

LAB ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Konetekniikan koulutusohjelma
Suunnittelu

Juha Mikkola

Rotaatiomuovatus asennuskaukalon suunnittelu annostelupumppujärjestelmien tuotteistuksen osana

Opinnäytetyö 2020

Tiivistelmä

Juha Mikkola

Annostelupumppujärjestelmien skidien suunnittelu, 32 sivua.

LAB ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Konetekniikan koulutusohjelma

Suunnittelu

Opinnäytetyö 2020

Ohjaajat: lehtori Tuomo Liimatainen, LAB ammattikorkeakoulu, Suunnittelu-
osaston esimies Tomi Rikkinen, Flowrox Oy

Opinnäytetyössä käsiteltiin teollisuuden kemikaalien annostelussa käytettävien annostelupumppujärjestelmien toimintaa, käyttötarkoitusta ja laitekokonaisuutta. Pääpaino työssä oli perehtyä rotaatiovaluna valmistettavien annostelupumppujärjestelmien asennuskaukalon suunnitteluun (muodonmuutos FEM), sekä lisävarusteena myytävän akryylista / polykarbonaatista valmistettavan laitesuojan aiheuttamia vaatimuksia kaukalon suunnitteluun.

Opinnäytetyön aineiston keräämisessä käytettiin yrityksen sisällä olevaa tietämystä putkistojärjestelmistä ja pumpuista. Rotaatiomuovauksen osalta tehtiin yhteistyötä rotaatiomuovattavien tuotteiden ja etenkin niiden valumuotteja valmistavien tahojen kanssa. Näiden tietojen pohjalta muodostettiin vaadittavat osakokonaisuudet ja niistä koostettiin 3D mallit Solidworks -ohjelmistolla, ja lopuksi putkiston vaatiman tilavarauksen avulla suunniteltiin annostelupumppujärjestelmän asennuskaukalon malli.

Opinnäytetyön perusteella saatiin suunniteltua kolme erikokoista skidiä, joihin voidaan koostaa pumppujärjestelmiä isoille ja pienille tuotoille sekä erilaisille kemikaaleille. Työn raportoinnissa keskityttiin ainoastaan isoimman kaukalon suunnitteluun.

Asiasanat: rotaatiomuovaus, rotomold, valumuotti, annostelupumppu, kemikaalit, asennuskaukalo.

Abstract

Juha Mikkola

Rotomolded skid for Packaged pumping system

LAB University of Applied Sciences

Lappeenranta

Mechanical Engineering

Designer

Bachelor's Thesis 2020

Instructors: Mr Tuomo Liimatainen, Senior Lecturer, LAB University of Applied Sciences, Tomi Rikkonen, Head of engineering, Flowrox Oy

The objective of the work was to design a packaged pumping system and the skid that is used as the base unit for it.

The work was commissioned by Flowrox Oy as a part of their project of creating complete packaged pumping system combinations to be sold to industrial customers as a prebuilt compact solution where all connections are made already.

Data for this study were collected from Flowrox's internal data folders and from the product manager of peristaltic pumps Joshua Baci.

This study was carried out at Flowrox Oy and also at Saimaa University of Applied Sciences mainly because of the available access to Solidworks Simulation software for the FE analysis.

The information was gathered from literature, Internet and by interviewing Esa Kataja from Rotolink Oy and by email with jörgen mikäsennimioli from Maus GmbH

The final result of this thesis was a usable and manufacturable packaged pumping system skid that we have acquired cost estimate for manufacturing. In the future, when the project moves forward, we can use this design either as is or a basis for a refined version using all the gathered knowledge and information from this work.

Keywords: Rotomold, Rotational molding, Pumping skid, Packaged pumping skids, Packaged pumping systems.

Sisällys

1	Johdanto.....	5
2	Flowrox Oy työn tilaajana.....	5
3	Annostelupumppujärjestelmien tuotteistustarve.....	6
4	Annostelupumppujärjestelmä.....	7
4.1	Annostelupumppu.....	7
4.2	Putkisto, materiaalit ja niiden liitokset, kemikaalit, tiivisteet.....	8
4.3	Järjestelmän asennusalusta.....	9
5	Asennuskaukalon suunnittelun lähtökohdat.....	10
6	Rotaatiovalu -tekniikka.....	11
6.1	Rotaatiovalumuovilaadut.....	12
6.2	Rotaatiovalun vaiheet.....	13
7	Asennuskaukalon valmistettavuus rotaatiovalutekniikalla.....	14
8	FEM -tarkastelu suunnittelun tukena muodonmuutosten hallinnassa.....	16
9	Lisävaruste suojan suunnittelu ja kiinnityskiskojen mitoitus ja valinta.....	27
10	Pohdintaa.....	30
	Lähteet.....	32

1 Johdanto

Tässä työssä läpikäytiin teollisuuden kemikaalien annostelupumppujärjestelmien pohjana toimivan asennuskaukalon suunnittelua SolidWorks Simulation -soveluksen tietokoneavusteista Finite Element Method -laskenta ominaisuutta hyödyntäen. FEM -laskennan avulla voitiin lähes reaaliaikaisesti testata muotoillun kappaleen käyttäytymistä kuormituksen alla ja sen avulla suunnittelu suoraviivaistuu ja lopputuotteesta saatiin suunniteltua halutusti toimiva. Tämä oli erittäin edullista etenkin kyseessä olevan kappaleen kohdalla, koska se on suunniteltu valmistettavaksi rotaatiomuovaamalla muovista.

Työn tavoitteena on perehtyä rotaatiovaluna valmistettavien annostelupumppujärjestelmien asennuskaukalon suunnitteluun (muodonmuutos FEM), sekä huomioida lisävarusteena myytävän akryylisen / polykarbonaatista valmistettavan laitesuojan aiheuttamia vaatimuksia kaukalon suunnitteluun.

Rotaatiomuovatut kappaleet valmistetaan kahden akselin ympäri pyörivän muotin avulla muovijauheesta lämmön avulla sulattamalla, jolloin kuumentunut muovijauhe sulaa ja sintraantuu yhtenäiseksi rakenteeksi. Rotaatiomuovauksella kappaleen rakenteesta saadaan ontto, jäykkä ja kevyt. (1, s. 1-3). Erinomaisten fysikaalisten ominaisuuksien lisäksi valmistuskustannukset rotaatiomuovauksella valmistettujen kappaleiden sarjatuotannossa ovat erittäin edullisia, kalleimman osan ollessa valussa käytettävä muotti.

2 Flowrox Oy työn tilaajana

Flowrox Oy on lappeenrantalainen pitkän historian omaava teollisuusalan yritys, jonka pääasiallisia tuotteita ovat prosessiteollisuudessa käytettävät venttiilit, suodatusjärjestelmät ja pumput.

Flowrox oy:n pääpaikka on Suomessa, mutta tytäryhtiöitä löytyy Australiasta, Euroopasta, Etelä- ja Pohjois-Amerikasta, Etelä-Afrikasta, Venäjältä, Intiasta ja Kiinasta

Tuotteiden jatkuva parantaminen ja kehittäminen kuuluu Flowrox Oy:n perustointeihin ja uuden annostelupumpun suunnittelun valmistuttua sen markkina-
aseman varmistamiseksi sille haluttiin luoda valmis myyntikokonaisuus.

Flowrox oy:n lähtökohtana opinnäytetyölle oli tuotteistaa annostelupumppujärjestelmä kemikaalien annosteluun teollisuudessa. Tuotteistuksen tarkoituksena oli koostaa Flowrox Oy:n tuotevalikoimaan kuuluvista tuotteista täydellisiä peruskokonaisuuksia pumppuineen, putkistoineen, sähköineen ja asennuskaukaloineen.

Täydellisellä annostelupumppujärjestelmällä pyrittiin vähentämään tähän saakka tarjottujen täysin vapaasti valittavien ominaisuuksien, tarvikkeiden ja asennustöiden määrää, yhdenmukaistamalla putkisto-, pumppu- ja asennuskaukalo yhdistelmiä. Samalla pyrittiin vähentämään osien vaihtelevuuden aiheuttamaa suunnittelu-, kokoonpano- ja materiaalinhankinnan rasitusta, sekä mahdollistaa käytövalmiiden kokonaisuuksien houkutteleva markkinointi ja toimittaminen asiakkaille. (1.)

3 Annostelupumppujärjestelmien tuotteistustarve

Annostelupumppujärjestelmiä käytetään teollisuudessa hyvin laajasti kaikkialla missä kemikaaleja tai nesteitä tarvitse annostella tarkasti tai automaattisesti.

Järjestelmiä on koostettu ja kehitetty erilaisin teknisin ratkaisuin jo kymmeniä vuosia ja tekniikan kehittyessä automaation ja etävalvonnan määrä, sekä laitteistojen huoltovarmuus ja itsediagnoosi ovat nousseet esiin tarpeellisina ominaisuuksina. Erilaiset tekniset ratkaisut pumppujen osalta ovat moninaisia ja pumpattavasta materiaalista riippuu, minkä tyyppinen pumppu ja järjestelmä toimii parhaiten.

Järjestelmien kokoaminen on hyvin usein erittäin monivaiheinen prosessi, johon liittyy putkistosuunnittelua, automaatiota, pumpputekniikkaa, sähkö- ja automaatiotekniikkaa, sekä etenkin voimakkaiden kemikaalien kyseessä ollessa, materiaalitekniikkaa, etenkin putkistojen ja niiden liitosten tiivistämisen osalta.

Järjestelmien toimittaminen on jatkuvasti mennyt valmiimpia kokonaisuuksia kohti, mutta usein tarvitaan erillisiä käyntikertoja sähkö- ja putkiasentajalta. Flowrox annostelupumppujärjestelmän tarkoituksena on olla kokonaisuus, jonka voi kytkeä käyttöön yhdellä käynnillä.

Järjestelmän turvallisuus on myös tärkeää etenkin kemikaaliroiskeiden estämisen osalta, jota useimmat markkinoilla olevat järjestelmät eivät mahdollista. Flowrox:n annostelupumppujärjestelmässä tämä on otettu huomioon pakkaamalla putkisto ja pumpput kaikkine kytkentöineen vuototiiviiseen kaukaloon asennettuna, suojattuna lisävarusteena valittavalla, rosketiiviillä suojakannella (kuva 14.)

Valmiin kokonaisuuden tuotteistaminen mahdollistaa erikokoisten valmiiden järjestelmien kokoamisen mahdollisimman edullisesti, skaalautuvasti samoja osia käyttäen, useisiin erilaisiin käyttötarkoituksiin. Kustannustehokkuuteen pyrkimällä on mahdollista kilpailla markkinoilla, joilla valmiiden kokonaisuuksien toimittaminen on asiakkaan kannalta varmin tapa huolehtia laitteiden ja toimintojen yhteensopivuudesta, kohtuullisin kustannuksin. Yrityksille on kokonaisedullista hankkia, laitteistokokonaisuuksien monimutkaisuuden vuoksi, valmis kokonaisuus, jonka huollosta vastaa sama yritys, eikä useita ulkopuolisia urakoitsijoita ja sitä kautta riski lopputuloksen onnistumisesta on paremmin hallittavissa.

4 Annostelupumppujärjestelmä

Annostelupumppujärjestelmä koostuu kolmesta pääosasta: Annostelupumppu / -pumput, Suodattava ja paineentasaava putkistojärjestelmä ja Asennuskaukalo / -alusta.

4.1 Annostelupumppu

Annostelupumppu on järjestelmän pääosa, jonka avulla pumpattava kemikaali imetään säiliöstä ja annostellaan loppukäyttöön.

Pumpun imupuolella järjestelmä on hyvin yksinkertainen, sulkuventtiilin lisäksi linjassa on vain karkeasuodatin ennen pumppua. Pumpun painepuolelle sen sijaan useimmiten syntyy pumpputyypistä, pumpattavasta kemikaalista ja käytetystä pumppauskapasiteetista riippuen isompia tai pienempiä painevaihteluita, joita on

koitettava tasata annostelutarkkuuden säilyttämiseksi. Paineenvaihtelua vaimennetaan kalvotoimisella, säädettävällä, pulsaatiovaimentimella.

Vaimentimen lisäksi painepuolen linjassa on ylipaineventtiili ja tarpeen mukaan myös takaiskuventtiili tai vastapaineventtiili tai molemmat, riippuen loppuasiakkaan tarpeesta.

Näiden lisäksi perinteisesti putkiston yhteydessä on kalibrointisäiliö, johon mitatun kemikaalin määrän avulla pumpun annostelutarkkuutta voidaan valvoa ja tarpeen mukaan säätää pumppauksessa käytettävän kumiletkun kulumisen tai muotoutumisen mukaan. Automaation lisääntyessä tämä ominaisuus voitaneen kuitenkin tulevaisuudessa jättää pois, kun tarkalla virtausmittauksella varustettu pumppu osaa itse säätää tuottoaan kulumisen ja pumpattavan aineen viskositeettivaihteluiden mukaan.

Pumpputyyppejä on useita erilaisia, mutta useimmat tarkkaan annosteluun kykenevät annostelupumput ovat letkupumppuja. Letkupumppujen toimintaperiaate, muutamien eritavoin toteutettuna, on täysin sama; puristetaan pyörivän rullan avulla joustavaa letkua litteäksi, jolloin letkun sisällä oleva neste siirtyy eteenpäin. Rullan jättöpuolella letku pyrkii avautumaan jälleen pyöreäksi ja syntyvä alipaine imee letkuun uutta pumpattavaa.

4.2 Putkisto, materiaalit ja niiden liitokset, kemikaalit, tiivisteet

Pääasiallinen materiaali putkistoissa on PVC (Polyvinyylidikloridi) tai CPVC (Jälkikloorattu polyvinyylidikloridi, CORZAN®) niiden erittäin laajan kemikaalien keston vuoksi ja jälkimmäisen paremman lämpötilankeston vuoksi.

Putkistot pyritään aina kokoamaan liimaamalla, riittävän tiiveyden saavuttamiseksi. Käytännössä tässä tarkoitettu liima on kemikaali, joka sulattaa materiaalin pinnan hetkellisesti ja yhdistettäessä koskettavat pinnat muuttuvat yhtenäiseksi. Kierrelitoksia joudutaan kuitenkin käyttämään huoltoteknisistä syistä joidenkin osien kohdalla ja tällöin tiivistys pyritään tekemään esimerkiksi PTFE (Polytetrafluorieteeni) teipillä.

Kalvo ja tiivistemateriaaleina käytetään pumpattavasta kemikaalista ja lämpötilasta riippuen esimerkiksi: FKM (Fluorikumi, Viton®), EPDM (Eteenipropeenidieetikumi), CSM (Klorosulfonoitu polyeteenikumi, Hypalon®) ja PTFE (Polytetrafluorieteeni, Teflon®)

Letkupumppujen letkuvalikoima on oltava varsin laaja. Pumpuilla voidaan pumpata lähes 80% kiintoainesta sisältäviä aineita, joten niiden täytyy kestää myös mekaanista rasitusta ja kulutusta. Toisaalta pumpattavat kemikaalit voivat olla erittäin vahvoja, jolloin letkuilta taas vaaditaan erityisen hyvää kemikaalikestoa.

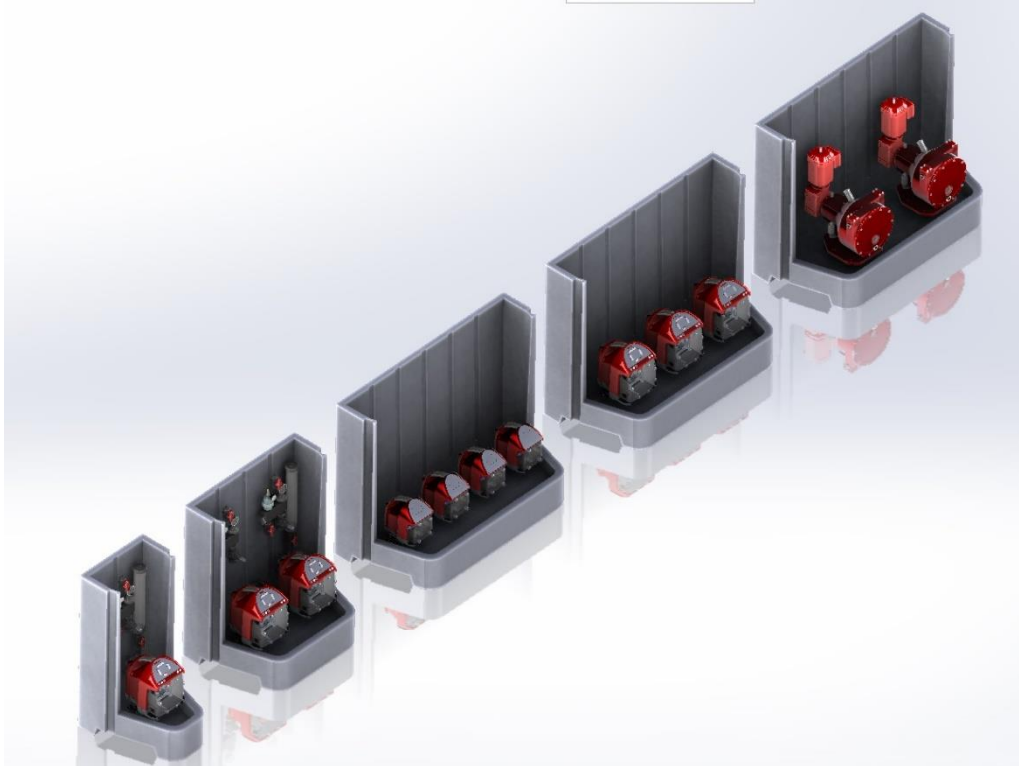
Muutamia esimerkkejä pumpattavista aineista: alkoholit, hiilivedyt, liuottimet ja hapot.

Lisäksi putkistot varustellaan asiakkaan käyttötärpeesta riippuen erilaisilla suodattimilla, paineentasaus vaimentimilla, takaiskuventtiileillä ja ylipaineventtiileillä, jotka koostuvat samoista materiaaleista kuin aiemmin mainitut tiiviste ja putkisto.

4.3 Järjestelmän asennusalusta

Annostelupumput voidaan yksinkertaisimmillaan asentaa suoraan syöttöletkun ja imuletkun väliin ilman mitään muita osia, vaikka suoraan teollisuuslaitoksen lattialle, mutta käytännössä annostelupumppujen käytön vaatimukset ovat niin tarkat, että niiden yhteydessä vaaditaan edellä mainittu putkisto.

Toimivan annostelupumppukokonaisuuden luomiseksi vaaditaan siis asennusalusta tai teline, johon pumpput ja putkistot asennetaan (Kuva 1).



Kuva 1. Annostelupumppukaukaloita eri käyttötarkoituksiin.

Monilla pumppuvalmistajilla on tarjolla oman pumppunsa yhteyteen asennusalusta, mutta pääasiallisesti niissä on huomioitu ainoastaan putkistojen ja pumpujen kiinnitys, mutta ne eivät ole nestetiiviitä tai muutoin kemikaalien vaarallisuuden huomioiden letkun rikkoutuessa millään tavalla roiskesuojattuja.

5 Asennuskaukalon suunnittelun lähtökohdat

Asennuskaukalo on tärkeä osa tuotteistusta, koska sen avulla tuote voidaan koota valmiiksi asiakkaalle toimitettavaksi kokonaisuudeksi. Asennuskaukalo toimii myös laitteiston käytön aikana mahdollisten vuototilanteiden hallinnassa, jonka vuoksi sen muotoilun on johdettava mahdolliset vuodot hallitusti pohjalle suunnitellun poistoyhteen alueelle.

Materiaaliksi on laajan kemikaalikeston vuoksi valikoitunut yleisesti muovi. Monien valmistajien tuotteet eivät silti pyri hallitsemaan vuotonesteitä, joten tässä

kohdassa Flowrox näki markkinaraon, jonka avulla pyritään saavuttamaan valmiin tuotteen osalta markkina-asemaa erityisesti koko ajan kiristyvien turvallisuusvaatimusten ansiosta.

Nestetiiveyden saavuttaminen voimakkaiden kemikaalien yhteydessä on haastavaa, jonka vuoksi kaukalo tulisi mahdollisuuksien mukaan suunnitella yksiosaiseksi, ilman saumoja. Saumallisten, levyistä esimerkiksi hitsaamalla koostettujen, kaukaloiden ongelmaksi muodostuu riittävän jäykkyyden saavuttamiseksi vaaditun levyn paksuus, joka aiheuttaa ylimääräistä painoa, sekä hitsausaumojen mahdolliset vuodot.

Yksiosaisen kappaleen valmistusmenetelmiä ovat käytännössä, joko paine- tai rotaatiovalu. Koska tässä projektissa pieninkin laitteistokaukalo on kooltaan 600 x 1200 x 750 mm, niin ainoa kustannusten kannalta järkevä vaihtoehto valmistukseen on tällöin rotaatiovalu.

6 Rotaatiovalu -tekniikka

Rotaatiomuovaus / -valu on noin 70 vuotta vanha valmistusmenetelmä, jolla voidaan verraten yksinkertaisesti ja edullisesti sarjassa valmistaa saumattomia, yksiosaisia, isoja, kestäviä, tiiviitä muoviosia, joiden ulkomuoto toimii kappaleen rakenteena ja sisäpuoli on useimmiten ontto. Isoimpina tuotteina erilaiset säiliöt, kaukalot ja astiat.

Valumuottina käytetään metallisia, useimmiten valualumiinista valmistettuja, kaksi tai useampiosaisia muotteja. Metallista valmistettujen muottien hyvä lämmönjohtavuus on hyödyllinen ominaisuus rotaatiovalussa ja niistä on myös melko edullista valmistaa isojakin kappaleita, joskin isompiin kappaleisiin käytetään herkästi kolhiintuvan ja mahdollisesti huokoisia sisältävän alumiinin sijaan teräslievistä rakennettuja muotteja. Rotaatiovalussa muottiin ei kohdistu käytännössä oman massan ja sulattamiseen tarvittun lämpöenergian lisäksi muita rasituksia, joten muoteista voidaan tehdä kevyitä (2, s. 8).

Tekniikan etuna on muotin rakentamisen jälkeen erittäin edullinen kappaleen sarjavalmistuskustannus. Rotaatiovalu soveltuu siis isojen kappaleiden sarjatuotantoon erittäin hyvin edullisuutensa vuoksi. Valmiin kappaleen hinta koostuu muotikustannusten osasta ja käytetystä muovilaadusta ja määrästä, muotin pyöritys, lämmitys- ja jäähdytyskustannuksista.

6.1 Rotaatiovalumuovilaadut

Muovilaatuina rotaatiovalussa käytetään pääasiassa polyeteeniä (80%) ja PVC:tä (15%) (2, s. 5.). Periaatteessa kaikki muovilaadut, jotka voidaan joko jauhemaisena lämmöllä sulattaa nestemäiseksi tai vaihtoehtoisesti emulsioida nesteeksi, joka jähmettyy lämmitessään, soveltuvat rotaatiovalussa käytettäväksi. Alla taulukko polyeteeni hartsien ominaisuuksista (Kuva 2.)

Table 3. Polyethylene resins: advantages and disadvantages

RESIN	ADVANTAGES	DISADVANTAGES
LDPE	Flexible Excellent warp resistance Consistent shrinkage Most meet FDA requirements 21CFR177.1520	No stiffness No ESCR
LLDPE/LMDPE	Excellent impact strength Excellent ESCR Good warp resistance More stiff than LDPE Most meet FDA requirements 21CFR177.1520	Less stiff than HDPE Lower heat deflection temperature
HDPE	Excellent stiffness Good impact strength Higher heat deflection temperature Most meet FDA requirements 21CFR177.1520	Low ESCR Warpage and shrinkage not consistent
Crosslinkables	Excellent impact strength Excellent ESCR	Longer molding cycle Does not meet FDA requirements
EVA Copolymers	Flexible Excellent cold temperature impact strength Consistent shrinkage Most meet FDA requirements 21CFR177.1520	No stiffness No ESCR Hard to mold

Kuva 2. Lista Polyeteenihartsien eduista ja ongelmista (2, s. 6).

Valussa käytettävän muovin ja sitä kautta lopputuotteen ominaisuuksia voidaan muokata tarpeen mukaan lisääineistamalla tai muodostamalla erilaisia yhdisteitä, joilla voidaan vaikuttaa valmiin kappaleen joustavuuteen, jäykkyyteen, sitkeyteen, väriin, UV keston yms.

6.2 Rotaatiovalun vaiheet

Rotaatiovalutekniikassa yleensä kahden akselin ympäri pyörivään muottiin laiteaan muovijauhetta, joka muottia lämmitettäessä alkaa sulaa, muodostaa muotin seinämille kerroksen, josta lopullinen valmistettava tuote syntyy. Näin saadaan aikaan ontto kappale, joka käytetystä muovilaadusta, kappaleen koosta ja muodoista riippuen, on joustava, kestävä ja kohtuullisen mittatarkka (3).

Valukappaleen ominaisuuksiin voidaan myös vaikuttaa valumuotin eri kohtien erilaisilla pintalämpötiloilla. Mitä ohuempi muotin seinämäpaksuus, sitä enemmän se lämpiää ja sitä enemmän muovijauhetta kohtaan sulaa. Vastaavasti eristämällä muotin pintaa lasketaan sen lämpötilaa ja lopputuloksena on ohuempi valuseinämä. Tällä tavoin voidaan esimerkiksi luoda lopputuotteeseen erivahvuisia seinämiä. Seinämävahvuuksilla voidaan hallita kappaleen rakenteellista käyttäytymistä ja esimerkiksi luoda haluttuun kohtaan joustava seinämä, tekemällä siitä ohuempi kuin muut osat (2, s. 9).

Valutapahtuman jälkeen muotti jäähdytetään vesisumulla tai ilmalla tai näiden yhdistelmällä, jolloin muotin reunoille syntynyt kerros alkaa jähmettyä. Muovikerroksen paksuus muotin seinämällä on Polyeteenillä noin 0,8-25 mm (2, s.1). Kappaleen jäähtymisen hallinta on tärkeää, ettei kappaleen pintoihin synny mitta- tai muotoväärityksiä aiheuttavia jännityksiä eri nopeudella jäähtyneiden alueiden välille, tai heikkoja kohtia tai kosmeettisia haittoja kappaleen pintaan.

Lopuksi muotti avataan ja valmis valukappale puretaan ulos muotista ja prosessi voidaan toistaa välittömästi. Valun jälkeen kappale on sellaisenaan käyttövalmis ja sitä voidaan työstää tai jatkojalostaa tarpeen mukaan.

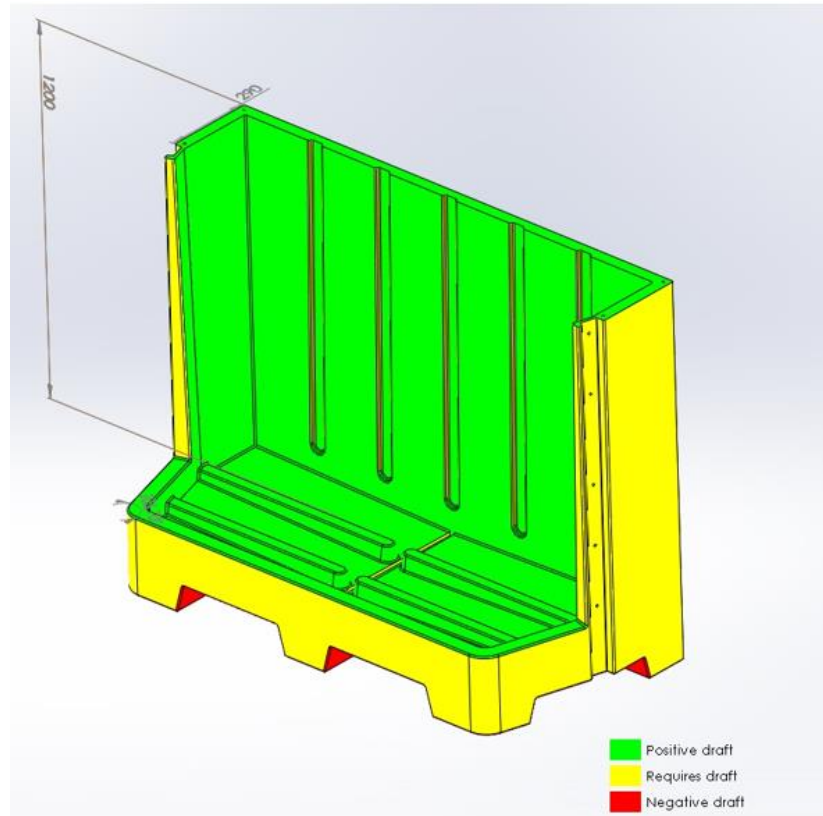
Rotaatiovalukappaleisiin kiinnitettävien muiden osien vaatimat kiinnitysosat, kuten kierresisäkkeet, voidaan sijoittaa valmiiksi valumuottiin tai asentaa jälkeensä. Käytetty muovilaatu ja kiinnityksen vaatimukset vaikuttavat siihen kumpaa menetelmää voidaan käyttää.

7 Asennuskaukalon valmistettavuus rotaatiovalutekniikalla

Annostelupumppujärjestelmän asennuskaukalon valmistaminen rotaatiomuovamalla valikoitui suunnittelun lähtökohdaksi sarjatuotannon edullisuuden, kappaleen erinomaisen nestetiiveyden ja kestävyuden vuoksi. Lisäksi ontton kaukalon lämpöeristys voidaan tehdä erityisellä kemikaalilla muovijauheen joukossa rotaatiovalun yhteydessä

Valukappaleen suunnittelussa on otettava huomioon muovien käyttäytyminen valitussa valmistusprosessissa. Yksiosaisen kaukalon valmistettavuuteen vaikuttaa koon ja muotojen toteutus huomioiden muovijauheen käyttäytyminen valun aikana. Valun aikana jauheen tulee päästä kulkemaan muotin sisällä vapaasti niin ettei jauhe kasaudu yhteen kohtaan (4).

Lämmön avulla tapahtuvan muovijauheen valaminen aiheuttaa valetun kappaleen jäähtyessä kutistumista ja se on erityisesti huomioitava valmiin tuotteen muotojen suunnittelussa, seinämävahvuuden valinnassa ja lopullisessa valuprosessissa (5). Muovit kutistuvat valun jälkeen jäähtyessään ja tämä vaatii muotin muodolta erityisiä päästöjä (Kuva 3), yleensä noin 3 – 5 astetta, (6, 7).



Kuva 3. Muotin sisäpuolisten päästöjen tarkastelua Solidworks -ohjelmistolla.

Päästöt estävät kappaletta jäähtyessään ja kutistuessaan tarttumasta tai puristumasta sisäpuolisilta muodoiltaan muotin sisäpintaa vasten, joka voisi aiheuttaa vääristymiä kappaleen muotoihin tai jopa estää sen purkamisen muotista. Isoilla kappaleilla epätasainen jäähtyminen aiheuttaa myös vääristymiä kappaleen lopullisiin muotoihin, kun jo jäähtyneen osan kutistuminen alkaa venyttää vielä kuumaa ja pehmeämpää osaa, jonka kristallisoituminen on vielä alkuvaiheessaan. (5).

Muotoja suunnitellessa kappaleen purkaminen muotista voidaan huomioida myös esimerkiksi käyttämällä erityistä irrotusainetta ja kooten muotti useammasta osasta, jolloin se voidaan myös purkaa osissa kappaleen sisältä pois. Tätä menetelmää voidaan käyttää kappaleissa, joissa muotin saumat voidaan sijoittaa

kappaleen muotoihin nähden niin, että mahdollinen muotin kuluminen tai kohdistusvirheet eivät vaikuta kappaleen ulkonäköön tai toimintaan haittaavasti.

Useammasta osasta suunniteltu muotti oli alkuperäinen ajatus, jolla olisi voitu valmistaa erikokoisia kaukaloita, mutta valmiiden tuotteiden valmistajilta, saatu palaute vaikutti päätökseen luopua ajatuksesta riskien välttämiseksi (6, 7). Moniosaisen muotin sijaan suunnittelussa pyrittiin huomioimaan päästöt mahdollisimman hyvin, kuitenkin saavuttaen halutut muodot.

Riittävien päästöjen saavuttaminen muodostuikin lopulta ongelmaksi, kun tarjouksia pyydettiin useammalta yritykseltä ja selvisi että eri yrityksillä on erilaiset minimivaatimukset muottien päästöille. Tämä on varsin yleinen ongelma muidenkin valutuotteiden kanssa; toiselle valmistajalle sopivan suunnitelman, jossa päästöksi oli suunniteltu noin 5° olikin ongelma toiselle valmistajalle, joka esitti minimi päästöiksi samalle kappaleelle 15° minimipäästöä (7).

8 FEM -tarkastelu suunnittelun tukena muodonmuutosten hallinnassa

Muovikaukaloiden on tarkoitus toimia erilaisissa teollisuusympäristöissä ja tällöin ne myös asennetaan erilaisin tavoin. Kaukalon suunnittelussa pyrittiin huomioimaan kolme erilaista asennustapaa, sellaisenaan maassa seisovana, telineellä maasta ylös nostettuna tai seinälle kiinnitettynä erillisen seinätelineen avulla.

Näiden lisäksi kaukalon pohjaan mallinnettiin yleismaailmallisesti mahdollisimman sopivat urat haarukkanostimelle, jolloin isoimmassa koossaan varsin painava annostelupumppukokonaisuus voidaan nostaa esimerkiksi seinätelineelle suoraan paikalleen nostimen avulla.

Rotaatiomuovaamalla valmistetun ontton kappaleen lujuus perustuu lähes yksinomaan sen muotoiluun sekä myös valittuun muovilaatuun.

Rotaatiomuovauksessa muotoillaan tuotteeseen erilaisia jäykistäviä muotoja sekä erityisiä vahvikkeita, kiss-offeja, mutta niiden käyttämisessä ja muotoilussa on huomioitava ja perehdyttävä muovijauheen käyttöön valun aikana (8).

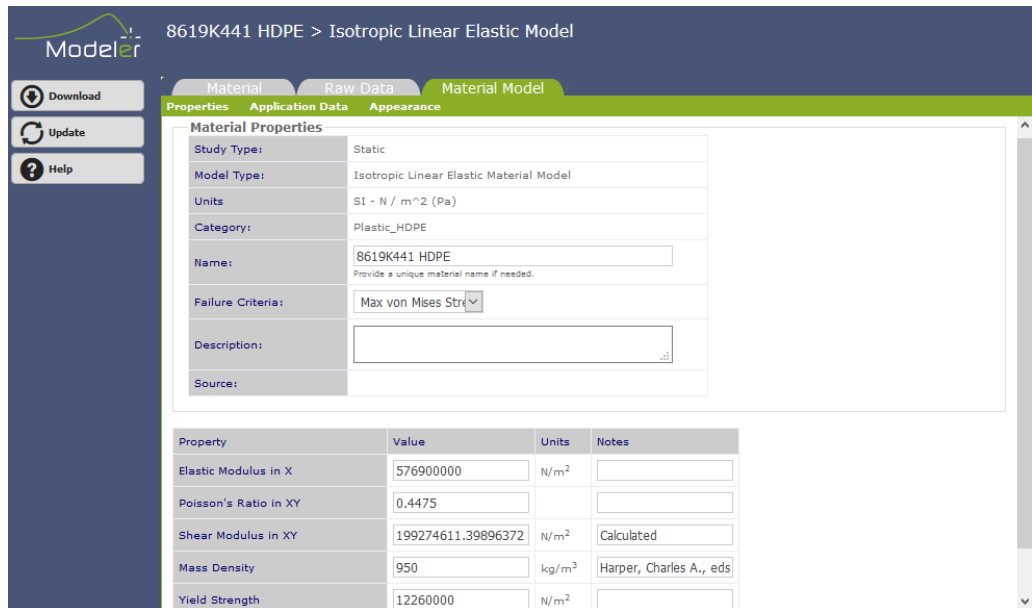
Isokokoisimman, 1600 mm leveän kaukalon on kannettava neljästä pumpusta ja niiden putkistoista koostuva kokonaisuus (kuva). Näiden yhteispaino suunnittelun kohteena olevissa laitteistoissa voi enimmillään olla noin 170 kg, joten vaikka valumuovina käytettäisiin kuituvahvistettua HDPE muovia, niin rakenteeseen on saatava rakennettua muotoilulla mahdollisimman tehokkaita jäykisteitä. FEM tarkastelu on välttämätöntä tuotteen suunnittelun yhteydessä jäykisteiden muodostamisen, rotaatiomuovauksen vaatimusten, sekä muovin erityisen muodonmuutosmekaniikan vuoksi, jotta vahvikkeiden toiminta voidaan varmistaa ennen muotin tekemistä.

Muovin muodonmuutos ei ole terästen tapaan lineaarinen, vaan erittäin epälineaarinen. Tämä tarkoittaa, että kimmainen venymä / muodonmuutos ei käyttäydy yhdenmukaisesti kuormituksen lisääntyessä, vaan materiaali on aluksi jäykempi ja jossain vaiheessa samansuuruinen kuormituksen lisäys aiheuttaakin suuremman kimmoisen muodonmuutoksen ja lopulta muodonmuutoksesta tulee pysyvä. Muovin ominaisuudet muuttuvat myös käyttöympäristön lämpötilan mukaan, esimerkiksi useimmille muoveille on tehty jännitys- / venymäkäyrästöt -20, +23 ja +60 °C lämpötiloissa.

Kyseessä olevan annostelupumppujärjestelmän maksimi käyttölämpötilaksi on päätetty +60°C, joten tämä tulee huomioida FEM mallinnuksen asetuksissa SolidWorks -ohjelmiston materiaaliasetuksissa.

Asennuskaukalon FEM tarkastelu tehdään tässä työssä materiaalin lineaarisen muodonmuutoksen alueella staattisena mallinnuksena, koska tarkoitus olisi, että tarkastelun tuloksena valmiissa rakenteessa olisi riittävästi varmuutta huomioidaan pumppaamisesta syntyvien värähtelyjen ja painevaihteluiden aiheuttamat muuttuvat kuormitukset ilman että ollaan materiaalin kestävyysrajoilla tai aiheutetaan sellaisia muodonmuutoksia, jotka haittaisivat laitteiston toimintaa.

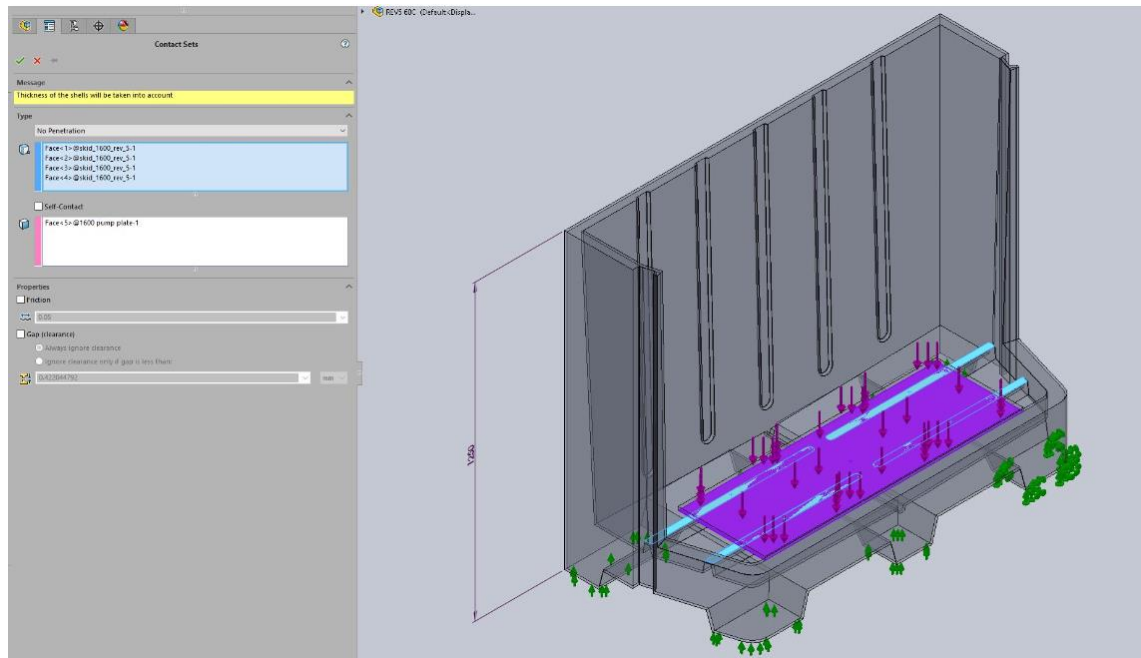
Ensimmäisenä FEM -tarkastelun asetuksissa määritellään simuloinnissa käytettävä materiaali. Materiaaliksi oli siis valittu korkeatiheyksinen polyeteeni, jonka ominaisuudet on Solidworksin vakio materiaalikirjastossa kirjattu vain 23°C lämpötilassa. Solidworks simulaatio -lisäosan täysversiossa on mahdollisuus käyttää Matereality materiaalikirjastoja, joista löytyi tarkastelussa tarvittut arvot HDPE muoville 60°C lämpötilassa (Kuva 4).



Kuva 4. Matereality kirjaston arvot HDPE muoville 60°C lämpötilassa (9)

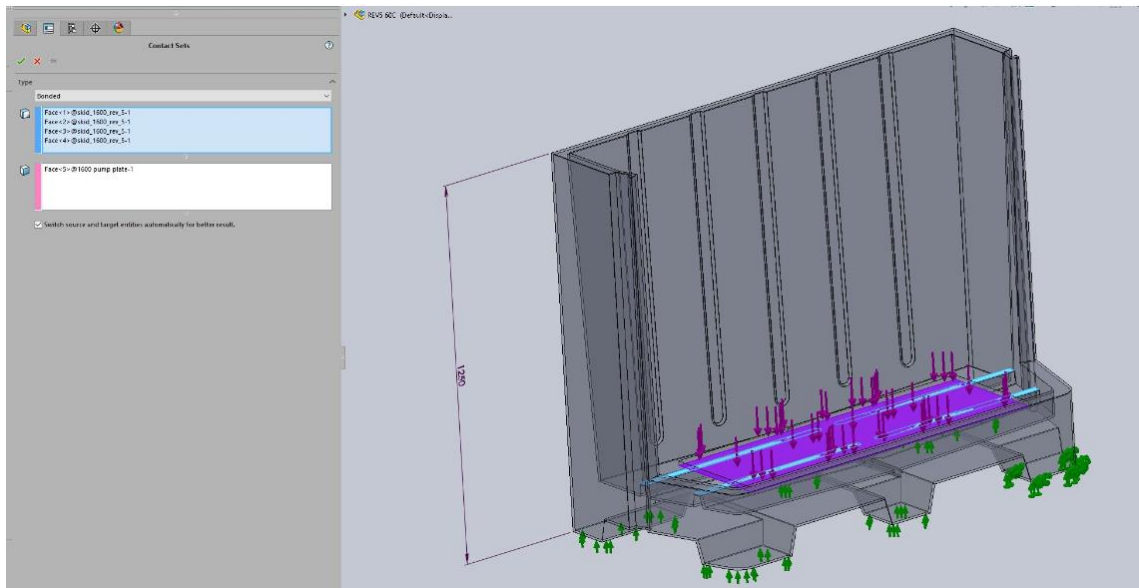
Materiaalin valinnan jälkeen tarkasteltavan kokoonpanon sidokset toisiinsa on asetettava simulaation asetuksissa.

Tässä työssä tarkastellun kokoonpanon osina ovat itse skidin lisäksi pumppujen alle asennettava 15 mm paksu HDPE levy, joka ruuvataan skidiin pumppujen kiinnitysalustaksi (Kuva 5).



Kuva 5. FEM tarkastelun osien kontaktien määrittely toisiinsa.

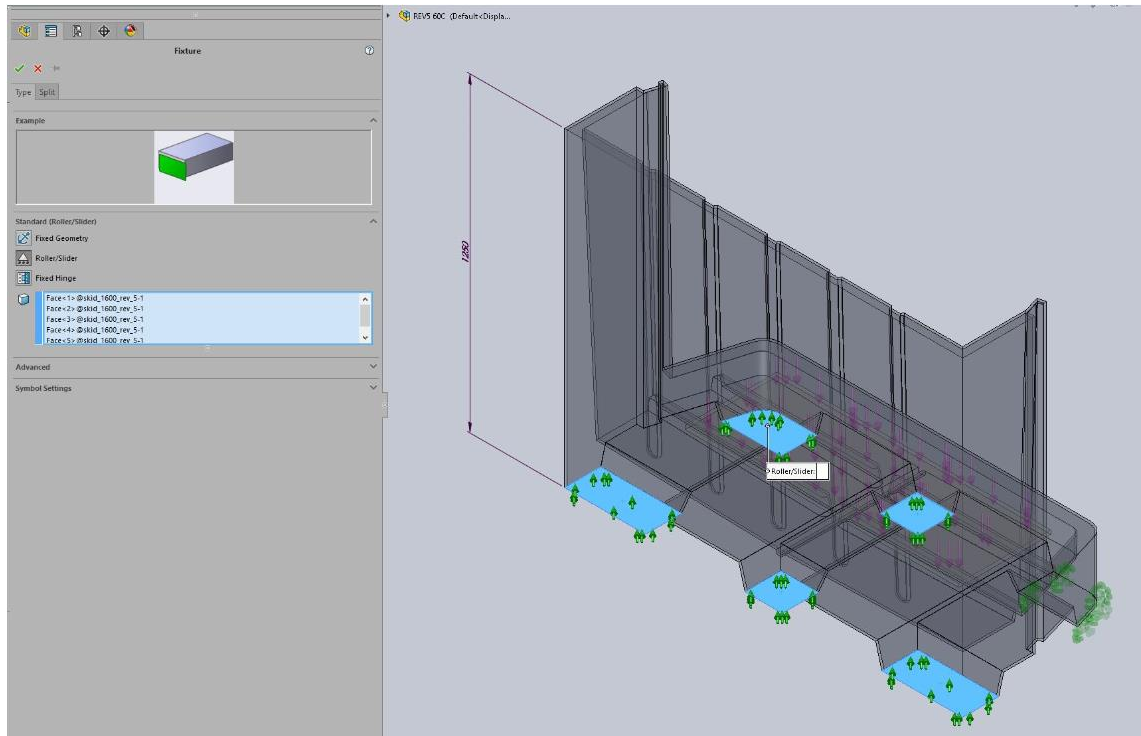
Yksinkertaistuksen vuoksi ja simulaation epätarkkuuksien minimoimiseksi tämä pumppujen kiinnityslevy tarkastellaan niin, että se on vain asetettu skidin pohjalle ja sitä kautta jakamaan kuormia skidiin, ilman että kiinnitysten lujuutta tarkastellaan. Tämä nopeuttaa laskentaa ja ehkäisee kolmioverkon luonnin virheitä ja vähentää virheellisten tulosten mahdollisuutta. Levyn tarkastelussa käytetään myös vaihtoehtoisesti kiinnitystä, jossa oletetaan levyn kiinnityksen olevan täydellinen skidiin, jolloin sen liitokset eivät myöskään aiheuta virheitä, mutta voidaan teoriassa huomioida tukevan kiinnityksen vaikutus kokoonpanon jäykkyyden kasvamiseen (Kuva 6).



Kuva 6. Vaihtoehtoinen, täysin yhtenäinen, kontakti osien välillä.

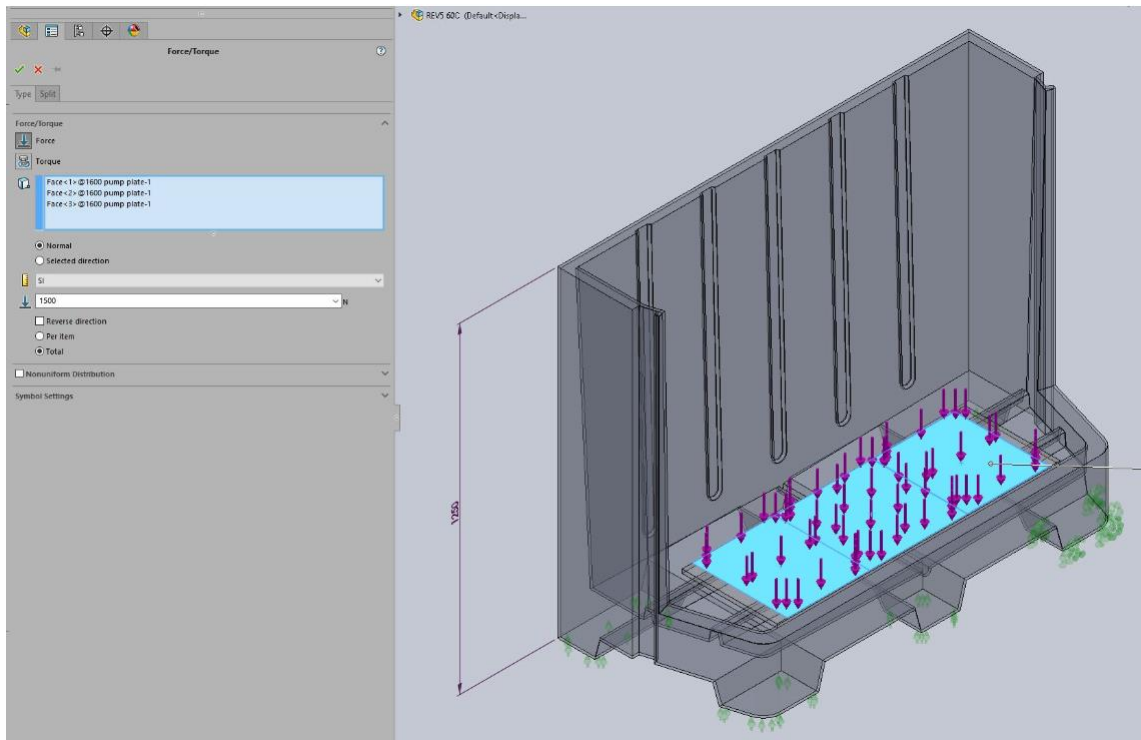
Asetamme kappaleiden väliset kiinnitykset (constraints) siis kohtaan "no penetration" ja vaihtoehtoisesti käytetään "bonded", jolloin kosketuksessa olevat pinnat ovat täydellisesti kiinni toisissaan.

Tämän jälkeen määritellään kappaleen tuennat maailmaan, ja asetamme kappaleen kuudesta jalasta yhden täysin jäykästi maahan ja loput viisi niin, että niiden sallitaan liukua sivuttaissuunnissa, muttei pystysuunnassa. Tällä tavoin kappaleen muodonmuutokset pääsevät johtumaan vapaasti lattiaan. Todellisuudessa kappaleen etukulmissa sijaitsevat jalat on tarkoitus kiinnittää lattiaan mekaanisesti, mutta tarkastelussa haluttiin huomioida isoimman muodonmuutoksen vaihtoehto ilman kiinnityksiä (Kuva 7).



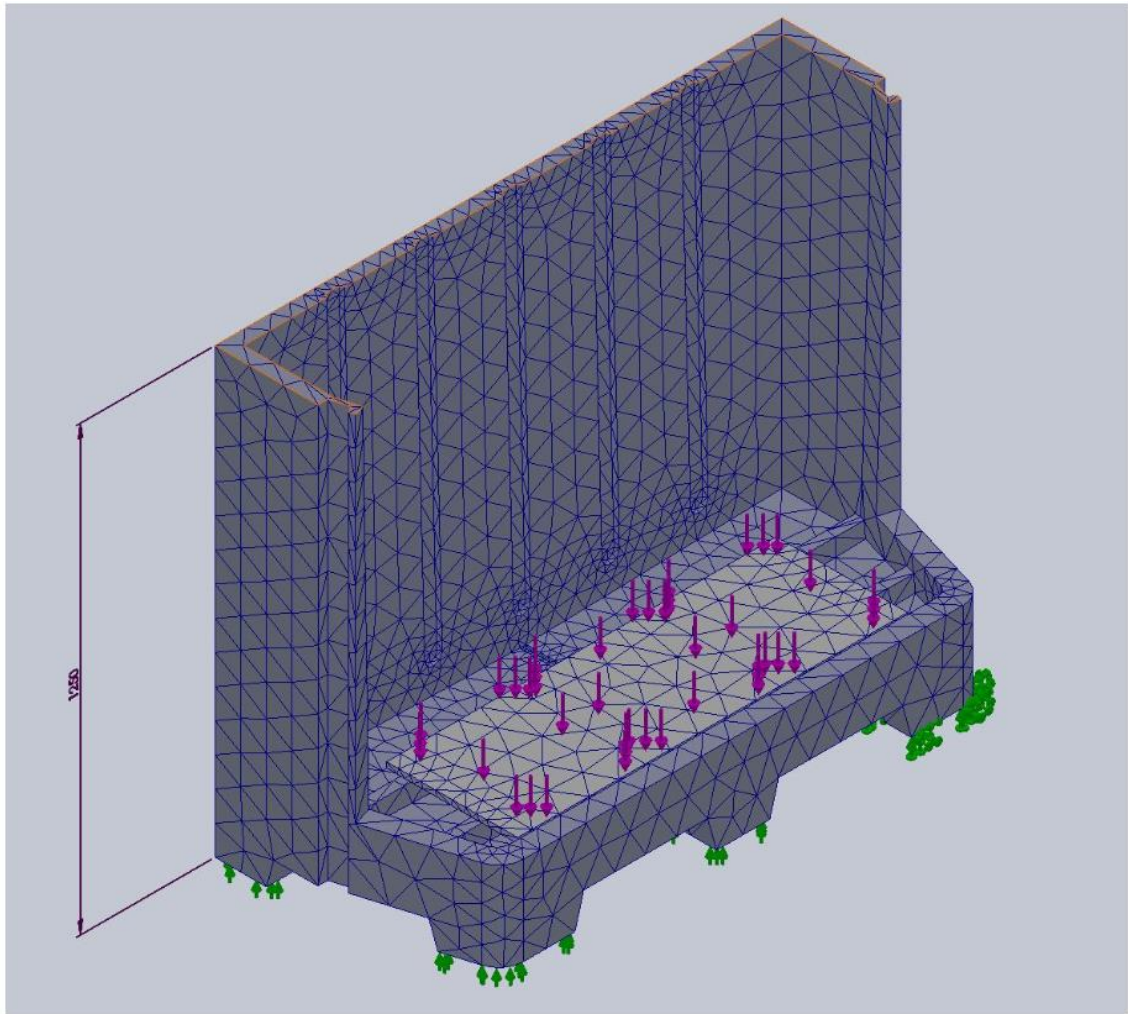
Kuva 7. Tarkasteltavan kokoonpanon tuennat. Sinisellä vain pystysuuntaan tukevat ja väritön on kiinteä kaikkiin suuntiin nähden.

Tämän jälkeen määritellään suurin kuormitus, jolla pumppujen asennuslevyn kautta itse skidiä kuormitetaan. Asetamme pumppulevyllä yhteensä noin 1500 N kuorman, joka kuvastaa asennusta jossa 4 isointa pumppua on asennettuna skiidiin (Kuva 8).



Kuva 8. Pumppujen aiheuttama kuormitus asennuskaukalolle.

Nyt jäljellä on enää kolmioverkon muodostaminen ja sen asetuksissa valitaan yhdistetty malli mahdollisimman pienillä kolmioilla optimoiden laskennan tarkkuus käytetyn mallin kanssa (Kuva 9).



Kuva 9. FEM -tarkastelu tehdään jakamalla kappale kolmioverkoksi.

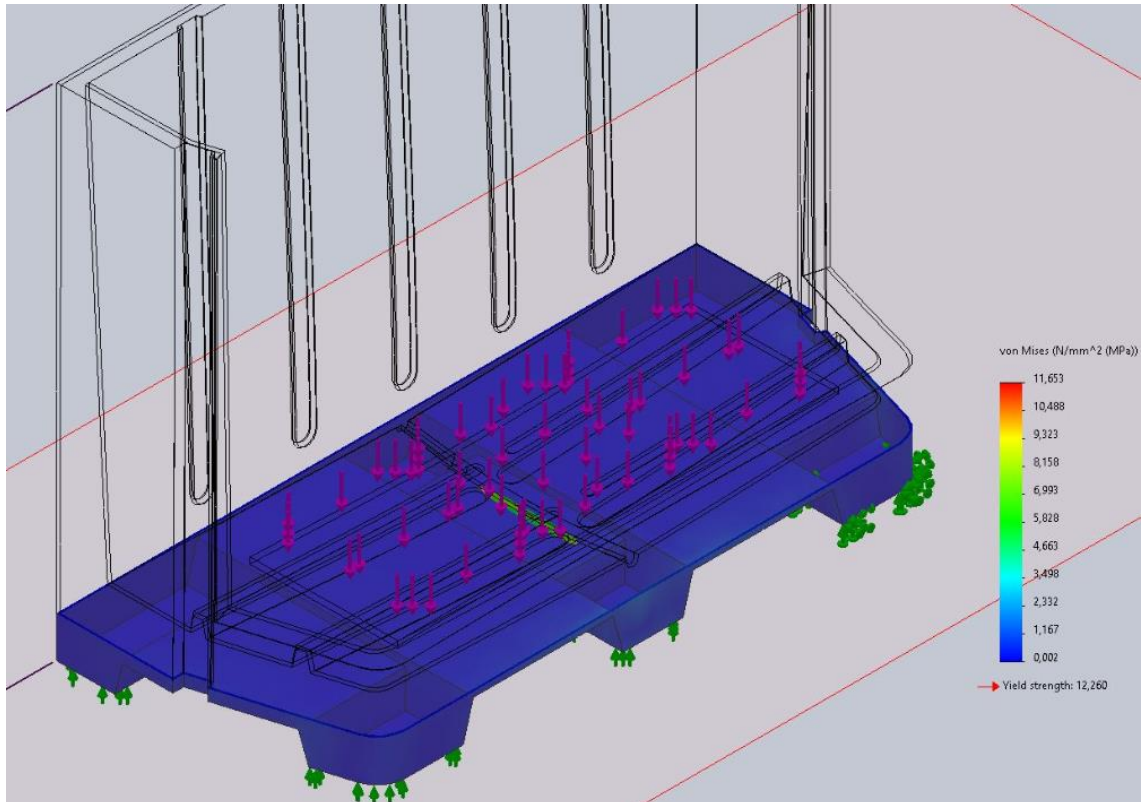
Kaukalon mallinnuksessa on poistettu kaikki nurkkapyöristykset, jotka yleensä tulisi olla vähintään seinämävahvuuden verran (4) eli kyseisessä kappaleessa noin 5 mm säteellä, koska moninaisten muotojen vuoksi se aiheutti toivottoman määrän ongelmia kolmioverkon mallinnuksessa. Joten saadaksemme laskentaa yleensäkin tehtyä, yksinkertaistettiin mallia hieman.

FEM -tarkastelussa tarkastelemme kappaletta muutamissa eri variaatioissa lisäten vahvikkeita havaittuihin heikompiin kohtiin ja havainnoiden niiden vaikutukset muodonmuutoksiin ja rasituksiin kappaleessa.

Alla olevissa tuloksissa huomataan, kuinka paljon pienillä muutoksilla saadaan jäykkyyttä kappaleeseen. Malliin suunniteltujen kiss-off jäykisteiden käyttäminen sellaisenaan voi kuitenkin tuottaa vaikeuksia valun aikana. Onton sisätilan kat-

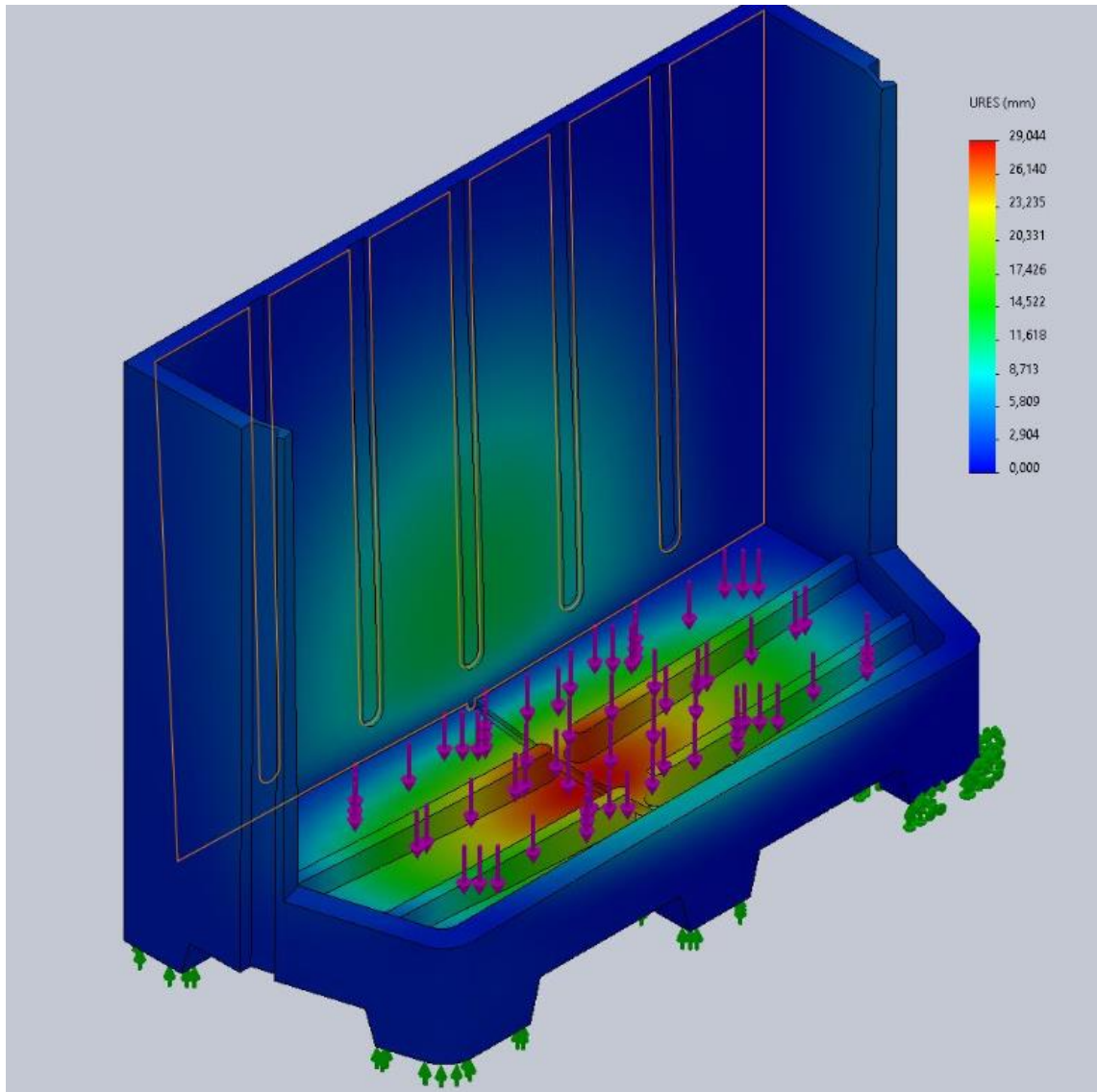
kaiseva muoto voi aiheuttaa muovijauheen kertymistä kapeimpiin kohtiin. Normaalisti ohjeistuksena on, että sisätilavuus muotojen ympärillä tulisi olla noin minimissään 5 kertaa kappaleen seinämävahvuus, tässä kappaleessa noin 25 mm (4), jotta muovijauheen kasautumista ei ilmene.

Kuvassa 10 esitetään kappaleessa esiintyvä maksimi kuormitus keskellä kappaletta.



Kuva 10. Kappaleen maksimi rasitus esiintyy oletetusti keskellä pohjaa, siinä sijaitsevan viemäriuran vuoksi.

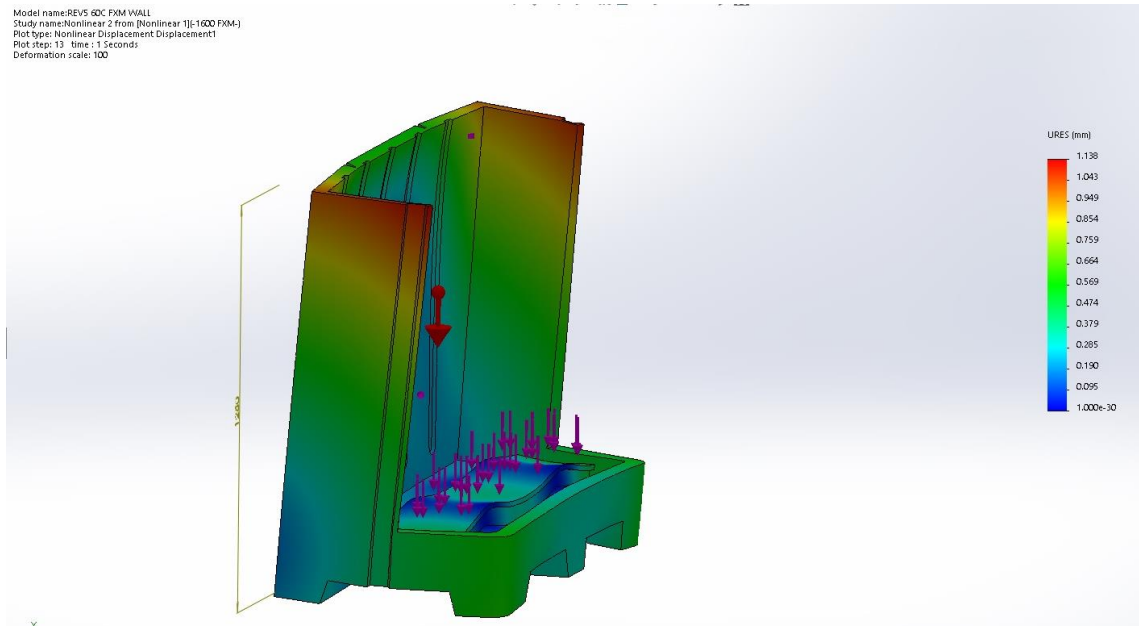
Kuvassa 11 näkyy kappaleen suurin muodonmuutos suurimman rasituksen kohdalla.



Kuva 11. suurin muodonmuutos ennen kiss-off vahvikkeen mallintamista.

FEM laskennalla saatuja tuloksia ei niinkään käytetä sellaisenaan absoluuttisina totuuksina vaan laskennalla saatujen tulosten avulla mallia muokattiin niin, että kuormitusta saatiin jaettua, jonka avulla muodonmuutoksia saatiin kappaleen muodon sallimissa rajoissa minimoitua mahdollisimman paljon.

Kuvassa 12 esitetään pumppujen asennuslevyn vaikutus kuormituksen jakautumisessa asennuskaukalossa ja muodonmuutosten siirtyminen kaukalon seinämillä.

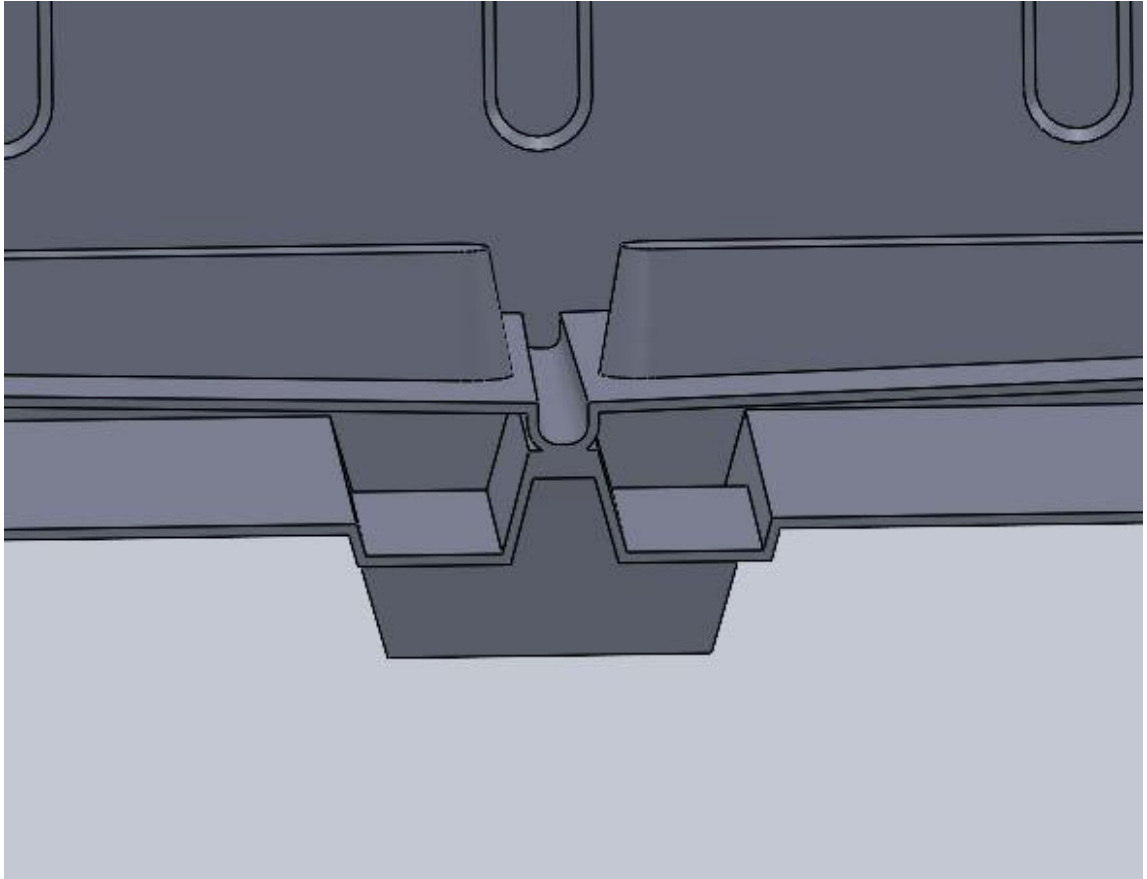


Kuva 12. Pohjan jäykistämien johtaa kuormituksia enemmän kappaleen seinämille, jolloin muodonmuutoksen sijainti kappaleessa muuttuu.

FEM -tarkastelun avulla suunnitellun mallin ajatuksena oli lähtöarvoina määriteltyjen haluttujen toiminnallisuuksien saavuttamisen lisäksi jäykiste- ja vahvike-muotojen rakentaminen malliin mahdollisimman monitoimisina, jolloin kokonaisuudessaan muotojen määrä saatiin minimoitua ja poistettua mahdollisimman paljon kustannustekijöitä muotin valmistuksessa. Mitä enemmän muotoja muotitiin tarvitsee tehdä, sitä hankalampi muotin rakentaminen ja purkaminen on ja sitä suuremmaksi muotin hinta muodostuu. Esimerkiksi skidin pohjaan seinäkiinnikkeelle suunniteltiin ura, jonka avulla seinäkiinnikkeeseen asennettuna kuormitus välittyy seinään. Lattialle asennettuna samainen ura jäykistää rakennetta ja välittää pumpuista syntyvän kuorman skidin jaloille.

Omalta osaltaan muotojen luomisen hankaluuteen vaikutti kaukalon sisäpuolen ”viemäröinti” jossa mahdollisen vauriotilanteen sattuessa kemikaalilla tulisi olla esteetön pääsy kaukalon keskelle suunniteltuun viemäröintiin, hallitun talteenoton ja kemikaaliturvallisuuden varmistamiseksi. Kaukalon pohjalle suunniteltujen jäykisteiden muoto oli katkaistava keskeltä, jotta saavutettaisiin esteetön valuma allas. Tämä aiheutti kaukalon keskelle kohdan, jossa jäykisteen vastaanottama kuormitus ohjautui altaan pohjaan, joka ei pystyisi kuormaa ottamaan vastaan. Ongelman ratkaisuksi kaukalon alapuolelle tehtiin kiss-off jäykiste (Kuva

13), jonka avulla yläpinnan kuormat saadaan johdettua suoraan kaukalon jaloille. Lisäksi pumppujen asennuslevynä käytettävä kaukalon jäykisteripoihin ruuvattava HDPE -muovilevy yhdistettiin osaksi kaukalon kantavaa rakennetta, jonka avulla kemikaalien viemäröinnin vaatima katko jäykisterivoissa saatiin korvattua.



Kuva 13. Kaukalon keskiosan viemäröintikourun yhdistäminen kiss-off vahvikkeeksi.

9 Lisävaruste suojan suunnittelu ja kiinnityskiskojen mitoitus ja valinta

Lisävarusteena pumppujärjestelmäkokonaisuuteen haluttiin saada suoja, jolla esimerkiksi myrkyllisten kemikaalien kyseessä ollen järjestelmä olisi roisketiivis (Kuva 14).



Kuva 14. Annostelupumppukokonaisuus ylösnostettavalla suojalla.

Suojan rakenne suunniteltiin mahdollisimman yksinkertaiseksi ja materiaaliksi valittiin kirkas polykarbonaatti. Sellaisenaan polykarbonaatti on varsin joustavaa, suorastaan vetelää, joten skidin muodoksi valikoitui etunurkistaan viistetty muoto, jolla tähän suojaplexiin saatiin samalla rakennettua jäykkyyttä. Suojan valmistaminen on tarkoitus tehdä paikallislämmittämällä polykarbonaattia ja taittaa sitä muottia vasten, jolloin sen muoto ja mitat säilyvät varsin tarkasti alkuperäisinä ja läpinäkyvyys muuttuu ainoastaan taitoskohdassa hieman. Taitoksen säteen maksimiksi on päädytty 70 mm, joka pitäisi olla vielä mahdollisuuksien rajoissa yksinkertaisella putkimuotilla, ilman että koko levyä tarvitsee lämmittää ja muotoilla muottia vasten.

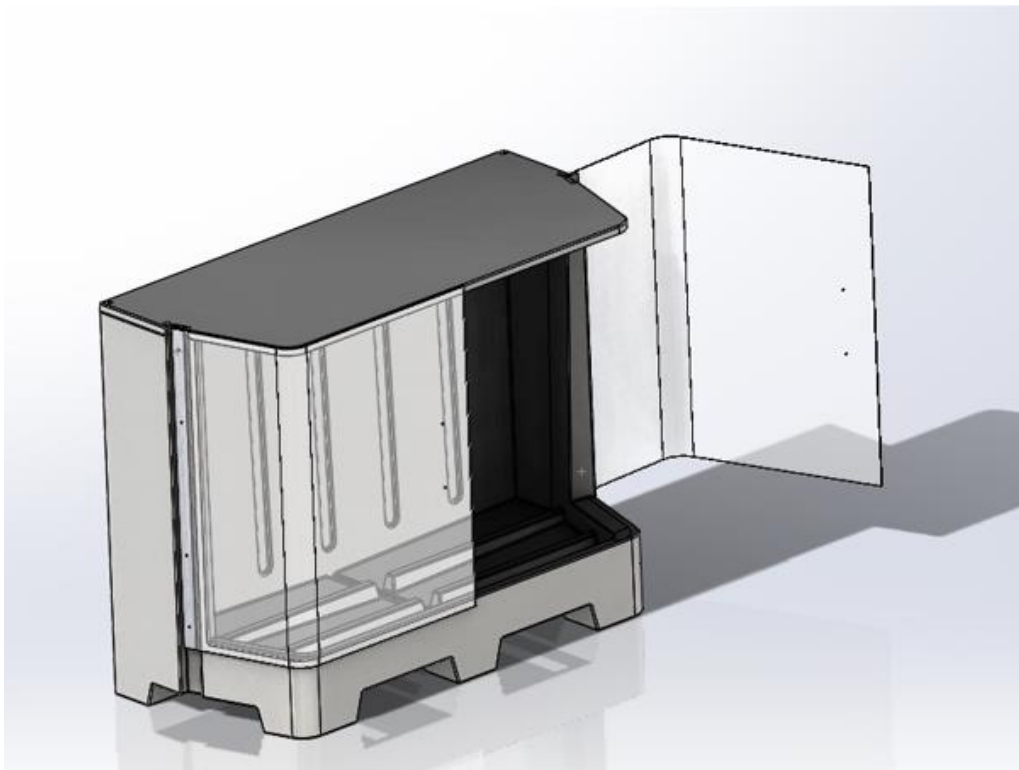
Suojan paino muodostui varsin isoksi (25 kg), joten sen kiinnitys ja ennen kaikkea käytönaikaisen liikeradan hallinta yhden käyttäjän toimesta muodostui yllättävä tärkeäksi suunnittelukohteeksi. Liikeradan hallintaan valittiin kohtuullisen vahvat laakeroidut liukukiskot, jotka pystyyn asennettuna ja toisiinsa nähden kulmaan asennettuina toimivat varsin hyvin jäykistäen toisiaan suojan kautta. Nostettavan suojan painon käsittelyn helpottamiseksi rakenteeseen suunniteltiin kaasunestejouset, jotka toimivat ylös nostettaessa keventäen liikettä ja yläasennossaan pitävät kannen ylhäällä. Lisäksi pumppuihin on saatavilla lukitusmekanismi, jolloin

ne voidaan vielä asennus- ja käyttöturvallisuuden lisäämiseksi lukita yläasentoon. Näin erillisiä lukitsinmekanismeja suojaan ei tarvita ja sitä kautta kokonaisuus pysyy yksinkertaisena.

Metalliosien, kuten suojan liukukiskojen ruuvikiinnityksessä, on rotaatiomuovatuissa tuotteissa käytettävä muottiin valun yhteydessä asennettavia kierre sisäkkeitä. Valun aikana muovi kerääntyy tiiviisti muottiin kiinnitetyn sisäkkeen ympärille varmistaen mahdollisimman lujan tartunnan. Kevyemmissä kiinnityksissä voidaan käyttää myös valun jälkeen porattavia sisäkkeitä, mutta niiden tartunta on yleensä varsin heikkoa.

Suojan liukukiskot kiinnitetään asennuskaukalon kylkiin niin, että alun perin maksimileveydeksi asetettu 1600 mm toteutuu, ilman että suojakansi ottaa vierekkäin asetetuissa skideissa toisiinsa. Tällä mahdollistetaan useampien pumppujen kokonaisuuksien asentaminen mahdollisimman pieneen tilaan.

Vaihtoehtoisesti nostettavan suojakannen tilalle suunniteltiin myös samasta kappaleesta tehtävät vaakasuunnassa aukeavat ovet (Kuva 15).



Kuva 15. Ylösnostettavan suojan vaihtoehdoksi suunniteltu ovilla toteutettu suoja.

10 Pohdintaa

Annostelupumppujärjestelmän asennuskaukalon suunnittelu oli tuotteistusprojektin osalta sinällään onnistunut, että sen pohjalta saatiin luotua valmistuskelpoinen tuote ja teetettyä sen valmistukselle kustannusarvio. Projektin edetessä kustannusarvion avulla voidaan tehdä päätöksiä tuotteen valmistamisesta tai muokata tuotetta haluttuun suuntaan hyväksikäyttäen tässä työssä läpikäytyjä suunnitteluperiaatteita.

Asennuskaukalon muotoilun toteuttaminen oli haastavaa, mutta sitkeällä kokeilemisella vahvikkeiden ja muotojen toiminta ja määrä saatiin kohtuullisesti optimoitua säilyttäen kappaleessa halutut ominaisuudet ja jäykkyys. Suurimpana haasteena oli annettujen ulkomittojen ja kaukalon sisälle tulevan putkiston minimimittojen yhteensovittaminen niin, että kappaleen seiniin jäi vielä riittävästi tilavuutta rotaatiomuovauksen onnistumiselle, sekä sen verran päästöjä, että valettu kappale on mahdollista toteuttaa rotaatiomuovaus tekniikalla.

Työnä kappaleen mallintaminen ja rotaatiomuovauksen pelisääntöjen opettelu ja hyväksikäyttö oli erittäin mielenkiintoista, etenkin kun FEM -tarkastelun avulla sai nopeasti selvitettyä oliko tehty muutos parempaan. Hankaluutena FEM -tarkastelussa oli saada malli toimimaan yhteistyössä SolidWorks Simulation -sovelluksen kanssa ja siksi mallia jouduttiin jonkun verran yksinkertaistamaan muun muassa nurkkapyöritysten osalta. Näiden poistaminen ei kuitenkaan merkittävästi näyttänyt vaikuttavan jännitysten keskittymiseen teräviin nurkkiin, joten lopputuloksiin sillä tuskin oli merkittävää vaikutusta.

Valmis asennuskaukalo on lähtöarvoiksi annettujen mittojen mukainen, näyttäisi kestävän hyvin siihen kohdistuvat kuormat annostelupumpuista ja ainakin suunnittelijan omasta mielestä myös ihan myyvän näköinen kokonaisuus, joten työtä voi näiltä osin pitää onnistuneena.

Asennuskaukalon kehityksessä seuraavaksi pyritään optimoimaan kustannustekijät, koska kevyiden mutta tilaa vievien kappaleiden lähettäminen eri mantereiden yksiköihin on kallista. Mahdollisuuksina on muun muassa teettää riittävä va-

rasto tuotteita ja lähettää muotit toiselle mantereelle valettavaksi. Toisena vaihtoehtona on muotoilla kaukaloa niin, että ne menevät sisäkkäin, jolloin lähetyskustannuksia voidaan hieman karsia ja välttää muottien vaurioitumiselta.

Valmiin myyntikokonaisuuden osalta ylös nostettava iso yhtenäinen suoja voi myös olla joissain maissa erityisen vaativa saada käyttöturvalliseksi edullisesti, joten on myös pohdittava suojan keskeltä katkaisemista ja muuttamalla se saranoimalla oviksi. Tällöin tosin menetetään ovien avautuman vaatiman tilan vuoksi vierekkäisten asennuskaukaloiden asentamisen mahdollisuus.

Lähteet

1. Baci, J, Flowrox Oy, 01.07.2019
2. A Guide to Rotational Molding, LyondellBasell Industries. <https://www.lyondellbasell.com/globalassets/documents/polymers-technical-literature/a-guide-to-rotational-molding-5717.pdf?id=13907>. Luettu 06.07.2019
3. Miller, S. N. Design for Manufacturing, Course 7 Part 1: Rotomolding, <https://www.dragoninnovation.com>. <https://www.youtube.com/watch?v=y958rNOH1fl>. Katsottu 06.07.2019.
4. Kataja, E. 2019. Toimitusjohtaja. Rotolink Oy. Virrat. Puhelinhaastattelu. 12.08.2019, 12.09.2019.
5. Costa, Cramez, Pontes, 2013. A Study on Shrinkage and Warpage of Rotational Moulded Polyethylene, <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/34177/1/RI31.pdf>. Luettu 09.07.2019.
6. Bywalec, L. 2019. Suunnittelija. Maus GmbH. Karlsruhe, Saksa. Sähköpostikeskustelu. 20.08.2019, 22.10.2019.
7. Nevalainen. T. 2019 - 2020. Toimitusjohtaja. Cipax Oy. Helsinki. Puhelinhaastattelu. 15.10.2019, 15.01.2020.
8. Kiss-off ribbing and Rotational molding, Gregstrom Corporation. <http://gregstrom.com/kiss-off-ribbing-rotational-molding/>. Luettu 08.07.2019.
9. Matereality, SolidWorks material database HDPE Material 8619K441. 2019. D'assault SolidWorks 2020, maksullinen versio. 11.11.2019.