettiin ohentaa käyttämällä hiilikuitukudosta, mutta rakennetta ei saatu niin ohueksi, että se olisi ollut taloudellisesti kannattava ratkaisu. Myös yhdensuuntaislujitteita kokeiltiin, mutta merkittävää parannusta ei saatu. Lasikuitukudoksella ja matolla haettiin optimaalisin kerrosrakenne ja rakenteeksi saatiin liitteessä 1 esitetty kerrosrakenne. Optimaalisin rakenne oli siis rakenteeltaan epäsymmetrinen.

#### 4.6.2 Alaosan seinämärakenteet

Alaosan seinämärakenteen optimointi aloitettiin niin ikään katkokuitumatolla. Alaosassa oli myös ongelmia paineenkestossa, joten kudosta lisättiin kerrosrakenteen pintoihin. Tällä ratkaisulla saatiin rakenne kestämään kymmenen baarin paine varmuuskertoimella kymmenen. Myös alaosan seinämärakenne optimoitiin. Kerrosrakenne on esitetty liitteessä 1. Optimaalisin kerrosrakenne oli siis symmetrinen. Saatu laminaatti oli erittäin paksu, n. 23,8 mm vahvikkeiden alueella ja muualla rakenteessa 16,3 mm.

Alaosaa yritettiin myös ohentaa käyttämällä hiilikuitua, mutta tässäkään geometriassa siitä ei ollut hyötyä. Rakenteeseen kokeiltiin niin ikään yhdensuuntaisia lujitteita mutta niilläkään ei saatu tarvittavaa hyötyä.

## 4.7 Seinämärakenteiden uudelleen optimointi

Alussa valittiin kymmenen baarin paine, koska metallinen venttiili kestää tuote-esitteen mukaan kymmenen baaria. Ei kuitenkaan ollut varmaa tietoa, tarkoittaako se putkiston painetta vai pumppujen antamaa maksimipainetta. Lisäksi pohdittiin myös käyttötarkoituksikohteiden tarpeita uudelleen.

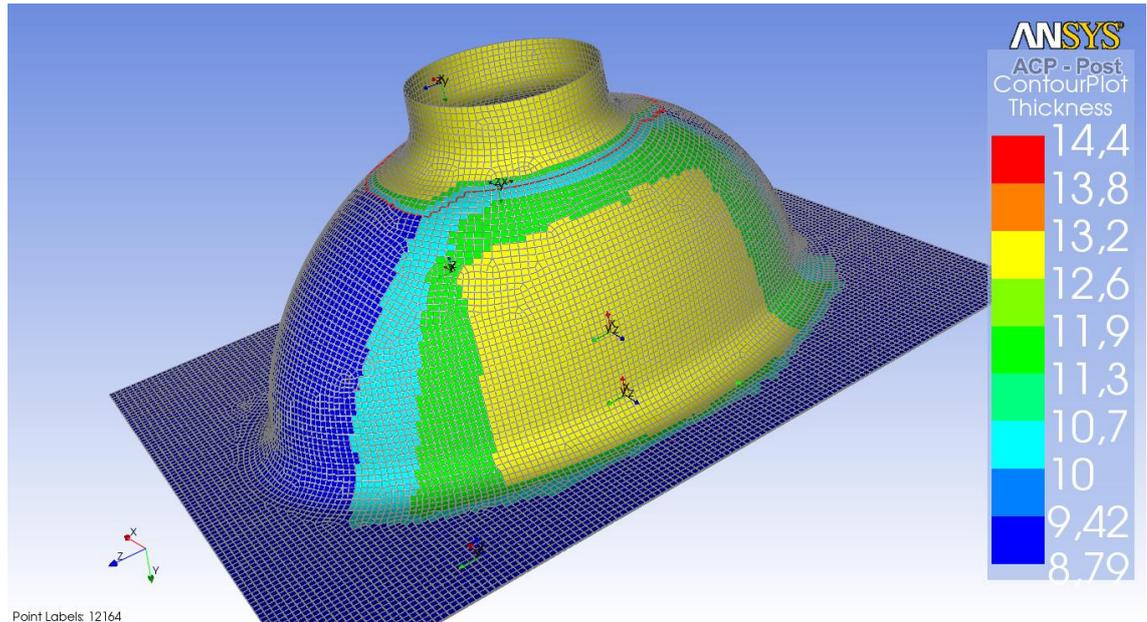
Koska seinämärakenteet kasvoivat suuriksi vaaditun kymmenen varmuuskertoimen ja kymmenen baarin takia, mietittiin tarvittavaa painetta uudelleen. Suunnittelupalaverissa kävi ilmi, että kymmenen baarin paine on reilusti ylimitoitettu. Tarvittava käyttöpaine putkistoissa on 4–6 baaria. Muuttuneen paineen takia rakenteet optimoitiin uudelleen.

### 4.7.1 Yläosan uudelleen optimointi

Edellisistä optimoinneista tiedettiin, että on edullista käyttää katkokuitumattoa ja kudosta yhdessä rakenteen optimoinnissa. ANSYS-ohjelmaan kuormaksi asetettiin viisi baaria ja käytettiin samoja tuentoja. Optimointi aloitettiin käyttämällä samoja kuitusuuntauksia ja samoja kerrosrakenteita ottamalla kuitenkin puolet rakenteen paksuudesta pois. Todettiin, että laminaatin paksuus ei ole suoraan verrannollinen laminaatin kuormiin, joten kerroksia jouduttiin lisäämään. Saadut seinämärakenteet on esitetty liitteessä 2. Yläosaan oli myös tässä kuormitustilanteessa edullista tehdä epäsymmetrinen laminaatti. Myös muita kerrosrakenteita kokeiltiin viiden baarin paineella, mutta kerrosrakennetta ei saatu parannettua.

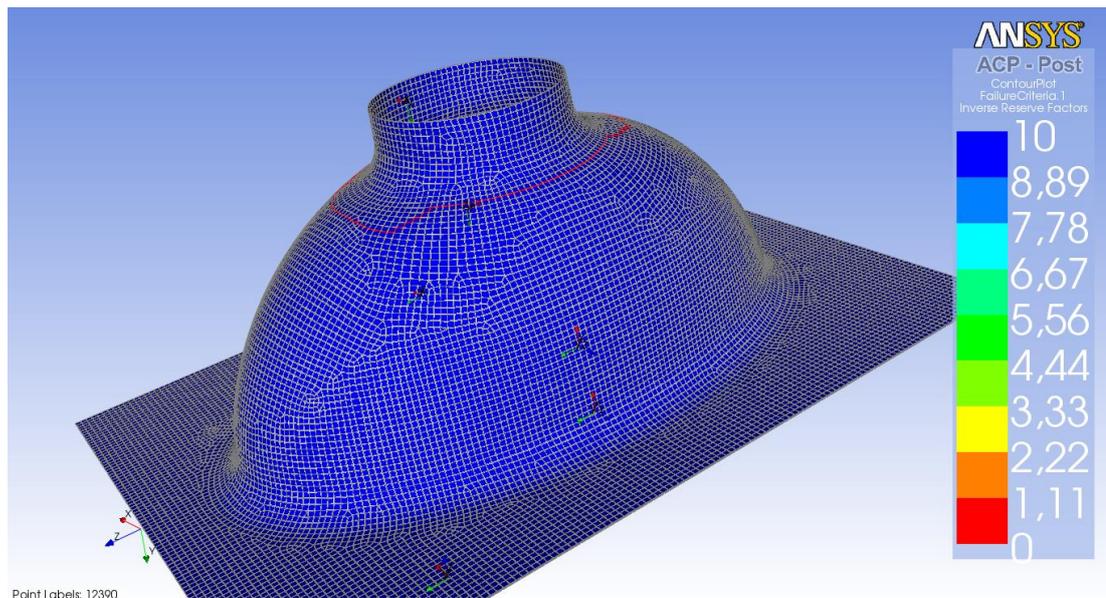
Kuvassa 27 on esitetty vahvikkeiden paikat ja niiden kerrospaksuudet. Kuvasta todetaan, että rakenteessa on edullista käyttää paikallisia vahvikkeita. Tässä tapauksessa kuitenkin paikallisten vahvikkeiden pinta-ala oli varsin iso, koska rakenteeseen kohdistui jännityksiä suurelle alueelle. Paksuin paikallinen vahvikealue oli 13,2 millimetrin paksuinen ja ohuin rakenne oli alle kymmenen millimetrin paksuinen. Kuvasta 27 käy ilmi myös, että laskennoissa on käytetty kerrosten porrastuksia, joten saatiin todellista tilannetta vastaava kerrosrakenne.





Kuva 27. Venttiilin yläosan kerrospaksuudet viiden baarin paineella

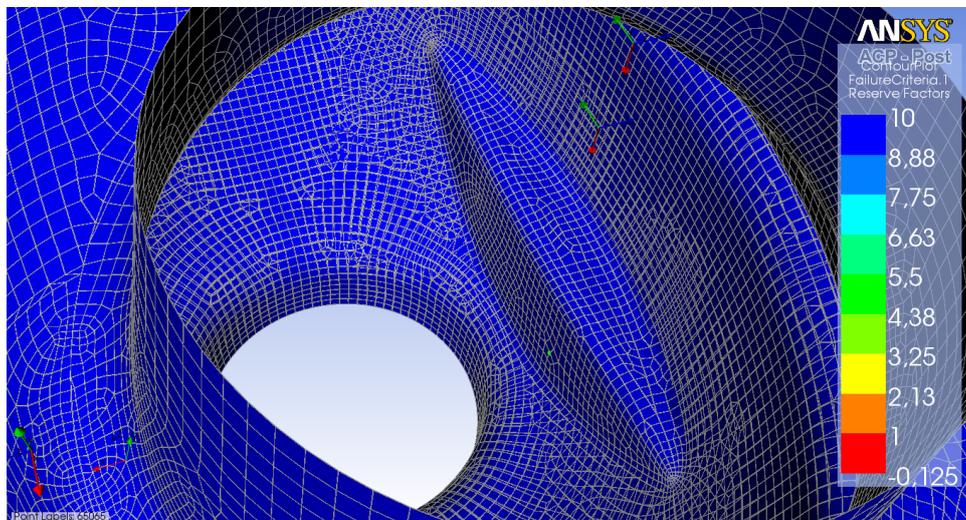
Kuvasta 28 käy selville, että saaduilla kerrosrakenteilla päästään viiden baarin paineella yli kymmenen varmuuskertoimeen kaikkialla. Rakenteen varmuuskerroin on laskettu sekä jännitysten että venymien kautta. Rakenteen on siis tämän laskennan mukaan turvallinen.



Kuva 28. Venttiilin yläosan varmuuskertoimet ovat joka puolella yli kymmenen

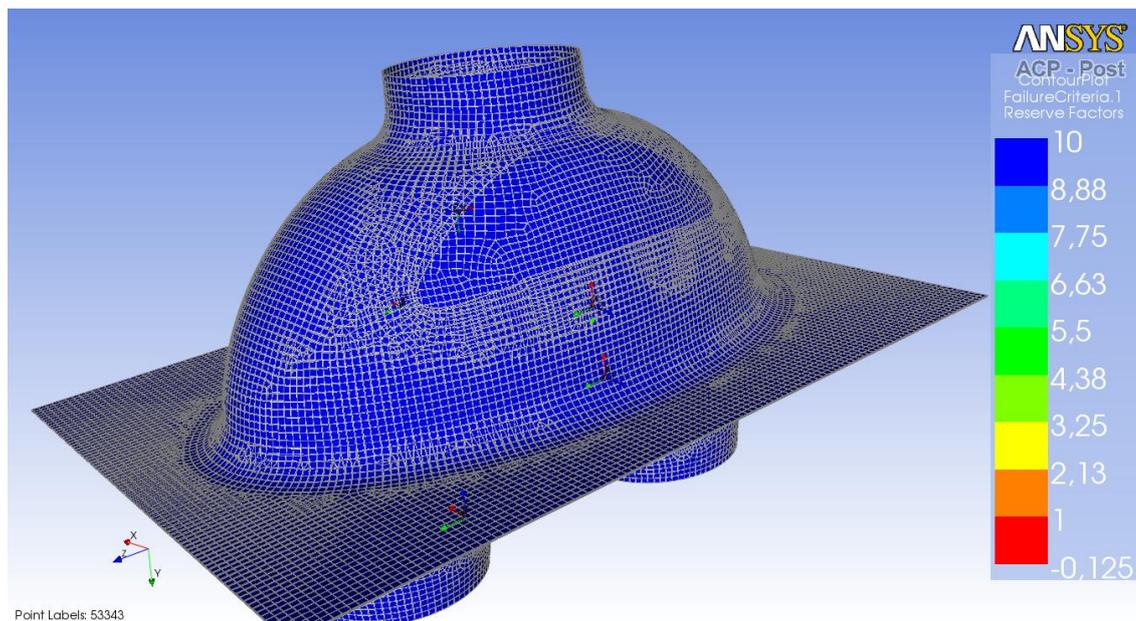
Venttiilin sisäpuolen laskennassa käytettiin kahta kerrosta kudosta ja ydinaineena polyuretaania, jolla saavutettiin yli 10 varmuuskerroin rakenteessa. Laskennassa oli mu-

kana myös uloin laminaattikerros. Kuvassa 29 on esitelty geometrian varmuuskertoimet, kun käytettiin kahta kerrosta kudosta.



Kuva 29. Venttiilin yläosan sisäpuolen varmuuskertoimet käytettäessä kahta kerrosta kudosta.

Laskennan jälkeen tehtiin vielä uusi laskenta, jossa käytettiin todellista venttiilin rakennetta. Laskennassa käytettiin kerroslevyrakennetta, joka koostui ensiksi laminoidusta kahdesta kudokerroksesta ja ydinaineesta, jonka päälle on laminoitu kuvassa 27 oleva laminaattirakenne. Venttiilin varmuuskertoimet on esitelty kuvassa 30. Joka puolella rakennetta päästiin varmuuskertoimeen kymmenen.

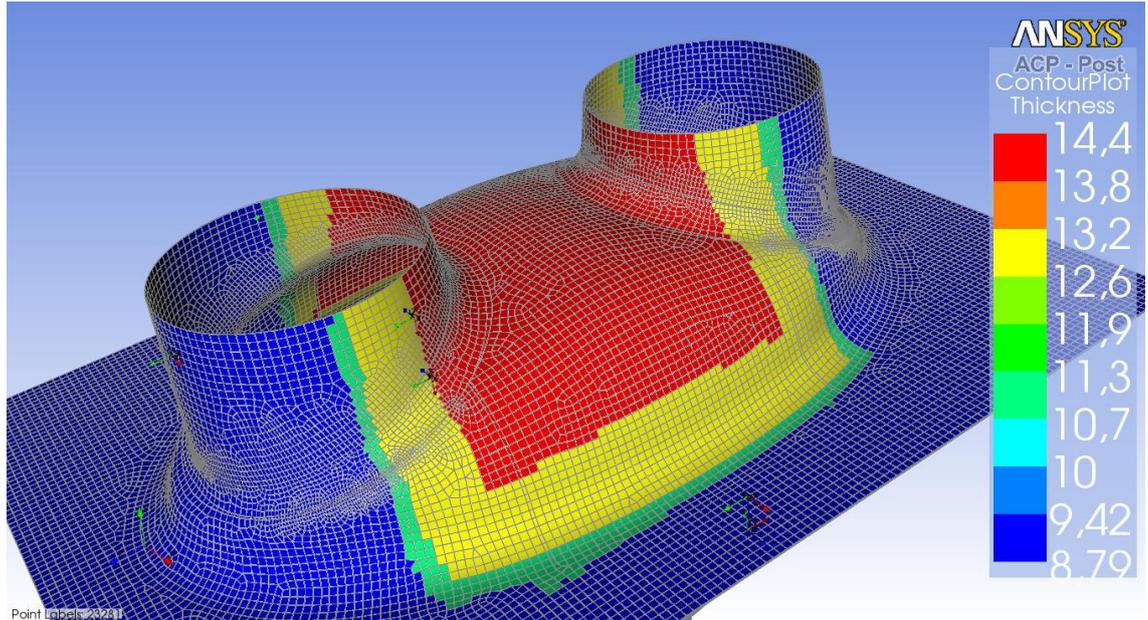


Kuva 30. Venttiilin yläosan varmuuskertoimet. Laskennassa käytetty ydinainetta ja molempia laminaattikerroksia.

#### 4.7.2 Alaosan uudelleen optimointi

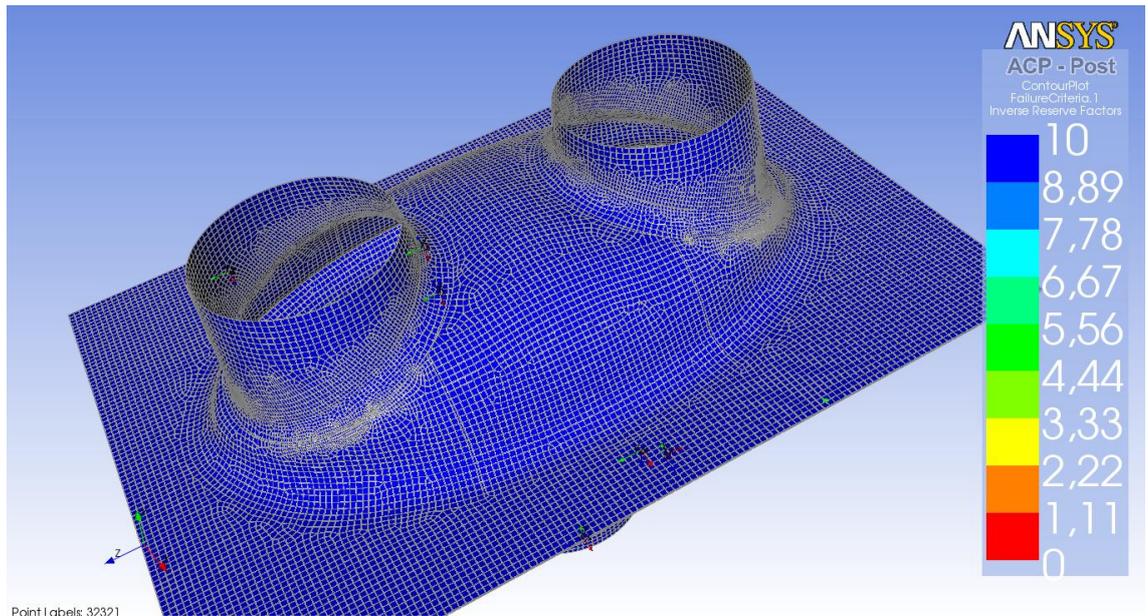
Alaosan uudelleen optimoinnissa käytettiin niin ikään viiden baarin painetta ja samoja tuentoja. Kuitusuuntaukset ja kerrosrakenteet olivat myös samoja. Lähtötilanteessa otettiin kuitenkin puolet kerrosrakenteiden paksuuksista pois. Tällä ei ylletty kymmenen varmuuskertoimeen, joten lujitekerroksia lisättiin. Lopulliset tulokset on esitetty liitteessä 2.

Kuvassa 31 on esitetty vahvikkeiden paikat ja niiden kerrospaksuudet. Kuvasta todetaan, että rakenteessa on edullista käyttää paikallisia vahvikkeita, koska heikoimmat kohdat asettuvat tuloputkien välille. Tässä tapauksessa kuitenkin paikallisten vahvikkeiden pinta-ala oli varsin iso, koska rakenteeseen kohdistui jännityksiä suurelle alueelle. Paksuin paikallinen vahvikealue oli 14,4 mm paksuinen ja ohuin rakenne oli alle 10 mm. Kuvasta 31 käy ilmi myös, että laskennoissa on käytetty kerrosten porrastuksia, jotta saataisiin todellista tilannetta vastaava kerrosrakenne.



Kuva 31. Venttiilin alaosan lopulliset kerrospaksuudet viiden baarin paineella.

Kuvasta 32 käy selville, että saaduilla kerrosrakenteilla päästään viiden baarin paineella varmuuskertoimeen kymmenen koko alueella. Rakenteen varmuuskerroin on laskettu sekä jännitysten että venymien suhteen, joten rakenne on tämän laskennan mukaan turvallinen.



Kuva 32. Venttiilin alaosassa varmuuskertoimet ovat joka puolella yli kymmenen

#### 4.8 Pulttiliitosten ja ripustusten mitoitus

Pulttiliitokset mitoitettiin viiden baarin painevaikutuksen mukaisesti. Ripustusliitokset mitoitettiin siten, että massana oli 100 kg. Ripustuksia oli 4 kpl. Ripustuslenkkien lukumääräksi valittiin 4 kpl ja niiden ajateltiin olevan osa pulttiliitosta, jolloin pulttien tilalle laitettiin neljä ripustuslenkkiä. Näin säästyttiin ylimääräisiltä pulteilta. Yleisimmät ripustuslenkit kestävät kuitenkin helposti 100 kg massan, joten ei ollut tarvetta mitoittaa lenkkien kestävyyttä.

Pulttiliitoksia mitoittaessa täytyy ottaa huomioon, että saadaan riittävän tasainen puristus aikaiseksi laippaan. Laippa ei saa antaa periksi, koska tällöin tapahtuisi vuotamista. Muovikomposiittituotteissa tulee aina käyttää mahdollisimman suuria aluslevyjä ja tiukkoja sovitteita. Sovitteet eivät saa olla kuitenkaan niin tiukkoja, että pulttien kiristäminen repisi laminaattia.

Alustaviksi pulteiksi valittiin M20 x 60 pultti ja aluslevyksi ulkohalkaisijaltaan 37 millimetrin levy. M20 pultti oli edullista valita lähtökohdaksi, koska kiintolaipassa on myös käytetty M20 pultteja. Pulttien mitoituksessa ANSYS-ohjelmasta saatiin laipan tukireaktioksi 75 kN. Kuorma tarkastettiin myös käsinlaskemalla. Kuorma saatiin seuraavasta kaavasta:

$N$  = pultteihin aiheutuva voima

$A$  = poikki pinta-ala

$\sigma$  = paine

$$N = \sigma A$$

$$\sigma = 5 \text{ bar} = 0,5 \text{ MPa}$$

$$A = \frac{584 \text{ mm}}{2} * \frac{362 \text{ mm}}{2} * \pi = 166029 \text{ mm}^2$$

$$N = \sigma A = 166029 \text{ mm}^2 \cdot 0,5 \text{ MPa} = 83 \text{ kN}$$

Käsinlaskettu tulos valittiin pulttien mitoitukseen. Ensiksi laskettiin tarvittava pultin koko, jonka jälkeen tarkasteltiin pulttien tarvittava lukumäärä. Pulttien mitoituksessa

laskettiin yhden pultin kestävyys varmuudella 1,5. Lujuusluokaksi valittiin 8.8 pultti, jonka sallittu vetomurtolujuus on 800 MPa ja sallittu vetomyötölujuus on 640 MPa.

$$\sigma = \frac{N}{A_s} \rightarrow A_s = \frac{N}{\sigma} = \frac{83\,000\,N}{\frac{640\,\frac{N}{mm}}{1.5}} = 194\,mm^2$$

Taulukosta valittiin riittävä pultin jännityspinta-ala. Tuloksena oli, että M20 pultti on riittävä varmuudella 1,5.

Pintapaine mitoitettiin laminaatin sallitun pintapaineen mukaan, joka saatiin materiaaliarvoista. Seuraavaksi on esitetty laskutoimitukset, joilla pulttien tarvittava lukumäärä selvitettiin. Laskussa on käytetty M20 pulttiin sopivan aluslevyn pinta-alaa. Varmuuskertoimeksi valittiin kolme sallitun pintapaineen suhteen. Pintapaineen oletettiin jakautuvan tasan kaikille aluslevyille. Voimasta aiheutuva pintapaine saadaan seuraavasta kaavasta:

$P$  = pintapaine

$N$  = voima

$A$  = pinta-ala

$$P = \frac{N}{A}$$

$$N = 83\,000N$$

$$A = (\pi * 18,5mm^2) - (\pi * 11mm^2) = 695\,mm^2$$

$$P = \frac{83\,000\,N * 3}{479mm^2} = 519\,MPa$$

Katkokuitumaton suurin puristusjännitys tason (12) suunnassa on 52 MPa. Pulttien kappalemääräksi saatiin siis:

$$n = \frac{519\,MPa}{52\,MPa} \approx 9,9$$

Rakenteeseen vaaditaan siis vähintään kymmenen M20 pulttia sallitun pintapaineen saamiseksi. Pulttien lukumääräksi valittiin kuitenkin 12 kpl, koska täten oli helpompaa mitoittaa pultit tasaisesti.

Pulttien reikien mitoituksessa sovellettiin pulttien mitoitusta metalliseen laippaan. Pulttien reunaehdoiksi saatiin seuraavaa:

$d$  = reiän halkaisija

$s$  = seinämän paksuus

Minimietäisyys  $1.5 * d = 1,5 * 17 \text{ mm} = 25,5 \text{ mm}$

Maksimietäisyys  $6 * S = 6 * 10 \text{ mm} = 60 \text{ mm}$ .

Pulttien lukumääräksi valittiin 12 kpl, koska laipan tuli kiristyä mahdollisimman tasaisesti, jotta vuodoilta vältytään. Pultit asetetaan laippaan tasaisin välein. Tarvittaessa pulttien lukumäärää voidaan kasvattaa, mikäli vuotoja esiintyy.

#### **4.9 Kelpuutus**

Kelpuutusosiossa tarkastellaan viiden baarin paineella ja varmuuskertoimella kymmenen tehtyjä lujuuslaskuja. Lisäksi pohditaan tulosten luotettavuutta. Kelpuutusosion kokeellinen mittaus rajattiin opinnäytetyöstä pois. Yritys hoitaa opinnäytetyön ulkopuolella kokeelliset määritykset. Kelpuutusosiossa esitellään kuitenkin tavat, joilla yritys voisi testata tuotetta.

Saadut tulokset rakenteen heikoimmista kohdista olivat järkeviä. Rakenteeseen kohdistunut tasainen paine aiheuttaa jännityskeskittymiä sinne, missä geometria muuttuu. Alaosassa suurimmat muutokset geometriassa olivat tuloputket ja tuloputkien välinen alue. Yläosassa heikoimmat kohdat asettuivat myös nopeasti muuttuvaan kohtaan eli lähtöputken pyöristykseen. Lisäksi yksi yläosan ongelmakohdista asettuu vähiten kaarevalle alueelle.

Lujuuslaskennat todettiin alustavasti luotettaviksi, koska monissa laskuissa päädyttiin samankaltaisiin tuloksiin. Lisäksi materiaalit olivat suoraan ESACompin tietokannasta, jotka ovat kokeellisesti testattuja arvoja.

Tuotteen toimintaa ei voitu varmistaa ProE-ohjelmalla, joten tuotteesta tehdään protokappale. Protokappaleella voidaan myös tehdä tarvittavat kelpuutuskokeet. Venttiilin toimita olisi saattanut olla mahdollista ANSYS-ohjelmalla, mutta käytännössä tämä olisi vaatinut erittäin haastavia analyysimääriä. Hankaluutta olisi aiheuttanut pallon liikeradan tarkasteleminen virtauksen aikana, jolloin palloa ei ole sidottu kiinni mihinkään tiettyyn koordinaatistoon.

#### **4.8.2 Mahdolliset kelpuutusmenetelmät**

Rakenteellisten kokeiden tarkoitus on varmistaa tuotteen turvallisuus, jotta henkilövaaralta vältytään. Viranomaiset vaativat paineasioissa suurien varmuuskertoimien lisäksi myös kokeelliset testaukset suunnitellulle tuotteelle. Varmentaminen on erityisen tärkeää, jos laskennassa ei ole oltu varmoja todellisista kuormista.

Suunnittelussa tuotteessa on useita epävarmuutta aiheuttavia tekijöitä, joten ne on syytä testata huolella. Ensimmäisenä voitaisiin varmistaa materiaaliarvojen paikkansa pitävyys kokeellisilla testauksilla. Testaukseen riittäisi laskennoissa käytettyjen materiaaliarvojen kaltaisen laminaatin valmistaminen ja vetokokeen tekeminen. Vetokokeesta saataisiin määritettyä murtovenymä sekä kimmomoduuli ja vetolujuus. Näitä arvoja voitaisiin verrata laskennassa käytettyihin materiaaliarvoihin.

Lisäksi valmiille venttiilille tulisi suorittaa testiajo sen käyttöolosuhteissa. Rakenteelle voitaisiin asettaa sekä staattisia kuormia että dynaamisia kuormia, joista selviäisi rakenteen kestävyys sen oikeissa käyttöolosuhteissa. Rakenteeseen kohdistuvat todelliset kuormat voitaisiin varmentaa venymäliuskamittauksella. Tuolloin rakenteeseen asetettaisiin venymäliuska-anturit, jotka mittaavat tuotteeseen kohdistuneita venymiä. Venymistä voidaan määrittää tuotteeseen kohdistuvat jännitykset.



## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tavoitteina oli saada tuote, joka kestää vaativia olosuhteita ja samalla tuotteesta piti saada kustannustehokas. Tuote saatiinkin suunniteltua määräajassa ja optimoitua niin, että se olisi mahdollisimman halpa valmistaa. Venttiilin geometria saatiin optimoitua siten, että tuotteesta tuli mahdollisimman paineenkestävä. Materiaalien kerrosrakenteet optimoitiin myös, jotta tuotteesta saatiin mahdollisimman kustannustehokas. Rakenteen seinämistä tuli kuitenkin yllättävän paksut, mutta tämä johtuu suurimmaksi osaksi tarvittavasta varmuuskertoimesta. Jos komposiittien varmuuskertoimet olisivat metallien luokkaa, seinämänpaksuus putoaisi noin viidesosaan. Tämä tarkoittaa sitä, että seinämät olisivat olleet joka puolella alle 3 mm. Herääkin kysymys, tarvittaisiinko näin suuria varmuuskertoimia, jos valmistusmenetelmiä saataisiin kehitettyä siihen suuntaan, että epävarmuutta ei syntyisi.

Samplastic Oy sai tämän opinnäytetyön tuloksena suunnitellun tuotteen. Lisäksi yritys sai viranomaisten vaatimat lujuuslaskelmat. Yrityksen tarvitsee enää siis varmentaa tuotteen kestävyys kokeellisesti. Yritys voi valmistaa tämän suunnittelun pohjalta useampaa eri kokoluokkaa skaalaamalla. Jokaiset kokoluokat on kuitenkin tarkistettava myös kokeellisesti. Mikäli ongelmia ilmenee, seinämien rakennetta täytyy tarkastella uudelleen.

Saatuja tuloksia voidaan pitää uskottavina, koska laskennoissa saadut tulokset olivat jatkuvasti samankaltaisia. Jännityshuiput olivat toistuvasti niissä kohdissa, joissa oli muuttuvia muotoja. Lisäksi seinämärakenteet olivat varsin yhtenäiset laminaattiteorian kanssa. Teorian mukaan suurimmat kuormat kohdistuvat kerrosrakenteiden pinnoille, minne laitettiinkin kudosta vahvikkeeksi. Materiaalitietoja voidaan myös pitää luotettavina, koska materiaalien ominaisuudet ovat suoraan ESACompin materiaalikirjastosta. Nämä arvot on saatu useiden kokeiden keskiarvon kautta.

Opinnäytetyön tekeminen sujui varsin hyvin ilman ylitsepääsemättömiä ongelmia. Itseleni opinnäytetyö antoi varsin kattavan yleiskuvan koko tuotteen suunnitteluprosessin vaiheista. Työn aikana huomasin, kuinka suuri apu lujuuslaskentaohjelmistoista on tuo-

tesuunnittelun aikana. Emme olisi saaneet niin suurta paineenkeston optimointia pelkäämään arvailemalla geometriaa. Lisäksi optimaalisten seinämärakenteiden löytäminen olisi ollut paljon työläämpää. Työssä tuli huolellisen määrittelyn ja alkusuunnittelun tärkeys hyvin esille. Mikäli todelliset paineet olisi mietitty tarkoin ennen työn aloittamista, olisi säästyty monilta ylimääräisiltä vaiheilta.

Työtä helpotti se, että ANSYS-lujuuslaskentaohjelmisto oli ennestään tuttu, ja ACP:n ongelmassa tekninen tuki oli erittäin hyvä. Tästä suuri kiitos kuuluu Componeeringin Harri Katajistolle. Opinnäytetyö oli mielenkiintoinen ja varsin haastava. Venttiili saatiin suunniteltua aikataulussa, mutta kirjoittamisprosessi venyi. Ajankäyttösuunnitelma olisikin varmasti helpottanut kirjoitusprosessia.

## LÄHTEET

1. Hämmäläinen H. Tampereem Teknillinen Yliopisto. [Viitattu: 6. 11 2010.] Lujitemuovitekniikka eri toimialoilla.  
<http://www.tut.fi/plastics/polyko/materiaalit/MAMK/MPDF/Lujitemuovitekniikka%20eri%20toimialoilla-1.pdf>.
2. Saarela, O., Airasmaa, I., Kokko, J., Skrifvars, M. & Komppa, V. 2003. Komposiittirakenteet. Helsinki: muoviyhdistys Ry.
3. Katajisto H, Componeering Oy. Puhelinkeskustelu 2011.
4. Blom, Lahtinen, Nuutio, Pekkola, Pyy, Rautiainen, Sampo, Seppänen, Suosara. Koneenelimet ja mekanismit. Helsinki 2006: Edita publishing Oy ISBN 951-37-2903-6.
5. Nupponen E. Luentomateriaali: Koneenelimet. Joensuu. 2010. PKAMK.
6. Nuutamo V. Luentomateriaali: Muovituotteen valmistus. PKAMK.
7. Nuutamo V. Luentomateriaali: Laminaattiteoria Joensuu. 2006. PKAMK.
8. Haklift ABT Oy [Viitattu 26.4.2012] Nostosilmukat.  
[http://www.haklift.com/uploads/files/Tuoteryhma\\_4\\_2.pdf](http://www.haklift.com/uploads/files/Tuoteryhma_4_2.pdf)

## **LIIKTEET**

1. Seinämärakenteet kymmenen baarin paineella
2. Seinämärakenteet viiden baarin paineella
3. Kudoksen materiaaliarvot
4. Katkokuitumaton materiaaliarvot
5. Työpiirustukset
6. Vahvikkeet ja kerrosjärjestys





Ply : **E;Isophthalic;F-.470/300/25**Keywords : Fiber;Glass;Matrix;Polyester;  
Modified : Mon Jan 11 10:54:38 2010Physical nature : **reinf.ply**      Mech. behavior : **orthotropic**  
Form of reinf. : weave, plain

$$t = 0.47 \text{ mm} \quad m_A = 723.8 \text{ g/m}^2 \quad V_f = 25\%$$

$$\rho = 1540 \text{ kg/m}^3 \quad f_{1/2} = 50/50\%$$

**Engineering constants** (orthotropic)

$$E_1 = 13 \text{ GPa} \quad G_{12} = 2.2 \text{ GPa} \quad \nu_{12} = 0.14$$

$$E_2 = 13 \text{ GPa} \quad G_{31} = 2.1 \text{ GPa} \quad \nu_{13} = 0.3$$

$$E_3 = 5.5 \text{ GPa} \quad G_{23} = 2.1 \text{ GPa} \quad \nu_{23} = 0.3$$

**Thermal and moisture expansion coeff.** (orthotropic)

$$\alpha_1 = 14 \text{ e-6/}^\circ\text{C} \quad \beta_1 = 0 \text{ e-2/w}\%$$

$$\alpha_2 = 14 \text{ e-6/}^\circ\text{C} \quad \beta_2 = 0 \text{ e-2/w}\%$$

**First failure stresses and strains - Nominal** (orthotropic)

$$X_t / X_{\text{eps},t} = 195 \text{ MPa} / 1.5 \% \quad X_c / X_{\text{eps},c} = 170 \text{ MPa} / 1.30769 \%$$

$$Y_t / Y_{\text{eps},t} = 195 \text{ MPa} / 1.5 \% \quad Y_c / Y_{\text{eps},c} = 170 \text{ MPa} / 1.30769 \%$$

$$Z_t / Z_{\text{eps},t} = 55 \text{ MPa} / 1 \% \quad Z_c / Z_{\text{eps},c} = 55 \text{ MPa} / 1 \%$$

$$S / S_{\text{eps}} = 35 \text{ MPa} / 1.59091 \% \quad (12)$$

$$R / R_{\text{eps}} = 21 \text{ MPa} / 1 \% \quad (31)$$

$$Q / Q_{\text{eps}} = 21 \text{ MPa} / 1 \% \quad (23)$$

**Ultimate stresses and strains - Nominal** (orthotropic)

$$X_t / X_{\text{eps},t} = - \text{MPa} / - \% \quad X_c / X_{\text{eps},c} = 170 \text{ MPa} / 1.35 \%$$

$$Y_t / Y_{\text{eps},t} = - \text{MPa} / - \% \quad Y_c / Y_{\text{eps},c} = 170 \text{ MPa} / 1.35 \%$$

$$Z_t / Z_{\text{eps},t} = - \text{MPa} / - \% \quad Z_c / Z_{\text{eps},c} = - \text{MPa} / - \%$$

$$S / S_{\text{eps}} = 35 \text{ MPa} / 2 \% \quad (12)$$

$$R / R_{\text{eps}} = - \text{MPa} / - \% \quad (31)$$

$$Q / Q_{\text{eps}} = - \text{MPa} / - \% \quad (23)$$

Insufficient stress/strain data for DLF analyses!

**Processing data**

Applicability : wet lay-up;resin transfer molding

**Comment**

GENERAL COMMENTS

\* Typical data at room temperature (25°C) with moisture weight content 0.5% and void volume content less than 3.0%.

## MECHANICAL DATA

\* Certain ( $X_c$ ,  $Y_c$ ,  $S$ ) first failure and ultimate stresses are considered to be identical.

Ultimate tensile strength

 $X_{t,U}$       240 MPa $Y_{t,U}$       240 MPa

Ply : **KCC CSM 501-600**

Modified : Tue Jan 05 11:55:57 2010

Physical nature : **reinf.ply**      Mech. behavior : **transv.is.12**

Form of reinf. : -

$$t = 1.256 \text{ mm} \quad m_A = 1823.71 \text{ g/m}^2$$

$$\rho = 1452 \text{ kg/m}^3$$

**Engineering constants** (transv.is.12)

$$E_1 = 13.74 \text{ GPa} \quad G_{12} = 5.28462 \text{ GPa} \quad \nu_{12} = 0.3$$

$$E_2 = 13.74 \text{ GPa} \quad G_{31} = 2 \text{ GPa} \quad \nu_{13} = 0.3$$

$$E_3 = 4 \text{ GPa} \quad G_{23} = 2 \text{ GPa} \quad \nu_{23} = 0.3$$

No thermal/moisture expansion coefficients specified!

**First failure stresses and strains - Nominal** (transv.is.12)

$$X_t / X_{\text{eps},t} = 123.9 \text{ MPa} / 0.901747 \% \quad X_c / X_{\text{eps},c} = 123.9 \text{ MPa} / 0.901747 \%$$

$$Y_t / Y_{\text{eps},t} = 123.9 \text{ MPa} / 0.901747 \% \quad Y_c / Y_{\text{eps},c} = 123.9 \text{ MPa} / 0.901747 \%$$

$$Z_t / Z_{\text{eps},t} = 40 \text{ MPa} / 1 \% \quad Z_c / Z_{\text{eps},c} = 40 \text{ MPa} / 1 \%$$

$$S / S_{\text{eps}} = 52.8462 \text{ MPa} / 1 \% \quad (12)$$

$$R / R_{\text{eps}} = 20 \text{ MPa} / 1 \% \quad (31)$$

$$Q / Q_{\text{eps}} = 20 \text{ MPa} / 1 \% \quad (23)$$

#### Product data

Manufacturer : KCC Corporation

Type : CSM 501-600

#### Comment

GENERAL COMMENTS

Chopped Strand Mat; CSM 501-600, weight of the CSM 600g/m<sup>2</sup>

\* Reference: DET NORSE VERITAS TYPE APPROVAL CERTIFICATE, CERTIFICATE NO. K-3109

#### MECHANICAL DATA

\* Young's Modulus is the mean value in tension.

\* Tensile strength value is the minimum value. It is assumed that strength in compression equals to strength in tension.

\* CSM is isotropic in the 12-plane.

\* Poisson ratio's are assumed to be 0.3 Young's Modulus in the out-of-plane normal direction is assumed to be 4GPa. Out-of-plane shear moduli are assumed to be 2GPa.

\* Other failure values than tensile strength are assumptions. A failure strain of 1.0% is used.

\* Following standards were used to produce the data:

Tensile strength                    ISO 527

Tensile modulus                    ISO 527

Tensile elongation                ISO 527

Glass content ISO 1172

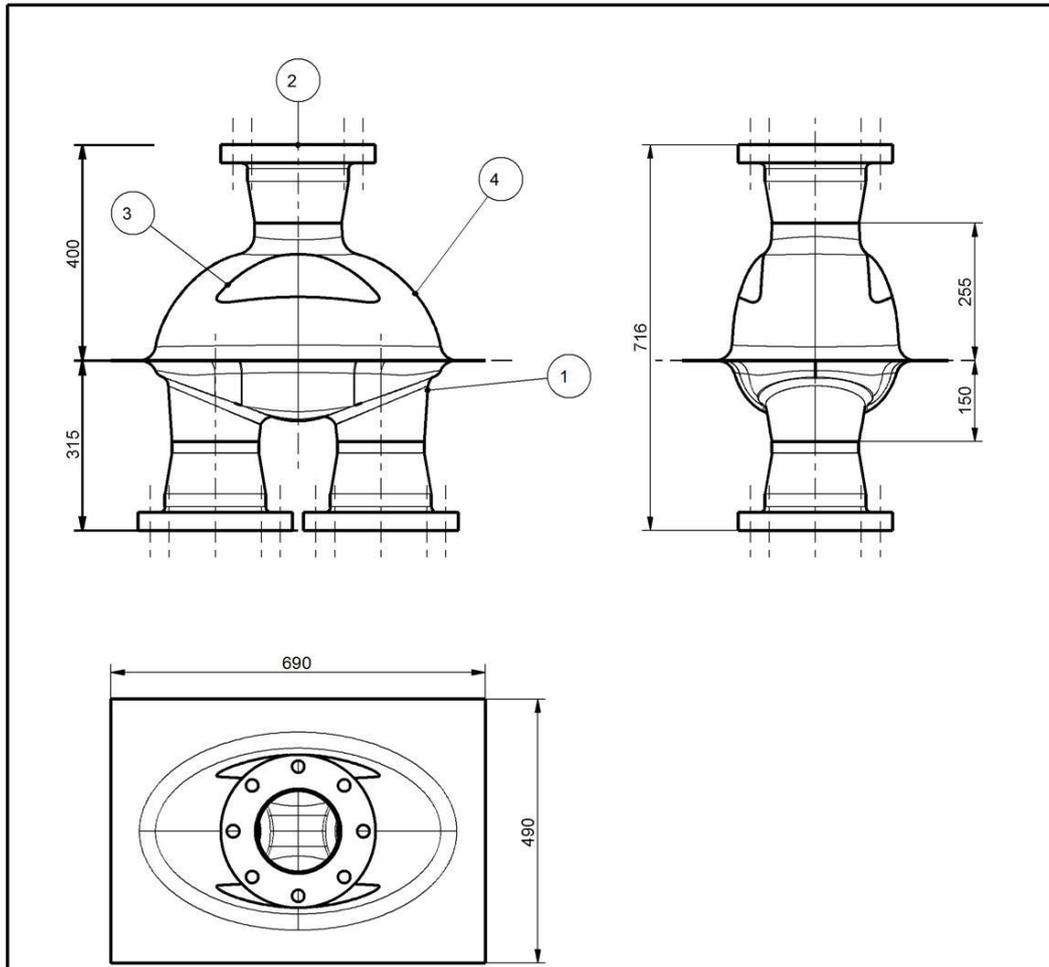
Tensile elongation equals to 2.8%.

Glass content equals to 32.9% (weight).

Resin used for Type Testing: Polystar R 235 SE (polyester)

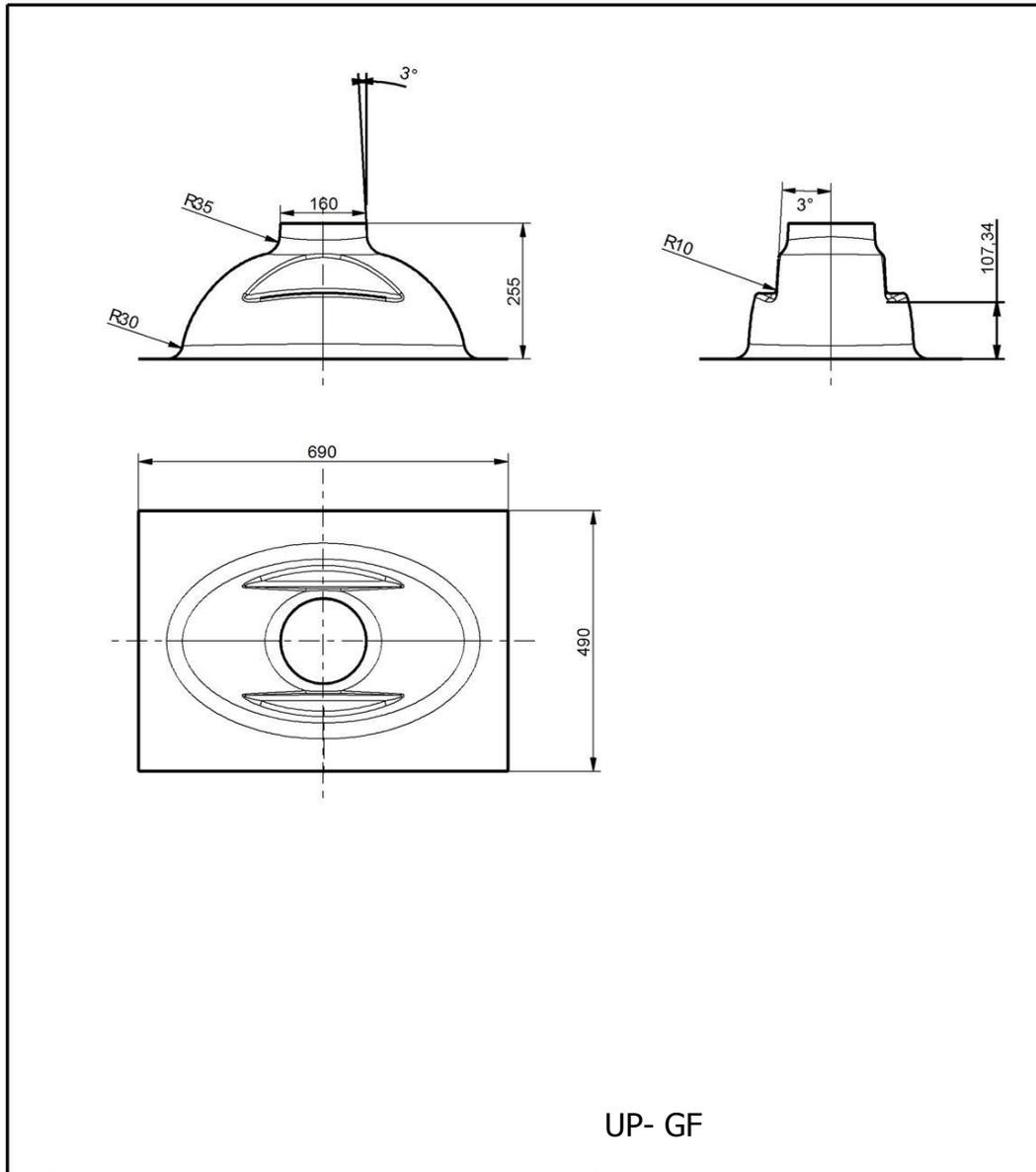
Curing procedure for Type Testing: 24 hrs at room temperature, 16 hrs at 40°C





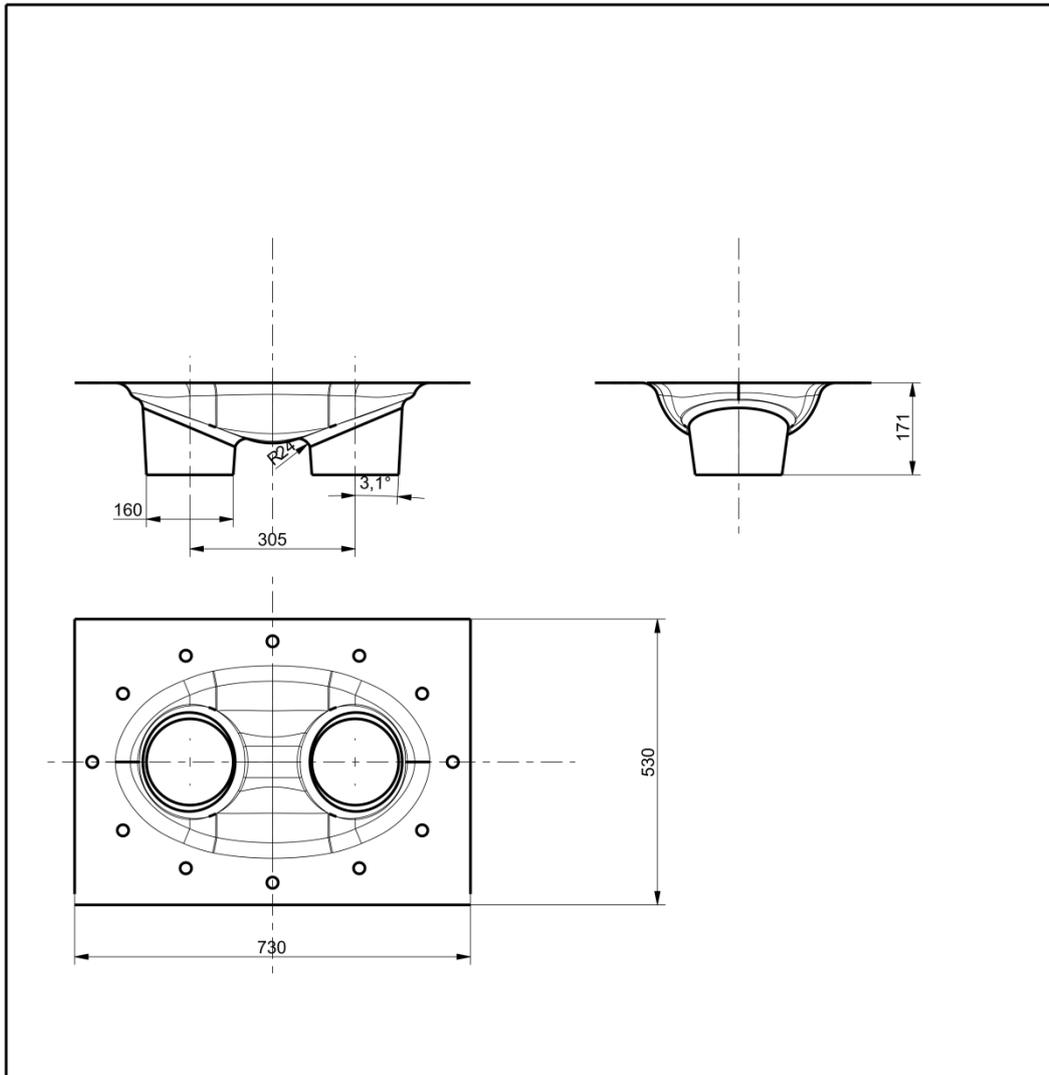
UP- GF

4		YLAOSA_					1
3		YDINAINES					2
2		KIINTOLAIPPA					3
1		ALAOSA2					1
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl	
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liitty	Lajimerkki			
	1:10	Venttiili	Venttiili	Nimitys			
				VENTTIILI			
Piirt	160811 Ville Heiskanen		<p style="font-size: 2em; font-weight: bold;">PKAMK</p>		Ent	Uusi	Rev
Suun					Piirustusnumero		
Tark	Massa				01		
Hyv							



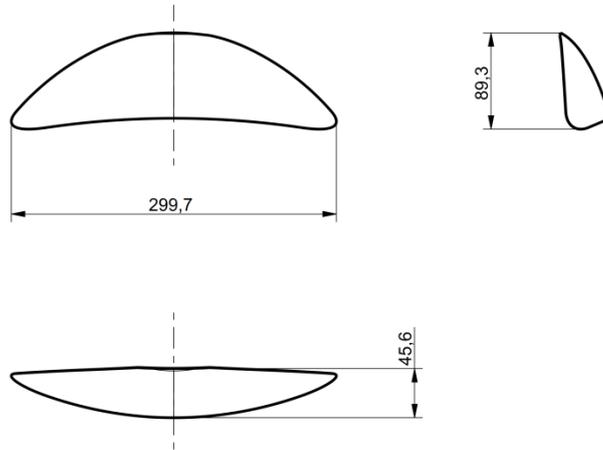
UP- GF

Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki	Nimitys
		1:10	Yläosa	Venttiili		YLAOSA_
Piirt	160811 Ville Heiskanen		<p style="text-align: center; font-size: 2em;"><b>PKAMK</b></p>	Ent	Uusi	Rev
Suun				Piirustusnumero		
Tark	Massa			<b>04</b>		
Hyv						



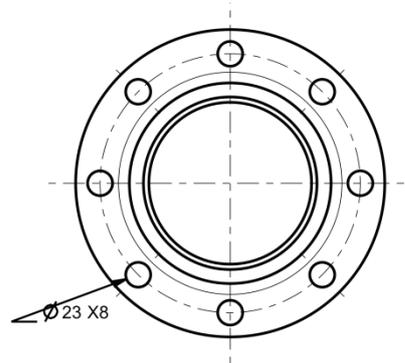
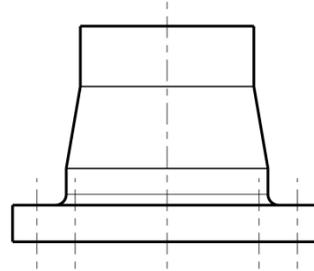
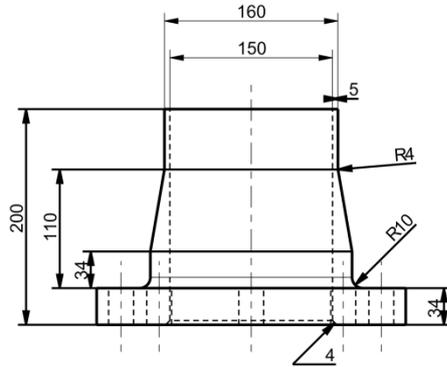
UP- GF

			NO	NO	NO		
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl	
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki	Nimitys		
	1:10	Alaosa	Venttiili		<b>ALAOSA</b>		
Piirt	220911 Ville Heiskanen		<b>PKAMK</b>		Ent	Uusi	Rev
Suun					Piirustusnumero		
Tark	Massa				<b>02</b>		
Hyv							



PUR

			NO	NO	NO			
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl		
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki	Nimitys			
	1:5	Ydinaine	Venttiili		YDINAINE			
Piirt	220911 Ville Heiskanen		<p style="text-align: center; font-size: 2em; font-weight: bold;">PKAMK</p>		Ent	Uusi	Rev	
Suun					Piirustusnumero			
Tark	Massa				04			
Hyv								

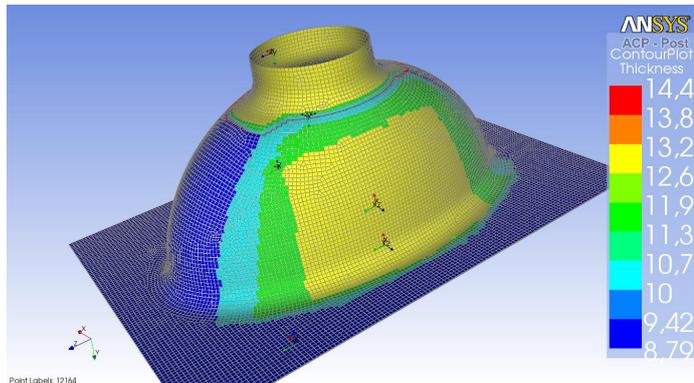


UP- GF

			NO	NO	NO			
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl		
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki	Nimitys			
	1:5	Kiintolaippa	Venttiili		<b>KIINTOLAIPPA</b>			
Piirt	220911 Ville Heiskanen		<b>PKAMK</b>		Ent	Uusi	Rev	
Suun					Piirustusnumero			
Tark	Massa				<b>05</b>			
Hyv								

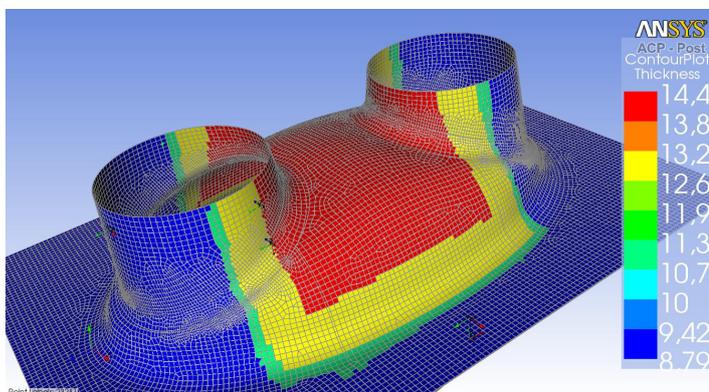
### Vahvikkeet ja kerrosjärjestys

Vahvikealueet porrastetaan kuvien mukaisesti. Yläosa aloitetaan laminoimalla kaksi kerrosta kudosta, jonka jälkeen asetetaan insertti. Insertin päälle laminoidaan kahdeksan kudosterrosta, jonka päälle seitsemän katkokuitumattonkerrosta.



2 kudosta  
1 insertti  
8 kerrosta kudosta  
7 kerrosta katkokuitumattoa

Alaosa aloitetaan laminoimalla kuusi kudosterrosta. Kudoksen päälle laminoidaan kahdeksan kerrosta katkokuitumattoa. Katkokuitumatton päälle laminoidaan taas kuusi kudosterrosta



6 kerrosta kudosta  
7 kerrosta katkokuitumattoa  
6 kerrosta kudosta



