

Kalle Mononen

## **Massaputkistojen virtaussuunnittelu**

Opinnäytetyö

Kevät 2015

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Kalle Mononen

Työn nimi: Massaputkistojen virtaussuunnittelu

Ohjaaja: Kimmo Kitinoja

Vuosi: 2015

Sivumäärä: 46

Liitteiden lukumäärä: -

---

Opinnäytetyö tehtiin eräälle elintarviketeollisuuden yritykselle. Aihe koski juustomassan esipuristusallaslaitetta. Kehittämistarve liittyy juuston epätasaiseen levitymiseen esipuristusaltaassa. Sen syytä selvitetään tässä työssä virtaussuunnittelun avulla. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa tieto olemassa olevan esipuristusaltaan massansyöttöputkiston virtauksesta.

Opinnäytetyössä perehdyttiin tuotekehitystoimintaan sekä virtaussuunnitteluun. Simulointi tuotettiin Comsol-ohjelmistolla. Simulointia varten perehdyttiin massan virtaukseen, joka tässä työssä toteutettiin käyttämällä veden ominaisuuksia. Virtauksessa tuli huomioida veden, joka on newtonmainen neste, viskositeetti sekä virtauksen tyyppi. Virtausta tutkittiin laminaarisena ja turbulenttisenä virtauksena. Virtaustyyppien selvittämiseen käytettiin Reynoldsin lukua.

Simulointi on merkittävä tekijä tuotteen laadun kehittämisessä. Sen avulla saatiin selville massan virtaus putkistoissa kustannustehokkaasti. Simuloinnin etuna verrattuna perinteiseen tuotekehitykseen on se, ettei tuotetta tarvitse valmistaa ja testata. Tämän vuoksi myös tuotekehitysprosessi nopeutuu. Kehittämistyön tuloksena valmistui selvitys juustomassan virtauksesta kahdessa eri putkimallissa. Tulokset osoittivat massan virtauksessa olevan paine-eroja, joiden perusteella johtopäätökset muodostettiin. Tulosten avulla voidaan tukea yrityksen tuotekehitystä sekä parantaa tuotteen laatua.

Avainsanat: virtaussuunnittelu, 3D-mallinnus, simulointi, tuotekehitys

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Kalle Mononen

Title of thesis: Flow design of the mass pipes

Supervisor: Kimmo Kitinoja

Year: 2015

Number of pages: 46

Number of appendices: -

---

This thesis was made to a company of the food industry. The subject is the cheese mass pre-compression device. The need of the development connected to the uneven spreading of the cheese mass in the cheese mass pre-compression device. The reason for it is clarified in this thesis with flow designing. The purpose of the thesis was to produce the information about the flow of the existing mass pipes in the pre-compression device.

In the thesis the product development and flow design were studied. The simulation was produced with the Comsol -software. For the simulation the flow of the mass were studied, which in this thesis were carried out by using the properties of the water. In the flow attention had to be taken to the water which is a Newtonian fluid, viscosity and type of the flow. The flow was studied as a laminar and turbulent flow. The number of Reynolds was used to the clarifying of the flow type.

The simulation is a significant factor in developing the quality of the product. With the help of the simulation the cost-effective flow in the pipes were found out. The advantage of the simulation compared to the traditional product development is the fact that a product has neither to be made nor to be tested. Because of this the product development process also accelerates. The report on the flow of the cheese mass was completed in two models of separate pipe as a result of the development. The results showed the pressure differences on the basis of which the conclusions were formed in the flow of the mass. The results can be used to support the product development of the company and to improve the quality of the product.

Keywords: flow design, 3D-modelling, simulation, product development

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
<b>1 JOHDANTO.....</b>	<b>9</b>
1.1 Yritysesittely.....	10
1.2 Opinnäytetyön prosessi, rakenne ja tiedonhaku.....	10
<b>2 TUOTEKEHITYSTOIMINNAN SUUNNITTELU.....</b>	<b>12</b>
2.1 Suunnittelu.....	12
2.2 Konseptin kehitys.....	13
2.3 Systeemitason ja yksityiskohtainen suunnittelu.....	14
2.4 Testaus ja jalostus.....	15
2.5 Laatu tuotekehityksessä.....	15
<b>3 3D-MALLINTAMINEN.....</b>	<b>17</b>
3.1 Massaputken 3D-suunnittelu ja toteutus.....	18
3.2 Massaputken 3D-mallien siirto simulointiohjelmistoon.....	19
<b>4 VIRTAUSSUUNNITTELU.....</b>	<b>20</b>
4.1 Massan ominaisuudet ja vaikutukset simulointiin.....	20
4.2 Massan virtaus putkistossa.....	21
4.2.1 Viskositeetti.....	21
4.2.2 Dynaaminen ja kinemaattinen viskositeetti.....	23
4.3 Laminaarinen ja turbulenttinen virtaus.....	23
4.4 Reynoldsin luku.....	24
<b>5 SIMULOINTI.....</b>	<b>26</b>
5.1 Simuloinnin toteutus.....	26
5.2 Haasteet simuloinnin toteutuksessa.....	27
<b>6 SIMULOINTITULOSTEN VERTAUS PUTKISTOJEN VÄLILLÄ.....</b>	<b>29</b>
6.1 Simulointitulokset.....	29
6.2 Tulosten vertaus toiseen tuotevaihtoehtoon.....	35
6.3 Luotettavuus.....	40

7 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	41
7.1 Kehittämistyön hyödynnettävyys ja käyttöönotto.....	41
7.2 Kustannusvaikutukset .....	41
8 POHDINTA .....	43
LÄHTEET .....	44

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Esipuristusallas. ....	9
Kuva 2. Uusi massaputki esipuristusaltaassa. ....	36
Kuvio 1. Tuotekehityksen prosessi yleisellä tasolla.....	12
Kuvio 2. Konseptin kehitys kehittämistyön sisällön suunnitelman avulla.....	13
Kuvio 3. Massaputken neljä eri asentoa. ....	19
Kuvio 4. Viskositeetin määrittely .....	23
Kuvio 5. Laminaarinen (vasemmalla) ja turbulenttinen virtaus (oikealla) .....	24
Kuvio 6. Simuloinnin toteutus työvaiheiden sisällöittäin. ....	27
Kuvio 7. Massaputken laminaarinen virtaussimulointi asennossa kaksi. ....	30
Kuvio 8. Massaputken turbulenttinen virtaussimulointi asennossa kaksi. ....	31
Kuvio 9. Massan laminaarinen virtaus putkiston käyrissä asennossa kaksi.....	32
Kuvio 10. Massan turbulenttinen virtaus putkiston käyrissä asennossa kaksi. ....	33
Kuvio 11. Paineen vaihtelut massaputkien eri asennoissa .....	34
Kuvio 12. Massaputken asennot 1 ja 4. ....	35
Kuvio 13. Uuden massaputken paineenvaihtelut. ....	37
Kuvio 14. Uuden massaputken turbulenttinen virtaus. ....	38
Kuvio 15. Uusi massaputki esipuristusaltaassa. ....	39
Taulukko 1. Veden fysikaaliset ominaisuudet .....	21

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Juustomassan esipuristusallas</b>	Puristaa juustomassan tasaiseksi matoksi.
<b>Juustomassa</b>	Heraa (maidosta juuston valmistuksesta erotettu neste) ja juustopaloja sisältävä massa.
<b>3D-mallintaminen</b>	Tuotteiden suunnittelu kolmiulotteisesti.
<b>Sketsi</b>	Karkea piirros, jossa piirteen muoto esitetään erilaisia geometrisia alkioita hyödyntäen, joka tuottaa mallin.
<b>Fluidi</b>	Väliaine, jossa rakenneosat voivat liikkua toistensa suhteen. Epäkiinteää ainetta, joka voi virrata ja muuttaa muotoaan paineen vaikutuksesta. Fluideja ovat pääasiassa nesteet ja kaasut.
<b><math>\tau</math></b>	leikkausjännitys
<b><math>\eta</math></b>	nesteen dynaaminen eli absoluuttinen viskositeetti
<b><math>\Delta v</math></b>	kahden toisiaan lähellä olevan nestekerroksen nopeusero
<b><math>\Delta h</math></b>	kahden nestekerroksen välimatka
<b>F</b>	voima
<b>A</b>	pinta-ala
<b><math>\nu</math></b>	kinemaattinen viskositeetti
<b><math>\rho</math></b>	tiheys
<b>V</b>	keskimääräinen virtausnopeus
<b><math>v_{max}</math></b>	virtauksen maksiminopeus
<b>Re</b>	Reynoldsin luku

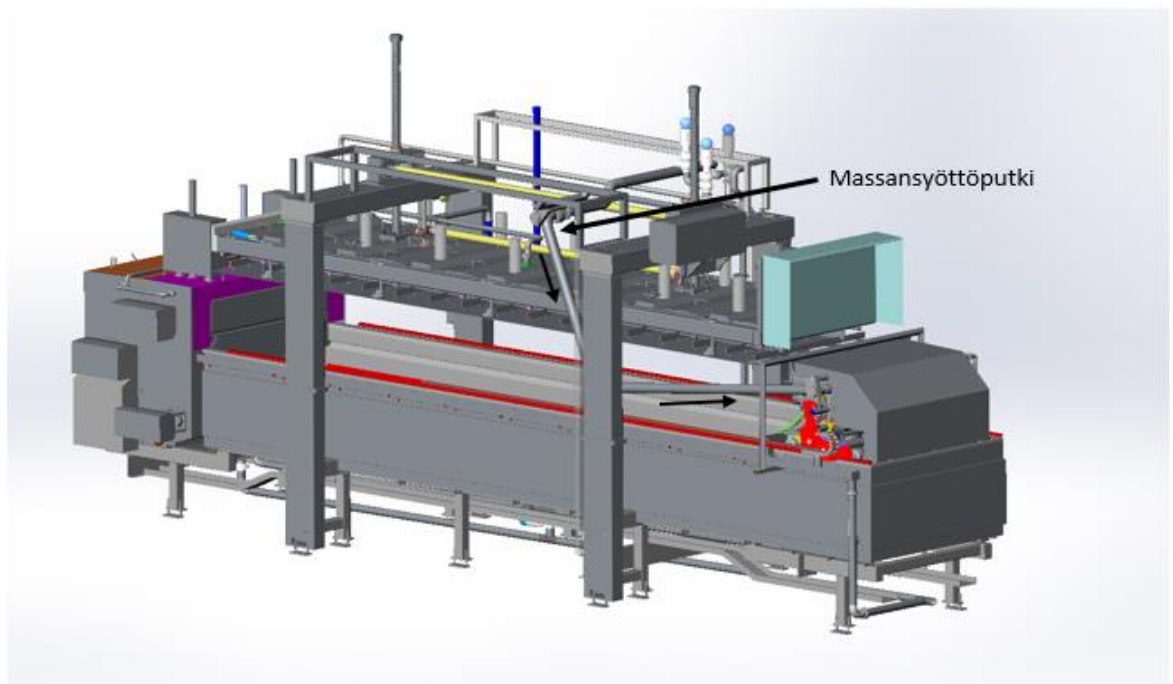
**d**

putken halkaisija



## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön taustalla on elintarviketeollisuuden yrityksen työtilaus. Se perustuu kehittämisiongelmaan koskien juuston esipuristusallasta, johon juustomassa levittyy epätasaisesti. Yksi tähän vaikuttava tekijä saattaa olla massansyöttöputki, joka syöttää massan altaaseen. Epätasainen juustomassan levittyminen altaaseen on laatuongelma. (Suunnittelupäällikkö 2015.) Kuvassa 1 on esipuristusallas, jossa on osoitettu nuolella massansyöttöputken sijainti.



Kuva 1. Esipuristusallas.

Opinnäytetyön tarkoitus on tukea työn tilaajaa tuotekehityksessä. Opinnäytetyön tavoite on tuottaa tieto, miten massaputken virtaussuunnittelu vaikuttaa juustomassan levittymiseen massaputkesta esipuristusaltaaseen. Tätä selvitetään virtaussimuloinnin avulla. Työn tilaajan asettama laatuavoite on saada juustomassan painotarkkuus vähennettyä  $\pm 9$  prosentista  $\pm 3$  prosenttiin. Laadun parantaminen vaikuttaa esipuristusaltaan markkinointiin ja myyntiin asiakkaille. (Suunnittelupäällikkö, 2015.) Myös Liiaksen (2015) mukaan asiakkaan kannalta painotarkkuuden tarkentuminen on tärkeää, sillä se vaikuttaa tuotteen eli juuston markkinointiin ja myyntiin. Taloudelliset säästöt tulevat hukan vähentymisestä. Opinnäytetyön tuloksia tullaan hyödyntämään tuotekehityksessä (Suunnittelupäällikkö 2015).

Projekti aloitettiin loppuvuodesta 2014. Aikatauluksi muodostui työn valmistuminen huhtikuuhun 2015 mennessä. Tuotekehitysprojekti aloitettiin palaverilla työn tilaajan ja ohjaavan opettajan kanssa. Palaverissa määritettiin projektin lähtökohdat ja tavoite. Työn tilaajan tavoite projektille oli saada selville, miten massan virtaus massansyöttöputkessa vaikuttaa juuston levittymiseen esipuristusaltaassa. Projektin tavoite oli tuottaa tieto, miten virtaussuunnitelman avulla voidaan ongelmaan saada ratkaisu. Tuotekehittäjän rooli oli sitoutua em. tavoitteisiin (Projektiryhmä 2014). Työn tilaaja sitoutui kustannuksiin siten, että kehittämistyöntekijälle maksettiin palkkaa 3D-suunnittelusta ja osittain simulointiin käytetystä ajasta. Tiedon tuottamisella pyrittiin kohentamaan yrityksen tuotteen laatua. Opinnäytetyö on kehittämistyö, jossa teoria ja työn toteutus kuvataan limittäin. Työstä muodostui nelivaiheinen: lähtökohtien määrittäminen, 3D-mallinnus, simulointi ja tulosten arviointi.

## **1.1 Yritysesittely**

Työn tilaaja on elintarvikealan yritys, joka suunnittelee ja toteuttaa asiakaslähtöisiä ratkaisuja elintarviketeollisuuden yrityksille. Yritys työllistää noin 50 henkilöä. Hygieeniset kuljetinjärjestelmät, rasiankäsittelylinjat ja juustonvalmistuslaitteet ovat tuotekehityksen tulosta. Yritys tarjoaa myös huolto- ja varaosapalvelua. Suurin osa projekteista toimitetaan ulkomaille. Merkittävin kotimaisista asiakkaista on Valio Oy. (Suunnittelupäällikkö 2015.)

## **1.2 Opinnäytetyön prosessi, rakenne ja tiedonhaku**

Tässä työssä juustomassasta käytetään jatkossa termiä massa. Kehittämistyöstä muodostui nelivaiheinen. Työ aloitettiin lähtökohtien määrittämisellä ja toteutussuunnitelman tekemisellä. Toteutus aloitettiin tekemällä 3D-mallinnus. Sen jälkeen tehtiin virtaussuunnittelu simuloinnin avulla. Lopuksi tehtiin simulointitulosten vertailu, tulosten arviointi ja johtopäätökset.

Opinnäytetyössä käytettiin seuraavia hakutietokantoja: Plari, Ebsco, Knovel ja Google Scholar. Haku rajattiin suomen- ja englanninkielisiin teoksiin. Hakusanoina käytettiin: 3D-mallintaminen, dynaaminen- ja kinemaattinen viskositeetti, visko-

siteetti, newtonmainen ja ei-newtonmainen fluidi, Reynoldsin luku, virtaussuunnittelu, virtaus dynamiikka, simulointi, tuotekehitys, fluid mechanics, fluid dynamics, newton -ja non-newton fluid, Reynolds number, simulation, fluid ja product development. Hakusanoja myös yhdistettiin, katkaistiin ja käytettiin AND- ja OR-määritteitä laajan haun saamiseksi. Aineistojen valinta tehtiin tiivistelmien ja sisältöjen soveltavuuden perusteella tähän työhön. Aineistojen valinnassa arvioitiin luotettavuutta ja tuloksia.

## 2 TUOTEKEHITYSTOIMINNAN SUUNNITTELU

Asiakkaan tarve on tuotekehityksen ja -suunnittelun perusta. Ilman asiakasta ja hänen tarpeitaan ei uusia tuotteita tarvitse suunnitella. Tuotekehityksessä tehdään sellainen kokonaisuus, joka optimaalisella tavalla tyydyttää asiakkaan tarpeen ja on tuotantokustannuksiltaan siedettävä. (Hietikko 2008, 27; Välimaa, Kankkunen, Lagerroos & Lehtinen 1994, 25-28.) Yritysten kehittämät tuotteet, jotka ovat tyydyttäneet asiakkaan tarpeet, vanhenevat myös ajan myötä. Tällöin on löydettävä korvaavia tuotteita, joita asiakas haluaa. Ellei yritys pysty niitä tarjoamaan asiakkaille, sen tekevät kilpailijat. (Hietikko 2008, 30.)

Tuotekehitys on toimintaa, jolla pyritään parantamaan olemassa olevia tuotteita tai saamaan markkinoille uusia tuotteita. Toiminta perustuu kokemustietoon ja tutkimustulosten kautta saatuun tietoon. Niiden avulla saavutetaan halutun menetelmän, järjestelmän tai tuotteen parantaminen. Tuotekehitys ja jatkuva uudistuminen ovat tärkeä osa teollisuudessa osana yritystoimintaa ja liiketoimintastrategiaa. Siinä on viisi tärkeää osa-aluetta: tuotteen laatu, kustannukset, kulutettu aika, kulutetut pääomat ja tuotekehitysvalmiudet. (Ulrich & Eppinger 2012, 2–3.) Tuotekehitysprojekti ei juuri poikkea yleiseltä rakenteeltaan muista projekteista (Hietikko 2008, 45). Alla olevassa kuviossa 1 on esitetty prosessin eteneminen vaiheittain. Prosessi alkaa tehtävänannosta ja päättyy projektin loppupalaveriin. Se koostuu useista vaiheista, jotka toteutuvat usein limittäin seuraavan vaiheen alkaessa vielä edellisen ollessa käynnissä. (Ulrich & Eppinger 2012, 12–16.)



Kuvio 1. Tuotekehityksen prosessi yleisellä tasolla (Ulrich & Eppinger 2012, 9).

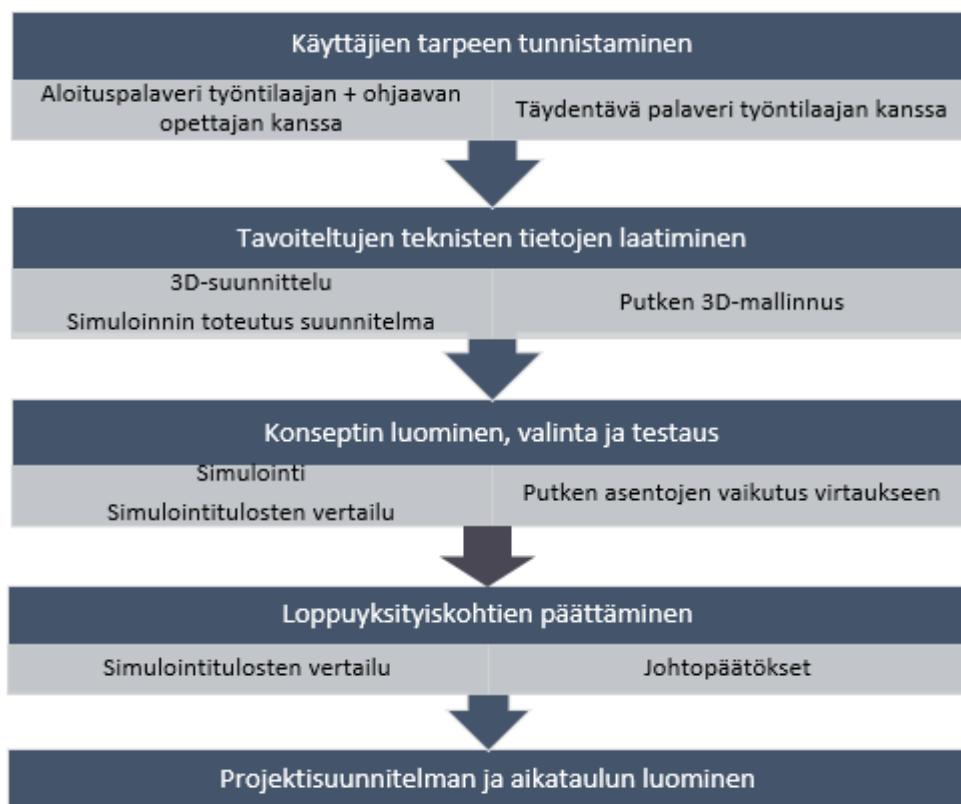
### 2.1 Suunnittelu

Ensimmäinen työvaihe projektin toteuttamisessa on suunnittelu. Tämä vaihe määrittelee koko projektin tavoitteen. Suunnitteluvaiheessa kirjataan tavoitteet, jotka kuvaavat projektin lopputulosten saavutuksia, mihin on tarkoitus pyrkiä. Oleellista

on myös kirjata osapuolten vaatimukset. Suunnittelussa kuvataan myös projektin etenemistapa ja prosessin kuvaus. Tehtävien, vastuiden, työmäärien ja niiden kestojen, kustannusten sekä aikataulun kirjaamisen tavoite on helpottaa projektinhallintaa ja turvata projektin menestyksellä onnistuminen. Lisäksi riskien kartoitus ja kustannusarvio on hyvin tärkeää suunnitteluvaiheessa. (Hietikko 2008, 47.) Edellä mainitut kohdat tehdään projektin käynnistysvaiheessa, konseptin kehityksessä (Ulrich & Eppinger 2012, 16). Tässä työssä edettiin tuotteen kehityksen kannalta kuvion 1 mukaisesti systeemitason suunnitteluvaiheeseen.

## 2.2 Konseptin kehitys

Konseptin kehitysvaihe on perusta koko projektille. Tiedon keräämiseen tässä vaiheessa panostetaan mahdollisimman paljon. Konseptin kehitysprosessi voidaan jakaa vaiheisiin. (Ulrich & Eppinger 2012, 16–18; Hietikko 2008, 45.) Nämä vaiheet esitetään kuviossa 2 kehittämistyön sisällön avulla.



Kuvio 2. Konseptin kehitys kehittämistyön sisällön suunnitelman avulla (Mukaillen Ulrich & Eppinger 2012, 16).

Asiakkaan ollessa tärkein voimavara tuotekehityksessä kannattaakin tuotekehitysideoita ja tietoa hakea asiakkaalta. Keskustelut ovatkin asiakkaan kanssa avainasemassa tuotekehityksessä. Asiakstarpeiden puutteellinen ymmärrys ja epätarkat oletukset tarpeiden analysointivaiheessa voivat johtaa merkittäviin puutteisiin tuotteen suunnittelun- ja valmistuksen laadussa, käyttökestossa ja kustannuksissa. (Hietikko 2008, 30; Lecklin & Laine 2009, 18.)

Hietikon (2008, 55–56) mukaan asiakkaat eivät aina osaa kertoa tarkalleen, mitä he haluavat. He eivät voi kertoa tarkalleen millaisia tuotteita tuottavan yrityksen tulisi kehittää. Tuotteen ominaisuuksien kertominen voi olla haasteellista. Asiakkaat eivät siis kykene tuottamaan luotettavaa informaatiota mistään sellaisesta, josta heillä ei ole kokemusta. Tiedonkeruuvaiheessa asiakas joutuu kuvittelemaan tuotteen, jota ei ole olemassa. Tämä aiheuttaa sen, että he saattavat kertoa yritykselle sen, mitä he kuvittelevat yrityksen haluavan kuulla. Parhaimmillaankin asiakkaalta saatu tieto on siis epätarkkaa ja pahimmillaan kuvitteellista. Vastaavasti asiakkaat kykenevät antamaan tarkkaa informaatiota asioista, joista heillä on kokemusta. Tällöin he osaavat kuvailla ongelmia ja tarpeita, joihin he ovat törmänneet edellisiä tuotteita käyttäessään. Heiltä onkin osattava kysyä oikeat kysymykset tuotekehitysprojektin kannalta. Tämän vuoksi päätettiin vielä tarkentaa lähtötietoja. Tässä palaverissa tarkennettiin projektin laatutavoitetta juustopalan painotarkkuuden vähentämisestä  $\pm 9$  prosentista  $\pm 3$  prosenttiin. Palaverissa keskusteltiin myös tuotteen valmistuksen aiheuttamista kustannuksista. Työn tilaajan toive oli, että tuotekehitys tuottaisi kustannuksiltaan edullisemmän ratkaisun verrattuna nykyiseen. Tarkkoja kustannusmääritelmiä ei tälle opinnäytetyölle asetettu. (Suunnittelupäällikkö 2015.)

### **2.3 Systemitason ja yksityiskohtainen suunnittelu**

Myös Ulrichin ja Eppingerin (2012, 17–19, 75) mukaan tuotekehityssuunnittelijan tehtävä on osattava tunnistaa asiakkaan tarpeet. Toisaalta määritelmät riippuvat tuotekehittäjän tai yrityksen valitsemasta konseptista. Systemitason suunnittelulla tarkoitetaan lopputuotteen kokonaiskuvan suunnittelua. Spesifit määritelmät, jotka valitaan tuotteen kehittämiseen, johtuvat kuitenkin lopuksi teknisesti ja taloudelli-

sesti toteuttamiskelpoisista sekä kilpailijoiden tarjoamien vaihtoehtojen ja asiakkaiden tarpeiden määrittämisestä. Yksityiskohtainen suunnittelu on siis spesifien määrittämien valintoja. Tämän vaiheen jälkeen tuote on periaatteessa valmis tuotantoon. Tässä kehittämistyössä nämä vaiheet muodostuivat putken 3D-mallinnuksesta ja simuloinnista.

## **2.4 Testaus ja jalostus**

Tavallisessa tuotekehitysprosessissa on hyvä testata tuote ennen tuotannon aloitusta. Tällä mahdollistetaan mahdollisten virheiden ja parannusten tarve. Testaus osoittaa, onko tuotekehitysprosessi onnistunut luomaan tuotteen sille asetetut tarpeet. Testauksella tutkitaan myös tuotteen toimivuutta. (Ulrich & Eppinger 2012, 17–19.) Tässä kehittämistyössä perinteistä testausta ei tehty, sillä kehittämistyössä ei ole tavoitteena valmistaa tuotetta. Tähän ratkaisuun päädyttiin yhdessä työn tilaajan kanssa. Testaus perustui simuloinnin avulla tehtävään tutkimiseen ja testaukseen virtuaalisesti. Työn tilaaja tulee valmistamaan ja testaamaan massansyöttöputken saadessaan uuden laitetilauksen (Suunnittelupäällikkö 2015).

## **2.5 Laatu tuotekehityksessä**

Useilla teollisuudenaloilla on siirrytty massatuotannosta massaräätälöintiin, jossa asiakkaat voivat ilmaista tarpeensa. Massaräätälöinnillä tarkoitetaan yksilöllistä tuotesuunnittelua asiakkaiden tarpeiden mukaisesti hyödyntämällä massatuotannon ominaispiirteitä. Laadusta asiakkaiden tarpeiden tyydyttäjänä on tullut merkittävä tekijä tuotteiden vertailussa ja asiakkaat ovat valmiita maksamaan siitä. Massaräätälöinti myös mahdollistaa korkeammat tuotot suunnittelijoille ja valmistajille asiakastyytyväisyyden lisäksi. (Xuehong, Jiao & Tseng 2006, 396.) Teollisuudessa tavallisesti käsitteellä laatu on tarkoitettu tuotteen teknisiä ominaisuuksia. Tavanomaisesti laadukasta tuotetta kuvaillaan kestävyydellä, toimintavarmuudella, monipuolisuudella ja tehokkuudella. Laadukasta tuotetta pidetään myös usein kalliina. Tuotevirheiden vähentäminen on olennaista teollisuuden laadunvalvonnassa ja asiakkaita pidetään laadun lopullisina arvioitsijoina. Tuotteet valmistetaan asia-

kasta varten ja heitä kuunnellaan. Asiakkaiden palautteen kuunteleminen on merkittävää laadun parantamisessa ja kehittämisessä. Virheettömyyden ohella laatu tarkoittaa kustannustehokkuutta. Tuotteen valmistuksen ja toiminnan tulee olla virtaviivaista. Turhat ja lisäarvoa tuottamattomat työvaiheet poistetaan, kuten turha kuljetus tai laatuvirheiden tekeminen. (Lecklin & Laine 2009, 18-19.) Tässä työssä asiakasta kuunneltiin ja pyrittiin auttamaan tuotekehityksessä laadun parantamisessa. Projektin kaikissa vaiheissa pyrittiin toimimaan huolellisesti.



### 3 3D-MALLINTAMINEN

Virtaussuunnittelussa pitää huomioida massaputken pituusmitat, halkaisija ja asento (Suunnittelupäällikkö 2015). Näin ollen massaputkesta tehtiin 3D-malli, jotta simulointi voitiin toteuttaa. 3D-mallinnuksella tarkoitetaan erilaisten tuotteiden suunnittelua kolmiulotteisesti (Tuhola & Viitanen 2008, 17). 3D-mallinnuksessa kappaleet, osat ja kokoonpanot näyttävät oikeilta. Niille on annettu kaikki niiden fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet, jotka tuotteella todellisuudessa on. Suunnittelu tapahtuu kolmiulotteisessa avaruudessa, joka koostuu x- y- ja z-koordinaattiakseleista. (Tuhola & Viitanen 2008, 17.)

Mekaniikkasuunnittelussa tietokoneavusteisella suunnittelulla (CAD) on suuri merkitys. Se vaikuttaa suunnittelumenetelmiin, organisaation rakenteisiin, työnjakoon eri suunnittelijoiden ja asiantuntijoiden välillä sekä yksittäisten suunnittelijoiden luovuuteen ja ajattelun prosessiin. CAD-suunnittelu mahdollistaa suunnittelijoiden keskittymisen asiakkaille yksilöllisesti suunniteltuihin uusiin tuotteisiin. Suunnittelu parantaa suunnittelijoiden luovuutta, teknisten tietojen ja kokemuksen lisääntymistä. Se myös helpottaa yksityiskohtaisten tietojen, kokoonpanojen ja prosessisuunnittelun tietojen käsittelyä. Analysointi lisääntyy ja optimointi sekä ratkaisujen yhdistäminen helpottuu. CAD-suunnittelu ei kuitenkaan korvaa itse suunnittelijaa. Itseasiassa suunnittelijoiden päätöksentekomahdollisuudet ovat entistä ratkaisevampia, kun ratkaisumahdollisuuksien määrä laajentuu. Lisäksi useiden asiantuntijoiden panostuksen koordinointi suunnitteluprosessiin on merkittävä suunnittelijan kannalta. (Pahl, Beitz, Feldhusen & Grote 2007, 6–7.)

Laakko (1998, 32), Tuhola ja Viitanen (2008, 13, 52–53) sekä Hietikko (2012, 23) ovat kuvanneet 3D-mallinnuksen mahdollistavia etuja seuraavasti:

- nopeampi suunnitteluprosessi
- suunnitteluvirheiden vähentyminen
- muutosten parempi hallinta
- parantunut tiedon jakaminen
- parempi visuaalisuus
- tuki markkinoinnille
- suunnitteluvirheistä aiheutuvien tuotannon viivästyksien vähentyminen

- kertaalleen luodun tiedon parempi hyödyntäminen
- kustannusten säästäminen pitkällä aikavälillä
- etuja, joita 2D-ohjelmat eivät pysty tarjoamaan

### 3.1 Massaputken 3D-suunnittelu ja toteutus

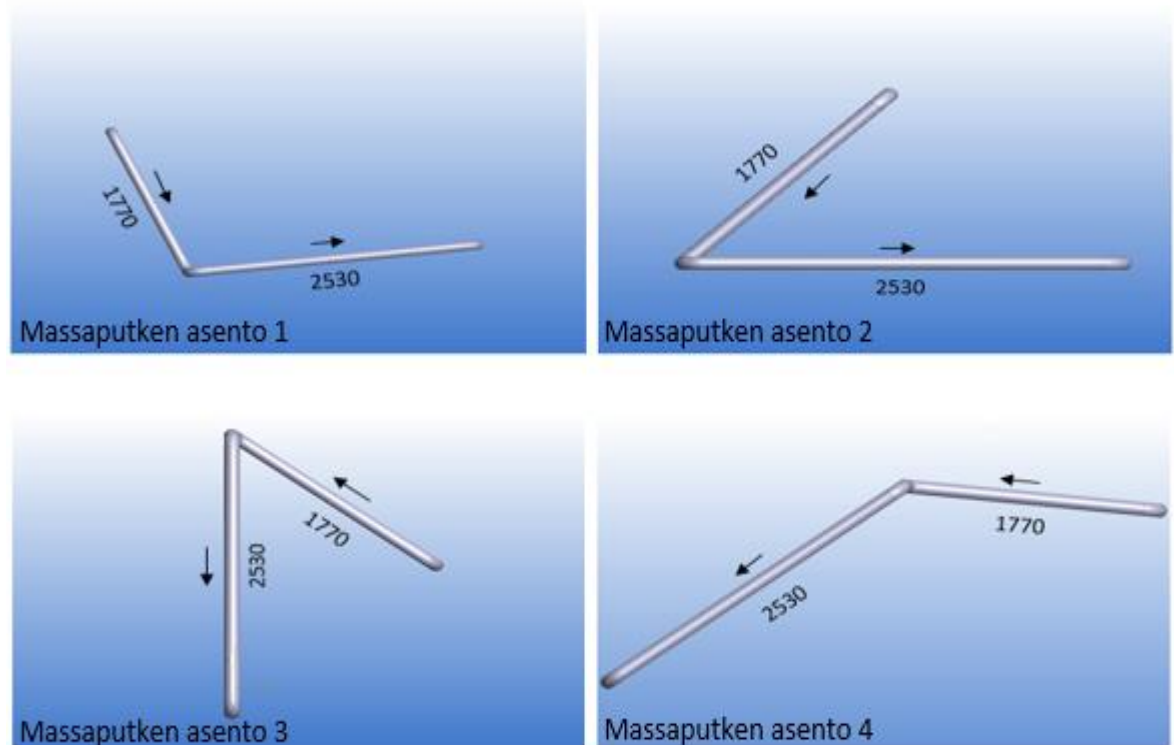
Massaputki mallinnettiin Vertex G4 -ohjelmistolla. Vertex G4 on suomalainen mekaniikkasuunnitteluohjelmisto. Ohjelmistolla voidaan tehdä 3D-suunnittelua sekä suunnitteludokumentaatiota esimerkiksi osaluetteloista ja tuoterakenteista. (Vertex systems Oy, [Viitattu 20.2.2015].)

Mallintaminen aloitetaan osan tai kokoonpanon suunnittelulla. Osamallinnuksessa luonnostellaan ensimmäiseksi sketsi. Sketsi on karkea piirros, jossa piirteen muoto esitetään hyödyntäen erilaisia geometrisia alkioita, jotka tuottavat mallin (Hietikko 2012, 28; Tuhola & Viitanen 2008, 61). Mallintaminen aloitettiin valitsemalla osan mallinnus. Tämän jälkeen lyhempi ja pidempi putki luonnosteltiin omiksi ohjauskäyriksi. Ohjauskäyrä kuvaa tässä tapauksessa sketsiä, joka ei vielä itsestään luo piirteen muotoa. Ohjauskäyrät luonnosteltiin siten, että aputasot olivat putkien nivelen kohdassa. Lyhempi putki mallinnettiin y-z-tasolle ja pidempi putki x-z-tasoon. Tämä helpotti eri asentojen tekemistä, koska näin ohjauskäyrille pystyttiin antamaan eri kulma-arvoja toisiinsa nähden. Tasojen avulla putkien eri asentojen määrittäminen on helppoa silloin, kun sketsi on sidottu koordinaattitasoihin (vrt. Tuhola & Viitanen 2008, 63). Lopuksi käytettiin ”pyyhkäise lisäten”-toimintoa. Toiminnolla pystyttiin lisäämään ohjauskäyrälle poikkileikkaus, jolla saatiin luotua putken 3D-malli ohjauskäyrän päästä päähän.

3D-suunnittelun lopputuloksena syntyi putken 3D-malli, joka on kuvattu neljässä eri asennossa (kuva 2). Massaputki liikkuu yhdessä laskuaseman kanssa esipuristusaltaan yläpuolella edestakaisin jakaen massaa tasaisesti altaaseen. Eri asentojen epäillään vaikuttavan massan virtaukseen ja täten massan levittymiseen esipuristusaltaassa. Asentojen valinnat perustuivat käytännön kokemustietoon sekä keskusteluun suunnittelupäällikön kanssa. Kuvassa 2 on havainnollistettu massaputken asennot, joissa virtaussimulointi kartoitettiin. Nuolet osoittavat massan kulkusuunnan ja putken pituusmitat on ilmoitettu millimetreinä. Putken ulkohalkaisija

on

101,6 mm ja seinämävahvuus 2 mm. Materiaalina on ruostumaton teräs.



Kuvio 3. Massaputken neljä eri asentoa.

### 3.2 Massaputken 3D-mallien siirto simulointiohjelmiin

Seuraavassa työvaiheessa massaputken 3D-mallit siirrettiin Comsol-ohjelmiin (kts. luku 4), jolla simulointi toteutettiin. Comsol-ohjelmiin vaatii siirrettävien tiedostojen olevan sat<sup>1</sup>-muotoisia. Vertex-ohjelmistolla voidaan 3D-mallin tiedostomuotoa muuntaa sat-tiedostoksi. Mallin vieminen simulointiohjelmiin oli helppoa ja 3D-malli pysyi samanlaisena kuin Vertex-ohjelmistossa.

<sup>1</sup> sat- lyhenne tarkoittaa tiedostomuotoa, jonka lyhenne tulee englannin kielestä Standard ACIS Text. Tiedostomuotoa käytetään useissa 3D-suunnittelu ohjelmissa. (FileSuffix.com 2015.)

## 4 VIRTAUSSUUNNITTELU

Luvussa kuvataan opinnäytetyön virtaussuunnittelu ja siinä huomioitavat tekijät. Virtaussuunnittelun tarkoitus oli tuottaa tietoa simulointia varten. Teorian tarkoitus on avata virtaussuunnitteluun vaikuttavia tekijöitä, dynaaminen ja kinemaattinen viskositeetti, nesteiden ominaisuudet, virtaustyytit sekä Reynoldsin luvun merkitys.

### 4.1 Massan ominaisuudet ja vaikutukset simulointiin

Newtonmaiset fluidit ovat fluideja, joiden leikkausvoima on lineaarinen suhteessa nopeuteen (Krause 2005, 21). Monet fluidit, kuten ilma ja vesi, kuuluvat tähän kategoriaan (Genick 2013, 70). Ei-newtonmaisissa fluideissa dynaaminen viskositeetti muuttuu leikkausjännityksen funktiona, vaikka paine ja lämpötila pysyisivätkin muuttumattomina. Joidenkin ei-newtonmaisten fluidien viskositeetti on myös ajasta riippuvainen. (Genick 2013, 72.) Juusto kuuluu ei-newtonisiin nesteisiin (Nesbitt 2006, 58).

Juusto valmistetaan maidosta, joka sisältää vettä 87 prosenttia (Heikkinen & Kortelampi 2000, 109). Tämänhetkiset massan tiedot sen ominaisuuksista perustuvat kokemustietoon. Massa sisältää heraa ja pallon muotoisia partikkeleita, joiden halkaisija on 3–6 mm (Liias 2015.) Tavoitteena oli alun perin tuottaa virtaussimulointi massan ominaisuuksia käyttäen. Massan ominaisuuksien käyttö simuloinnissa koettiin haastavaksi, sillä partikkeleiden vaikutusta viskositeettiin on haastavaa laskennallisesti selvittää. Simuloinnin toteuttaminen ei-newtonisen nesteen ominaisuuksia käyttäen olisi ollut haastavaa ja aikaa vaativaa tuotettavaksi opinnäytetyönä (Junell 2015).

Simulointi on prosessi, jossa ensimmäiset tulokset saavutetaan nopeasti. Näillä tuloksilla ei ole kvantitatiivista tarkkuutta, mutta kvalitatiivista kylläkin. Tietoja tutkitavasta fluidista tarkennetaan niin kauan, että riittävä tulos on saavutettu. (Eriksson 1995.) Näin ollen simulointi päätettiin aloittaa käyttämällä veden ominaisuuksia, koska tarkkoja tietoja juustomassasta ei ollut. Taulukossa 1 esitetään veden fysikaalisia ominaisuuksia eri lämpötiloissa. Työssä käytettiin veden fysikaalisia

ominaisuuksia vastaavia arvoja lämpötilan ollessa 30 °C. Juustonvalmistuksessa käytettävä lämpötila on noin 30 °C (Ruokatieto 2015).

Taulukko 1. Veden fysikaaliset ominaisuudet (Grundfos [Viitattu 16.3.2015]).

T [°C]	$P_{\text{vapour}}$ [10 <sup>5</sup> Pa]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\nu$ [10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s]
0	0.00611	1000.0	1.792
4	0.00813	1000.0	1.568
10	0.01227	999.7	1.307
20	0.02337	998.2	1.004
25	0.03166	997.1	0.893
30	0.04241	995.7	0.801
40	0.07375	992.3	0.658
50	0.12335	988.1	0.554
60	0.19920	983.2	0.475
70	0.31162	977.8	0.413
80	0.47360	971.7	0.365
90	0.70109	965.2	0.326
100	1.01325	958.2	0.294
110	1.43266	950.8	0.268
120	1.98543	943.0	0.246
130	2.70132	934.7	0.228
140	3.61379	926.0	0.212
150	4.75997	916.9	0.199
160	6.18065	907.4	0.188

## 4.2 Massan virtaus putkistossa

Massa virtaa esipuristusaltaan putkistossa. Putki on ruostumatonta terästä ja sen mitat ovat Ø101,6 x 2 – 1770 x 2530 mm. Sen käyttäytymisen selvittämiseksi putkistossa täytyy tietää massan fysikaaliset suureet. Nämä suureet ovat lämpötila, tiheys ja viskositeetti. Ominaisuuksien kuvaukseen tarvitaan myös muita muuttujia kuvaamaan liikettä kuten tilavuus- ja virtausnopeus. (Krause 2005, 24–25.)

### 4.2.1 Viskositeetti

Viskositeetti vaikuttaa virtaussuunnitteluun. Viskositeetti on nesteiden ja kaasujen sisäinen kitka. Mitä korkeampi nesteen viskositeetti on, sitä enemmän aine vastustaa virtausta. Nesteen viskositeettiin vaikuttaa oleellisesti lämpötila, jonka nous-

tessa nesteen viskositeetti laskee. (Keinänen & Kärkkäinen 2006, 174; Genics 2013, 71; Walstra 2003, 96; Inkinen & Tuohi 2006, 333-334.) Näin ollen viskositeetin avulla ymmärretään myös nesteen juoksevuus. Mitä pienempi viskositeetti on, sitä suurempi on nesteen juoksevuus, eli viskositeetti on tällöin alhainen.

Viskositeetin määritelmää voidaan tarkastella Newtonin viskositeettimallin avulla. Kun kaksi nesteen toisistaan erottamaa pintaa liikkuu toisiinsa nähden, niiden välille syntyy leikkausjännitys. Nesteille ominaista on, että pienikin leikkausjännitys muodostaa niissä virtausta. (Keinänen & Kärkkäinen 2006, 174; Krause 2005, 20).

$$\tau = \eta \frac{\Delta v}{\Delta h} \quad (1)$$

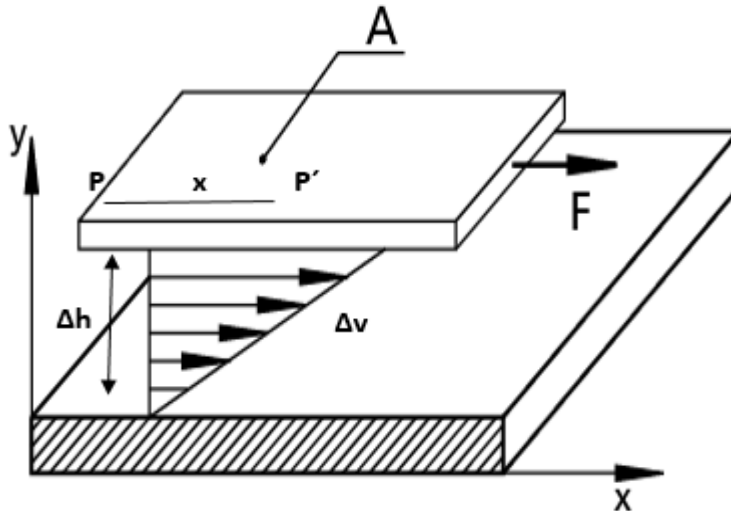
jossa,  $\tau$  = leikkausjännitys [Pa = N/m<sup>2</sup>]

$\eta$  = nesteen dynaaminen eli absoluuttinen viskositeetti [Pas = Ns/m<sup>2</sup>]

$\Delta v$  = kahden toisiaan lähellä olevan nestekerroksen nopeusero [m/s]

$\Delta h$  = nestekerrosten välimatka [m]

Kuviossa 3 on esitetty Newtonin viskositeettimallin avulla viskositeetin määritelmä. Kuviossa on kaksi samansuuntaista nestekerrosta, joista ylempi liikkuu nopeudella ( $v$ ). Voimaa ( $F$ ) tarvitaan kitkavastuksien voittamiseen. Voima on suoraan verrannollinen pinta-alaan ( $A$ ) nähden. Näiden kahden suureen suhdetta kutsutaan leikkausjännitykseksi ( $\tau$ ). (Nakayama & Boucher 2000, 9.)



Kuvio 4. Viskositeetin määrittely  
(Mukaillen Keinänen & Kärkkäinen 2006, 174).

#### 4.2.2 Dynaaminen ja kinemaattinen viskositeetti

Nesteen viskositeettia kuvataan käsitteellä dynaaminen viskositeetti ( $\eta$ ) (kuvio 3). Viskositeetti voidaan ilmaista myös kinemaattisena viskositeettinä, joka ilmaistaan dynaamisen viskositeetin ja tiheyden välisenä suhteena (Keinänen & Kärkkäinen 2006, 174). Kinemaattinen viskositeetti saadaan laskettua seuraavalla kaavalla:

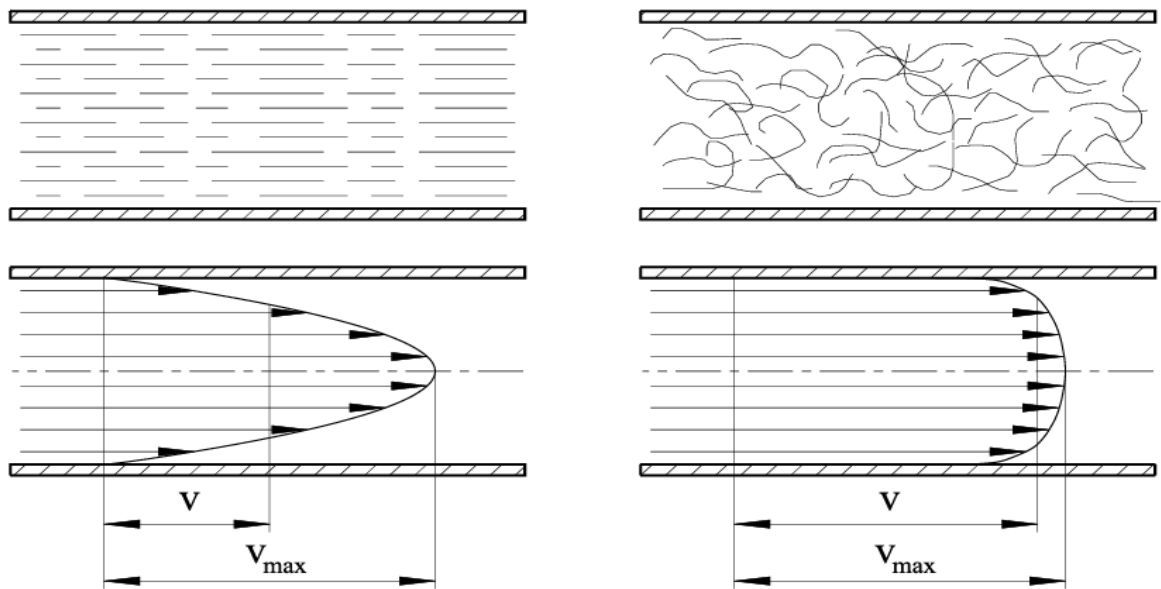
$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (2)$$

jossa,  $\nu$  = kinemaattinen viskositeetti [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]  
 $\eta$  = dynaaminen viskositeetti [ $\text{Pas}$ ]  
 $\rho$  = tiheys [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]  
 (Tekniikan taulukkirja 2012, 235.)

#### 4.3 Laminaarinen ja turbulenttinen virtaus

Nesteen virtaus voi olla laminaarista tai turbulenttista. Laminaarisessa virtauksessa neste virtaa tasaisesti eli kaikki nestehiukkaset liikkuvat yhdensuuntaisesti. Virtausnopeuden kasvaessa virtaus muuttuu turbulenttiseksi. Turbulenttisessa virtauksessa neste pyörteilee. Tällöin nestehiukkaset eivät noudata samaa rataa, vaan liikkuvat välillä jopa virtaussuuntaa vastaan. Laminaarisessa virtauksessa

häviöt kasvavat virtausnopeuden funktiona. Turbulenttisessa virtauksessa virtausnopeuden kasvu lisää häviöitä hyvin jyrkästi. (Keinänen & Kärkkäinen 2006, 175; Calambosi ym. 2012, 48.) Kuviossa 3 on esitetty laminaarinen ja turbulenttinen virtaus. Kuviossa  $v$  = keskimääräinen virtausnopeus [m/s] ja  $v_{\max}$  = virtauksen maksiminopeus [m/s]. Laminaarisessa virtauksessa virtausnopeus vaihtelee putken eri osissa. Virtausnopeus on nopeimmillaan putken keskiosassa ja hitaimmillaan putken seinämien läheisyydessä. (Asikainen 2000, 5.) Turbulenttisen virtauksen kuvio osoittaa nesteen virtaamisen olevan nopeuden suhteisempaa.



Kuvio 5. Laminaarinen (vasemmalla) ja turbulenttinen virtaus (oikealla) (Keinänen & Kärkkäinen 2006, 175).

#### 4.4 Reynoldsin luku

Reynoldsin lukua käytetään erottamaan virtauslajit, laminaarinen ja turbulenttinen toisistaan (Keinänen & Kärkkäinen 2006, 175). Kun virtaavan aineen virtauksen nopeus kasvaa, virtaus muuttuu vähitellen laminaarisesta turbulenttiseksi. Turbulenttisessa virtauksessa menetetään enemmän energiaa, mikä johtuu kitkan voittamisesta. Näin ollen painehäviö on suurempi. (Tekniikan taulukkokirja 2012, 236.)

$$Re = \frac{\rho v d}{\eta} \quad (3)$$

jossa  $\rho$  = virtaavan aineen tiheys [kg/m<sup>3</sup>]



$d$  = putken halkaisija [m]

$\eta$  = viskositeetti

$v$  = keskimääräinen nopeus [m/s]

Kriittinen Reynoldsin luku vaihtelee suuresti virtausaukon ja -kanavan mukaan. Tavallisin tarkastelukohde on kuitenkin nesteen virtaus pyöreässä putkessa, jolle kriittinen Re-luku on 2000–3000. Kun Re on pienempi kuin 2000, virtaus on laminaarista. Re:n ollessa  $> 3000$  virtaus on turbulenttista. Virtauksen muutos tapahtuu vähitellen. Virtauksen muuttumiseen turbulenttiseksi vaikuttaa myös pinnan karheus. Muutos tapahtuu väli tai siirtymäalueella, jossa esiintyy molempia virtauksen lajeja. Laskettaessa siirtymäalueen virtauksen oletetaan yleensä olevan turbulenttista. (Keinänen & Kärkkäinen 2006, 175; Tekniikan taulukkokirja 2012, 236.) Asikaisen (2000, 5–7) mukaan putkivirtauksessa Reynoldsin luku tulkitaan siten, että alle 2300 kuvaa laminaarista virtausta. Siirtymäalueella, jossa virtaus voi olla laminaarista tai turbulenttista tai vaihtelua niiden välillä, luku on 2300–4000. Yli 4000:n luku on turbulenttista virtausta. Teoriasta löytyy useita määritelmiä ja arvoja Reynoldsin luvusta, kuten Calambosi ym. (2012, 49) osoittavat. Heidän mukaansa Re-luvun ollessa  $> 2000$  putkivirtaus on usein jo turbulenttista. Tämä ei päde aina, sillä ”häiriötekijöiden” puuttuessa voi virtaus säilyä (osittain) laminaarisena hyvinkin suurilla Re-luvuilla.

Tässä työssä kaavassa käytettiin veden ominaisuuksia 30 °C:n lämpötilassa. Laskettu Reynoldsin luku osoittaa virtauksen olevan turbulenttista, koska tulos on suurempi kuin 4000:

$$Re = \frac{995,7 \frac{kg}{m^3} * 2,2 \frac{m}{s} * 0,0976m}{0,8 * 10^{-3} Pa * s} = 267863$$

## 5 SIMULOINTI

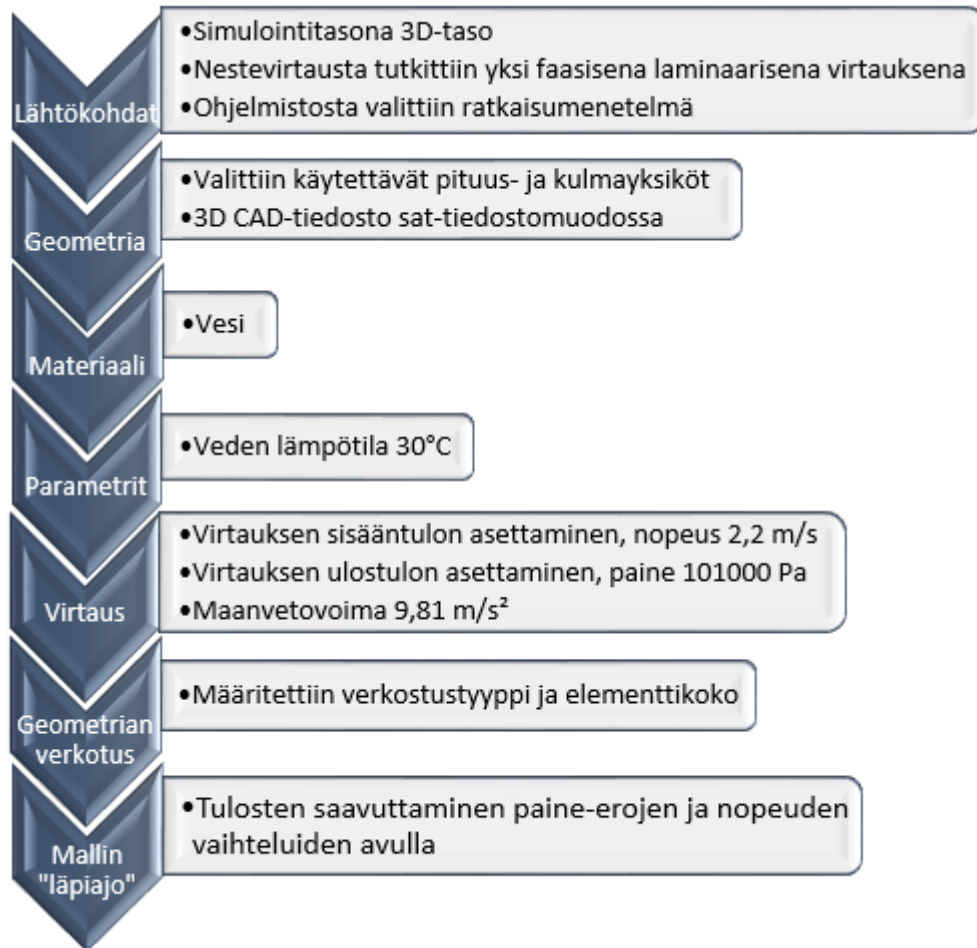
Simulointi käsitteenä tarkoittaa todellisuuden jäljittelyä. Jäljittely on todellisten tapahtumien matemaattista tai loogista mallintamista. Siten voidaan selittää ja kuvaata haluttua kohdetta tai ilmiötä ja käyttäytymistä. Simulaatio mahdollistaa konkreettisten tapahtumien, käsitteiden sekä teorian havainnollistamisen toiminnan tukena. Se on yksi virtuaaliodellisuuden ilmenemismuoto. Simulointimallin luomisen avulla kohteen käyttäytymistä voidaan ennakoida. Päätelmät kohteen käyttäytymisestä voidaan tehdä muuttamalla mallin tai ympäristön parametreja, jotka siihen vaikuttavat. (Räsänen 2004, 5.) Kuten myös Ahola (2011, 3–5) kuvaa, simulointeja voidaan toistaa ja mallissa havaittuja puutteita korjata, kunnes simuloitava laite tai järjestelmä täyttää sille asetetut vaatimukset. Ratkaiseva ongelma määrittelee mallinnuksen tason ja vain olennainen mallinnetaan. Olennainen tavoite on kustannustehokkaan valmistuksen ja tuotannon mahdollistaminen. Lisäksi simulointi nopeuttaa tuotekehitystä ja minimoi tuotekehityksen riskejä. Suunnittelu vaatii osaamista usealta tekniikan osa-alueelta, kuten esimerkiksi mekaniikan, tietotekniikan, elektroniikan, hydraulikan ja pneumatiikan alueilta. (Ahola 2011, 3–5.) Mekaniikkasuunnittelun tukena voidaan käyttää useita simulointimenetelmiä. Tyypillisiä menetelmiä ovat lujuuslaskenta, virtausanalyysi, lämpösimulointi, täyttymisanalyysi, vääristymisanalyysi, värähtely- ja akustiikkasimulointi. (Simulointi mekaniikkasuunnittelun tukena 2013.)

Aholan (2011, 14) mukaan simuloinnin käytännön ongelmia ovat useiden ohjelmistojen tarve, parametrisointi ja simulointiohjelmistojen synkronointi. Luotettavuutta arvioitaessa tulee huomioida, että virtuaalinen malli on aina yksinkertaistus todellisuudesta. Tällöin mallin rajoitukset on tunnistettava ja dokumentoitava. Tarkkuuden ja luotettavuuden arviointi vaatii kokemusta tuotteiden reaalisuunnittelusta ja toteutuksesta.

### 5.1 Simuloinnin toteutus

Simuloinnin toteutus kuvataan kuviossa 5 Comsol-ohjelmiston työvaiheiden sisältäin. Comsol-ohjelma tarvitsee virtaussimuloinnin toteuttamiseksi erilaisia lähtö-

parametreja, jotka ovat myös kuvattu kuviossa 5. Comsol-ohjelmisto sisältää vakioidut materiaalien lähtötiedot, joita ohjelmisto käyttää simuloinnin toteuttamiseen. Ohjelmiston käyttäjä pystyy muuttamaan näitä vakioituja arvoja halutessaan.



Kuvio 6. Simuloinnin toteutus työvaiheiden sisällöittäin.

Simuloinnin toteuttaminen Comsol-ohjelmistolla oli käytöltään melko helppoa ohjelmistoon perehtymisen jälkeen. Eri vaiheiden johdonmukaisuus helpotti ohjelmiston käyttöä. Parametrien ja muidenkin asetusten muuttaminen oli helpompaa muuttaman simuloinnin jälkeen. Simulointiin saatiin ohjausta yliopettaja Pasi Junelliilta.

## 5.2 Haasteet simuloinnin toteutuksessa

Virtaussimulointia toteutettaessa ilmeni useita haasteita. Kemian ja fysiikan tieteenalan tuntemus ja hallitseminen edesauttaa simuloinnin toteuttamista Aholan (2011, 5) mainitsemien osa-alueiden hallinnan lisäksi. Simuloinnissa pitää ymmär-

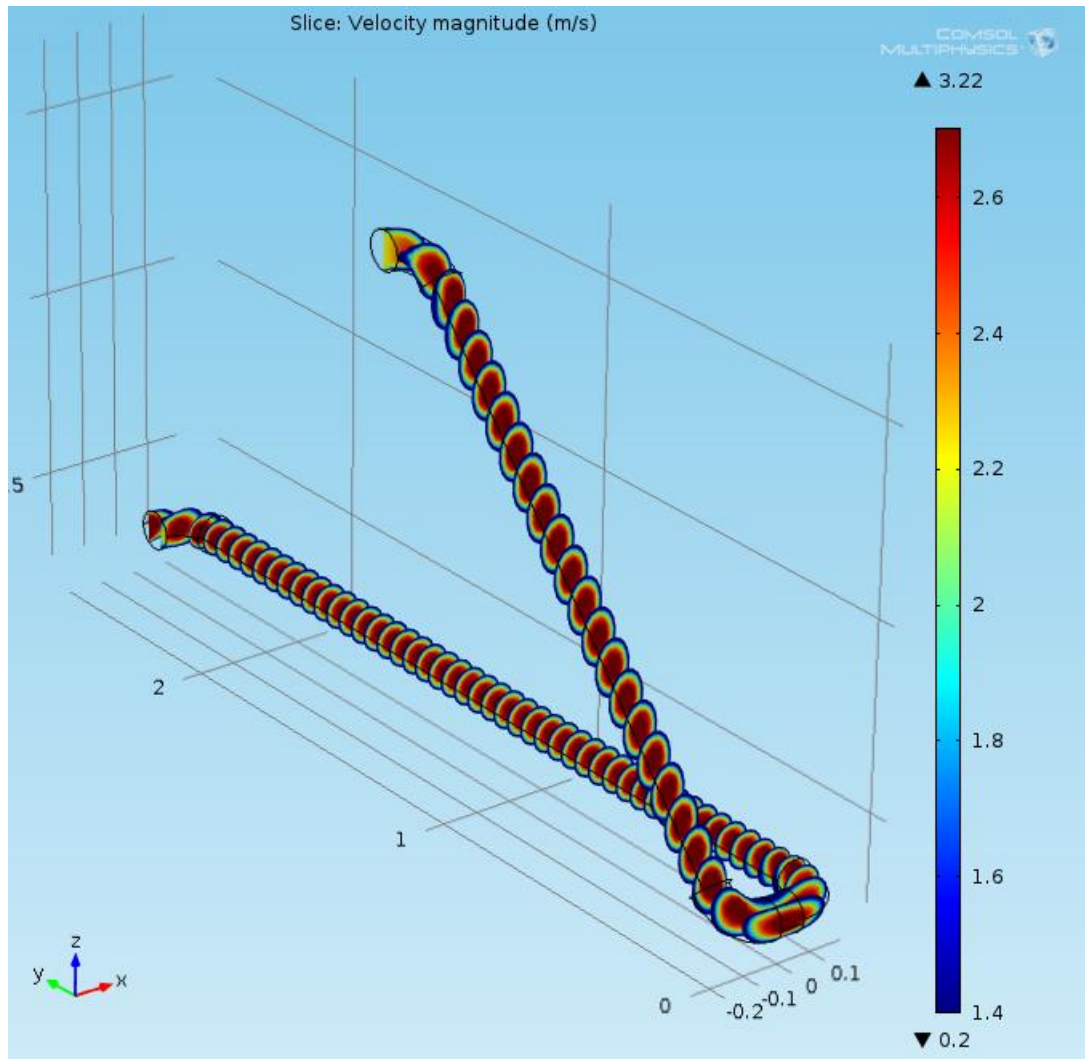
tää virtausta, nesteiden ominaisuuksia sekä parametrien muuttamisen aiheuttamia vaikutuksia tuloksiin. Toteuttamisessa on oleellista toimia huolellisesti ja tarkasti. Parametreja muutettaessa piti laskenta käydä uudelleen lävitse, jotta simulointiohjelma otti muutetut parametrit huomioon. Tämä oli aikaa vievää, koska muutettavia parametreja oli paljon. Jokainen uusi laskenta laminaarista virtausta simuloitaessa vei aikaa noin 2–7 minuuttia. Turbulenttisen virtauksen tapauksessa aikaa laskennan suorittamiseen meni jopa 25 minuuttia. Saatuja tuloksia myös vertailtiin keskenään, jotta havaittiin parametrien muutosten vaikutus simulointituloksiin.

## 6 SIMULOINTITULOSTEN VERTAUS PUTKISTOJEN VÄLILLÄ

Luvussa kuvataan simuloinnin tuottamat tulokset, joita verrataan alkuperäiseen putkistomalliin. Putkistomallissa oli neljä eri asentoa, joiden vaikutuksia massanvirtaukseen tutkittiin. Lisäksi opinnäytetyöprojektin aikana saatiin uusi kehittämissaaste, uuden tuotevaihtoehdon suunnittelu. Uusi tuotevaihtoehto kuvataan luvussa 6.2. Simulointituloksia verrattiin myös tähän uuteen tuotevaihtoehtoon.

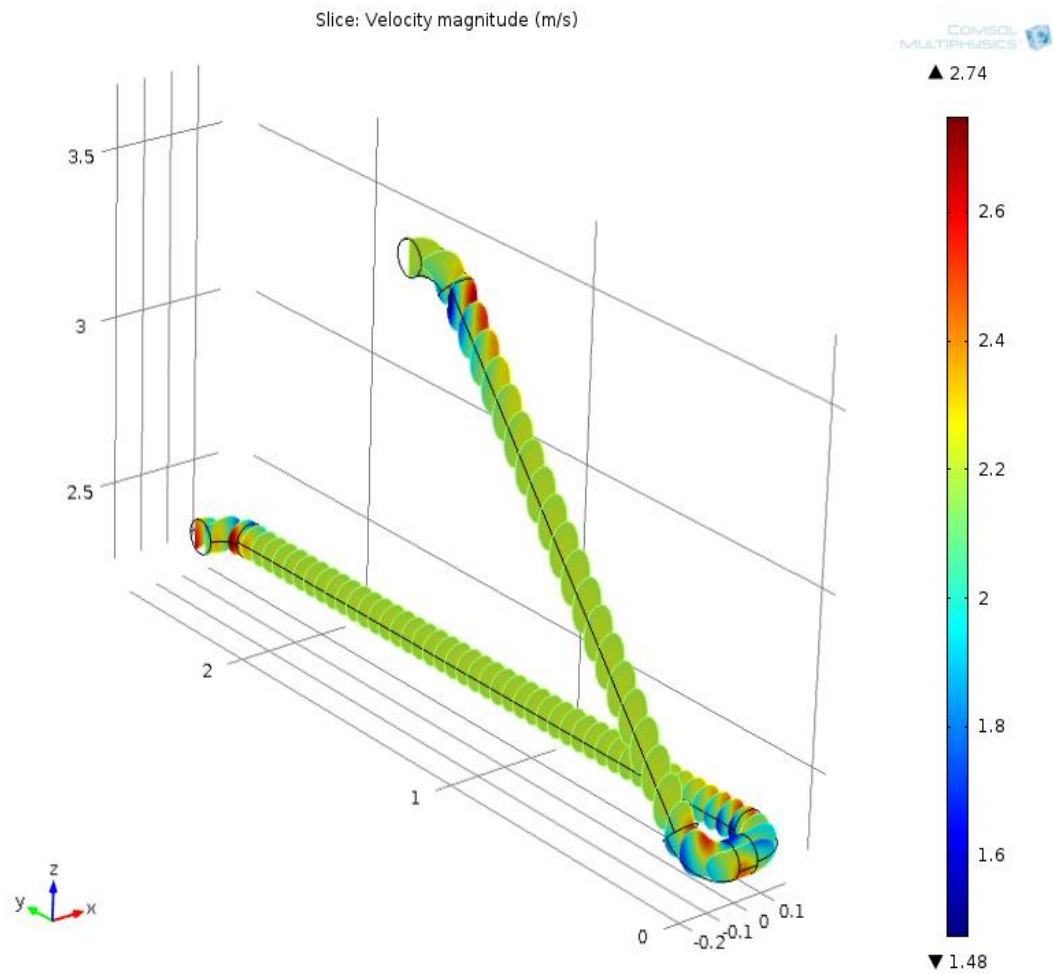
### 6.1 Simulointitulokset

Neljästä 3D-mallinnetusta putkiston asennosta saatiin simuloinnin avulla virtaustulokset, jotka esitetään vertailemalla putkistojen virtaustuloksia keskenään. Tuloksissa verrataan putkistojen paine-erojen ja nopeuden muutoksia. Siitä saadaan selville, pysyykö virtaus tasaisena putkiston eri asennoissa. Simulointi toteutettiin laminaarisella virtauksella. Kuvioissa 7 ja 8 esitetään massaputken asento kaksi. Tässä asennossa tulokset osoittivat massan virtauskäyttäytymisen parhaiten putkiston käyrien kohdissa. (vrt. Asikainen 2000, 5.) Tämä putkiston asento simuloitiin myös turbulenttisena virtauksena (kuvio 8). Turbulenttinen virtaus haluttiin selvittää, koska Reynoldsin luku osoittaa virtauksen olevan turbulenttista. Lisäksi haluttiin selvittää, onko laminaarisen ja turbulenttisen virtauksen simulointituloksissa eroa. Muita putken asentoja ei tutkittu turbulenttisella virtauksella. Simulointitulosten välillä havaittiin olevan vain pieniä nopeus- ja paineroja, joten laminaarinen simulointi tuotti tarpeelliset tulokset. Tämän vuoksi muita putkistojen asentoja ei simuloitu turbulenttisena virtauksena.



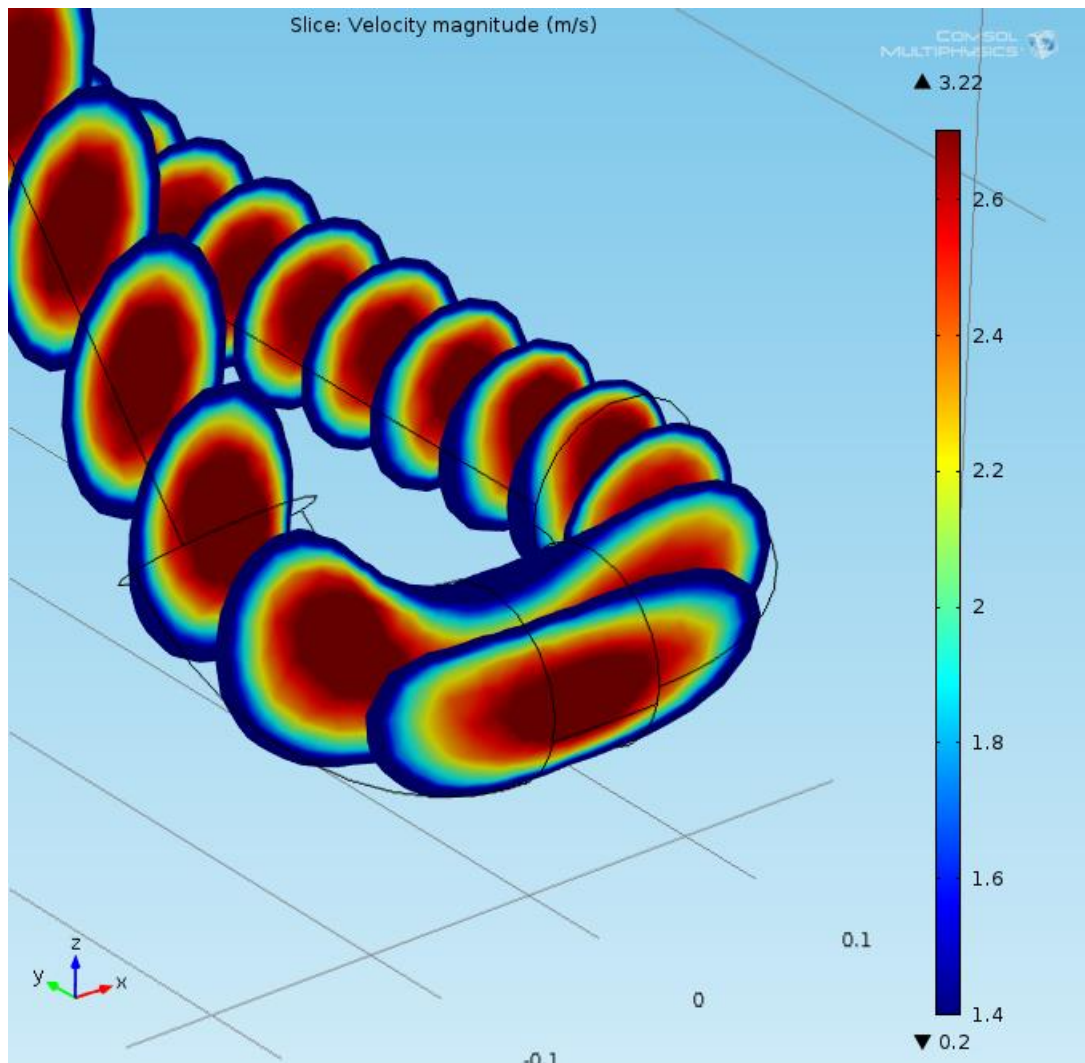
Kuvio 7. Massaputken laminaarinen virtaussimulointi asennossa kaksi.

Kuvioissa 7 ja 8 näkyy selvästi laminaarisen ja turbulenttisen virtausten erot. Kuviossa 7 massan virtaus on nopeimmillaan putken keskiosassa ja hidastuu putken reunoille. Tämä kuvaa laminaarisen virtauksen käyttäytymistä putkistossa. (Kts. Keinänen & Kärkkäinen 2006, 175).



Kuvio 8. Massaputken turbulентtinen virtaussimulointi asennossa kaksi.

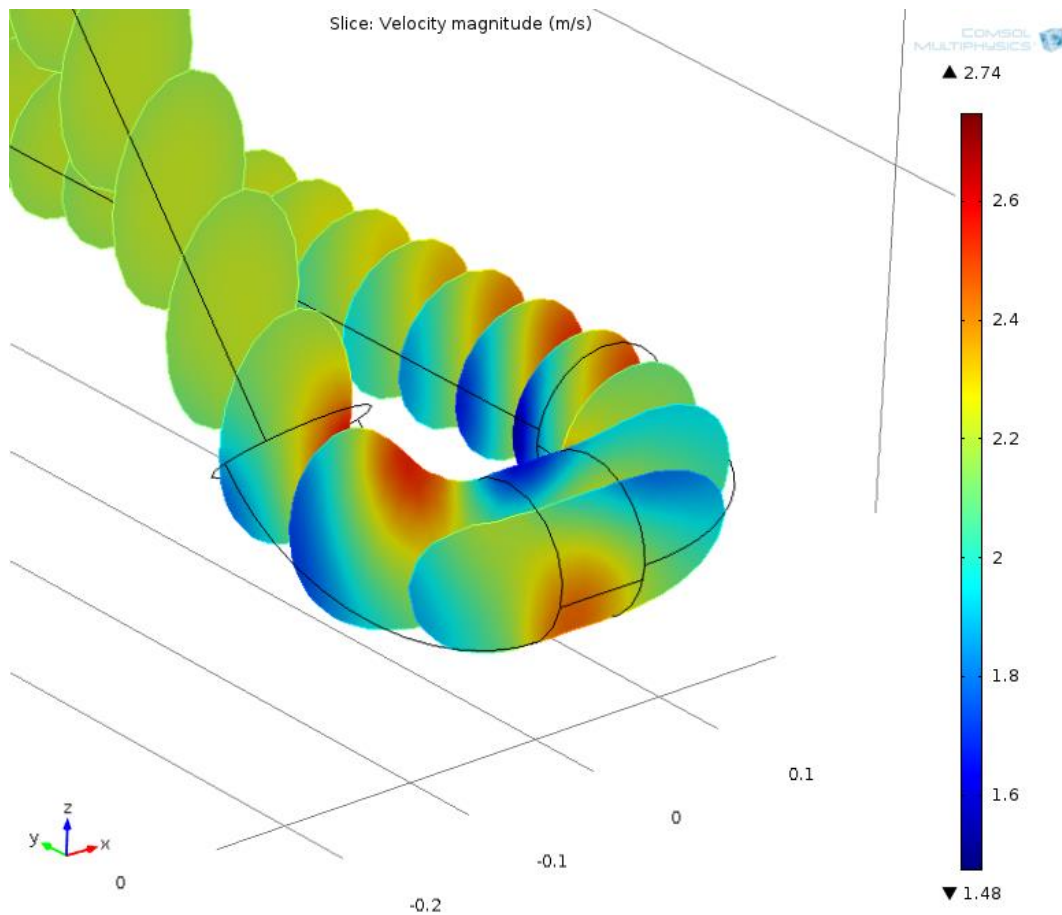
Turbulenttinen virtaus näkyy kuviossa 8. (Kts. Keinänen & Kärkkäinen 2006, 175). Nopeus on jakaantunut tasaisemmin kohtisuoraan putken poikkileikkaukseen nähden kuin laminaarisessa virtauksessa (kuviossa 7).



Kuvio 9. Massan laminaarinen virtaus putkiston käyrissä asennossa kaksi.

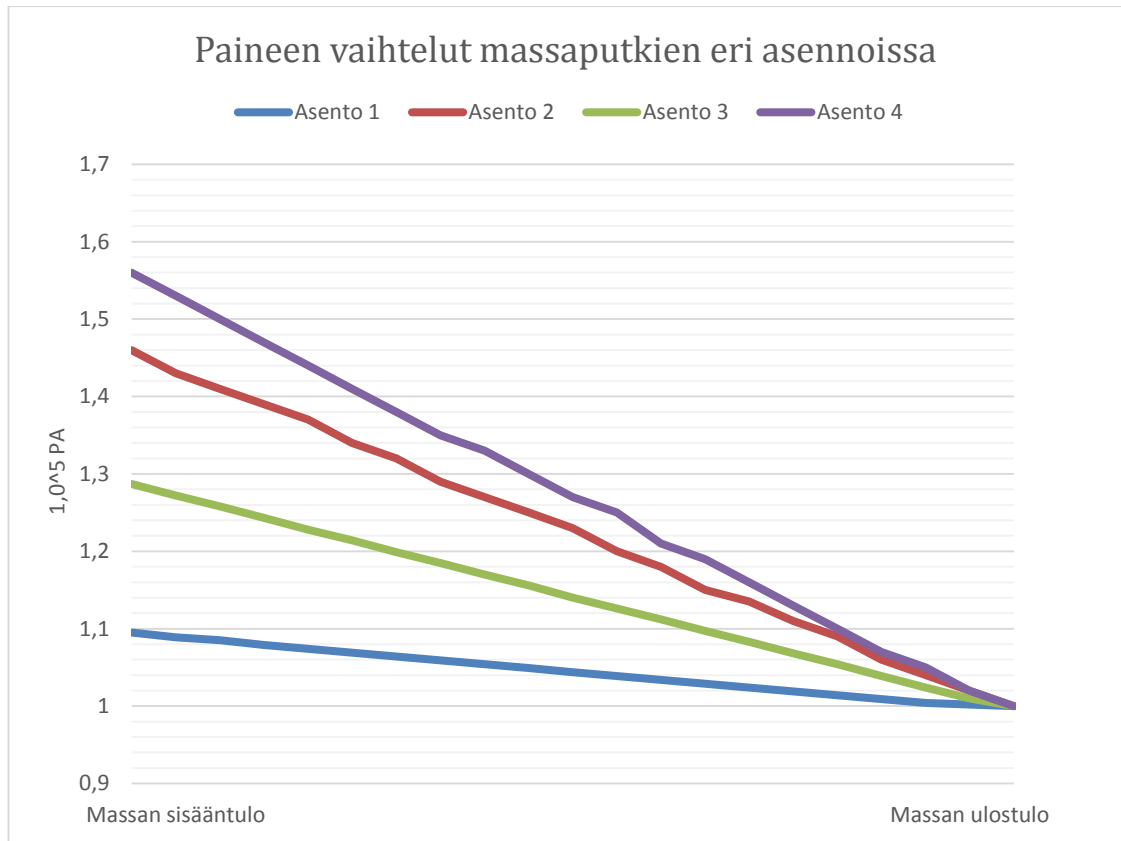
Kuviossa 9 nähdään nopeuden hidastuvan käyrän sisäreunassa ja kasvavan ulko-reunassa. Tämän epäillään aiheuttavan putkeen pyörteilyä, joka vaikuttaa massan tasaiseen virtaukseen. Kuvion 10 käyrässä esiintyy samanlainen ilmiö kuin kuviossa 9. Virtaus käyttäytyy samalla tavalla kuin laminaarisessa virtauksessa. Tämä puoltaa myös sitä, että simulointi toteutettiin laminaarisena virtauksena. Putken virtausnopeuden vaihtelut olivat noin  $1,2 \text{ m/s}^2$ . Virtausnopeuden maksimiarvoa ei huomioida, sillä se ilmeni ainoastaan hyvin pienissä osissa putkea.





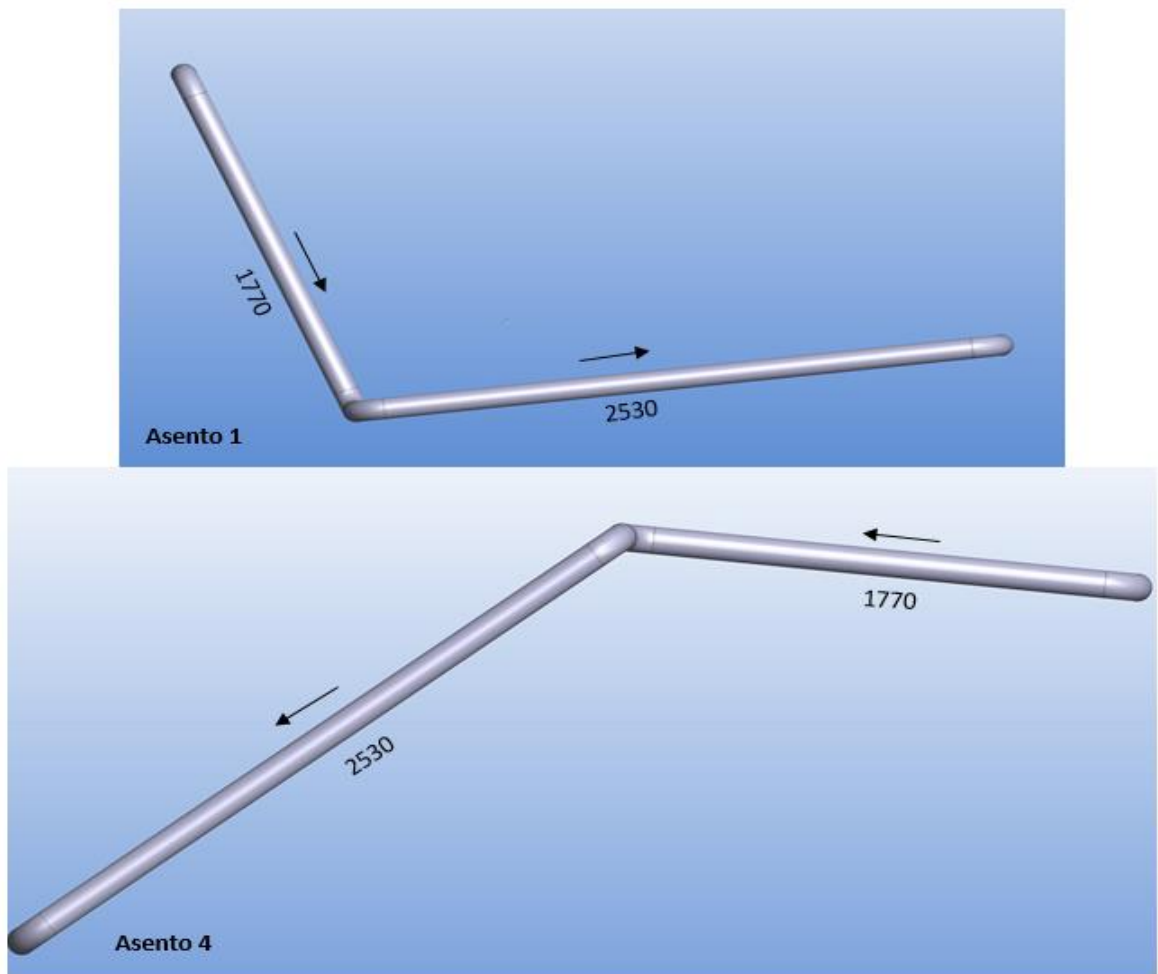
Kuvio 10. Massan turbulenttinen virtaus putkiston käyrissä asennossa kaksi.

Paineen vaikutusta virtaukseen tutkittiin massaputkien neljässä eri asennossa (kuvio 11). Simulointiohjelmaan asetettiin arvo 101000 Pa massaputken ulostuloon. Tätä varten kaikkien asentojen painearvot laskivat ulostuloa kohden. Painearvoissa oli kuitenkin vaihteluita, vaikka sisääntulo- ja ulostuloarvot ovat kaikissa asennoissa samat.



Kuvio 11. Paineen vaihtelut massaputkien eri asennoissa

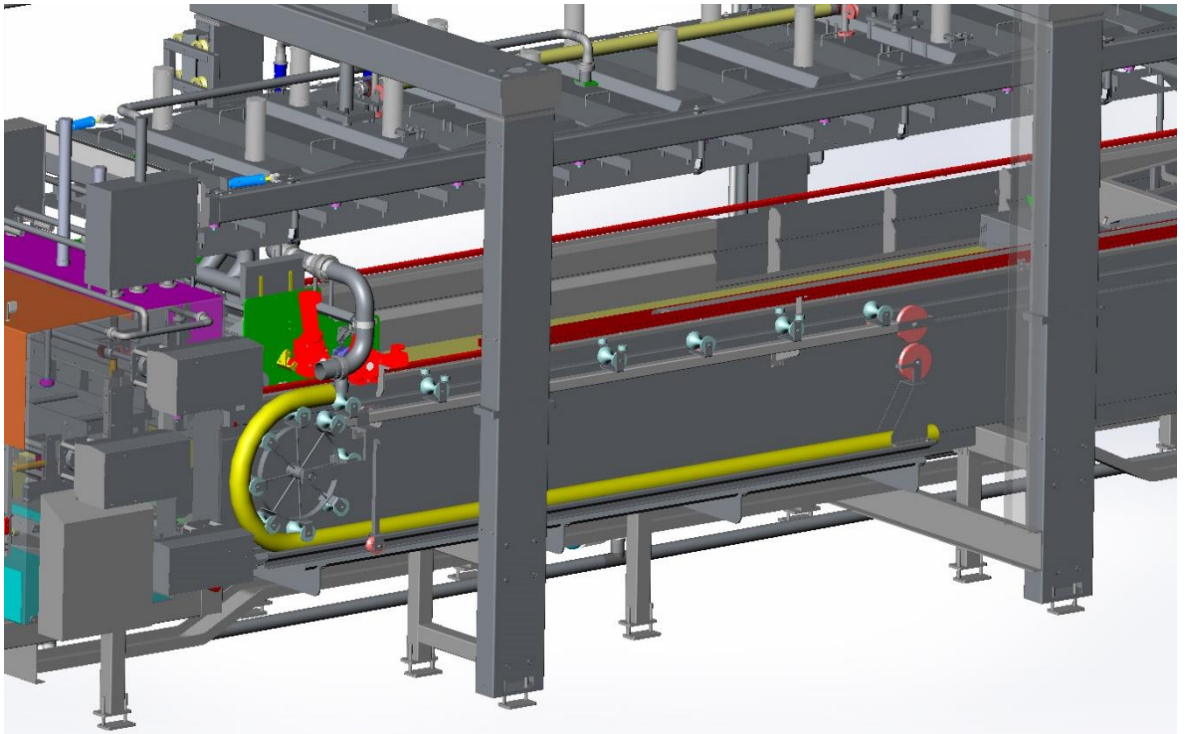
Massaputken asennolla 1 ja 4 oli suurimmat painerot. Nämä asennot esitetään kuviossa 12. Painerojen arvioidaan johtuvan näissä asennoissa putken lyhemmän ja pidemmän osuuden kaltevuuksien eroista sekä kahden peräkkäisen käyrän aiheuttamasta virtausvastuksesta. Tulosten perusteella asento 1 on ideaalein massanvirtaukseen.



Kuvio 12. Massaputken asennot 1 ja 4.

## 6.2 Tulosten vertaus toiseen tuotevaihtoehtoon

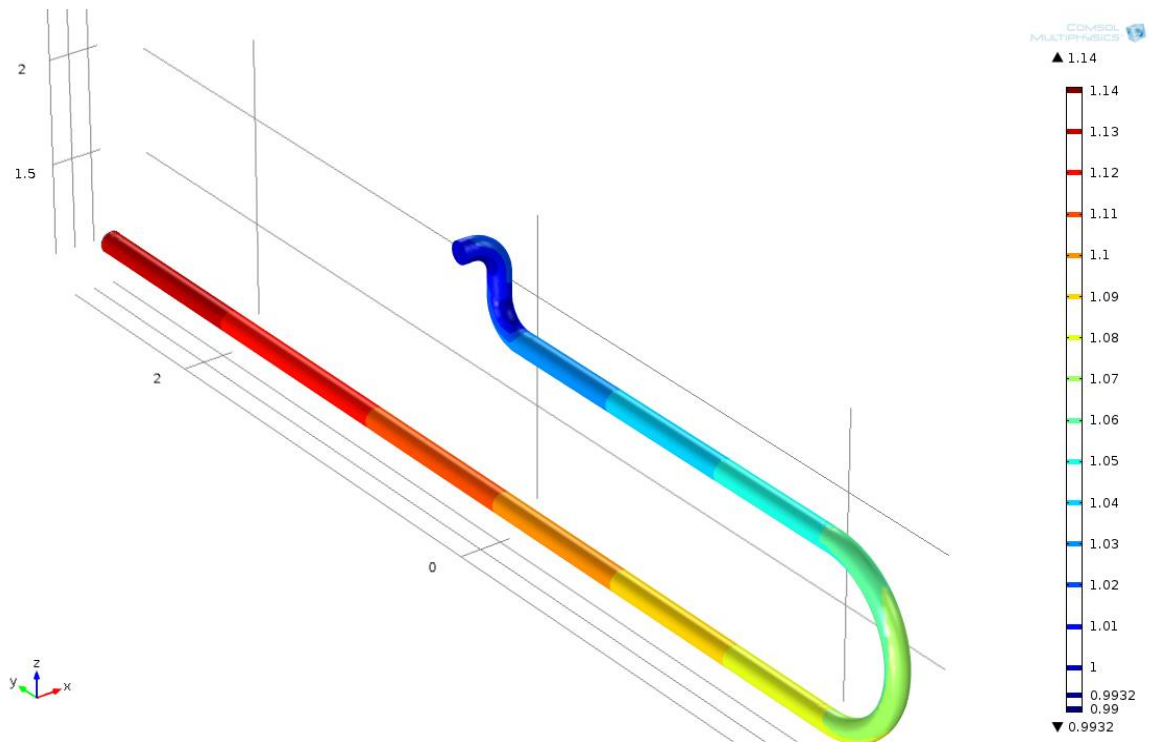
Tuloksia verrataan myös toiseen tuotevaihtoehtoon. Ennen tämän projektin alkua suunnitelmissa oli suunnitella kokonaan uusi putkisto esipuristusaltaaseen. Työn tilaajan kanssa päädyttiin siihen, että kyseinen suunnitelma toteutetaan ja kehittämistyötä jatketaan suunnitelman mukaisesti. Kehittämistyö haluttiin viedä loppuun, sillä sen koettiin edesauttavan tuotekehitystä. Tuotekehityksellä haluttiin verrata uuden tuotteen etuja verrattuna nykyiseen tuotteeseen. Näin ollen uusi massaputki suunniteltiin osana tätä opinnäytetyötä. Suunnittelu tehtiin SolidWorks® 3D -suunnitteluohjelmistolla. Alla olevassa kuvassa 2 on kuvattu uusi massaputki (keltainen) esipuristusaltaassa.



Kuva 2. Uusi massaputki esipuristusaltaassa.

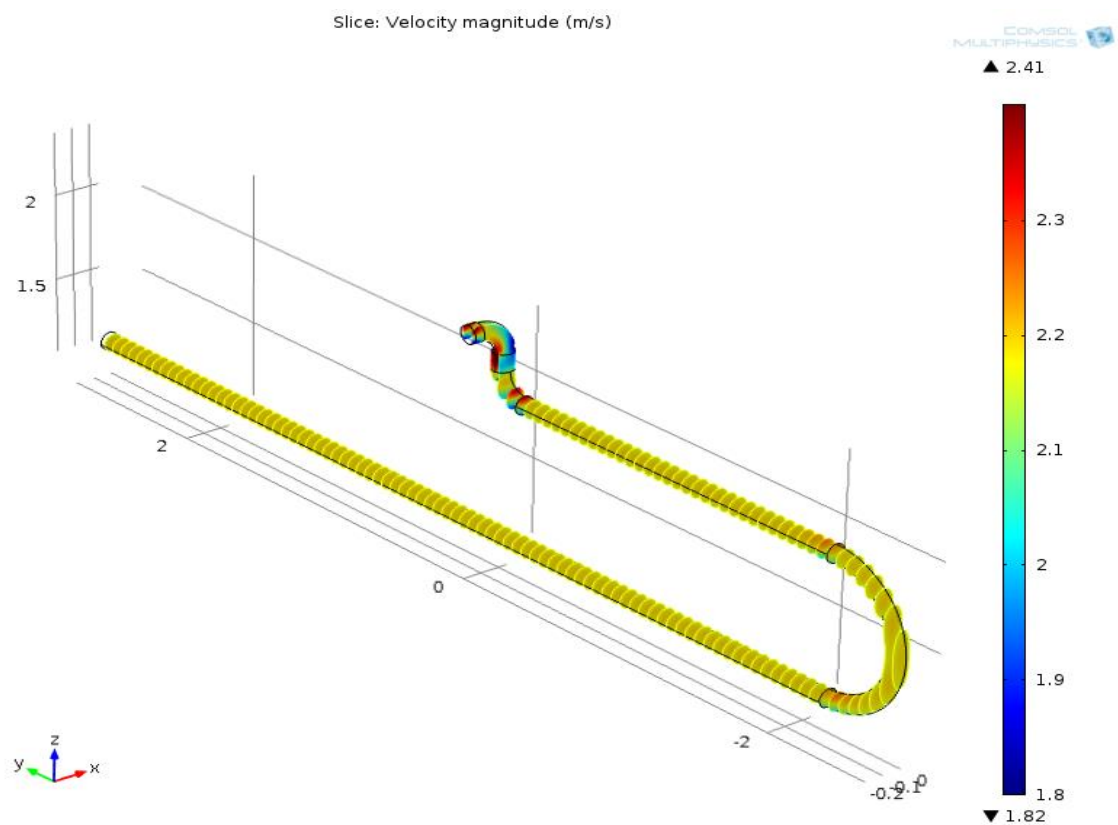
Uuden mallin tarkoituksena oli se, ettei siinä ole vanhan mallin kaltaisia niveliä. Nivelet rasittuvat liikkeessä, joten ne poistettiin uudesta mallista.

Kuviossa 13 esitetään ko. putken paineenvaihtelut baareina. Tuloksista voidaan havainnoida paineen käyttäytyvän melko tasaisesti. Putken asento ei muutu, kuten alkuperäisen putken, vaan sen asento pysyy samanlaisena jakovaunun liikkeessa. Tällöin ei synny paineenvaihteluita ja massansyöttö pysyy tasaisempuna. Paineen vaihtelu oli samankaltainen kuin putken asennon 1, joka oli ideaalein massan virtaukseen.



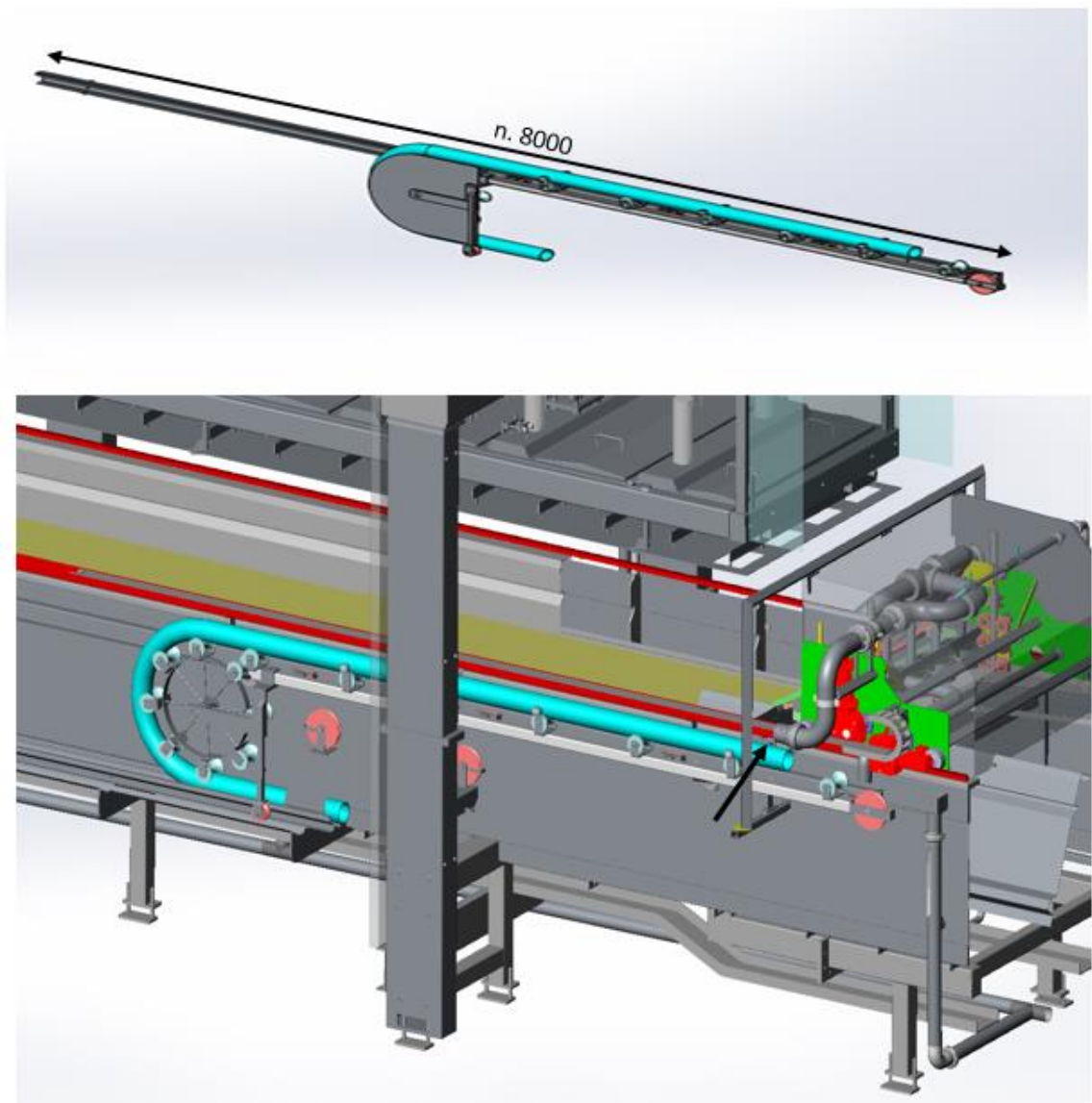
Kuvio 13. Uuden massaputken paineenvaihtelut.

Kuviossa 14 on esitetty uuden massaputken turbulenttinen virtaus. Uuden putken virtausta haluttiin tutkia turbulenttisena, sillä alkuperäisestäkin putkesta tuotettiin turbulenttinen virtaussimulointi (asento 2). Tämän ajateltiin myös olevan tulosten vertailun kannalta luotettavampaa, koska putkistosta laskettu Reynoldsin luku kuvaa turbulenttista virtausta. Virtausnopeus pysyi uudessa putkessa tasaisena. Putken loppupään mutkissa ilmeni vain noin  $0,6 \text{ m/s}^2$  nopeuden vaihteluita. Alkuperäisessä putkessa suurimmat nopeusvaihtelut olivat noin  $1,3 \text{ m/s}^2$ .



Kuvio 14. Uuden massaputken turbulenttinen virtaus.

Kuvion 15 mukaisesti esipuristusaltaan vaatima tilantarve korkeussuunnassa pienenee. Uusi massaputki liikkuu jakovaunun ohjaamana. Se on esipuristusaltaan päällä oleva laite, joka jakaa massan altaaseen. Jakovaunu liikkuu esipuristusaltaan päällä pituussuuntaisesti. Putki liittyy vaunuun alhaalla nuolen osoittamassa kohdassa. Liitäntäkohdan vastapuolelle kiinnitetään vastapaino vajjerilla. Sen tarkoituksena on pienentää jakovaunun liitosputken jännityksiä, jotka syntyvät jatkuvasta liikkeestä.



Kuvio 15. Uusi massaputki esipuristusaltaassa.

### 6.3 Luotettavuus

Tavoitteena työssä oli tutkia massan virtausta. Massa sisältää partikkeleita, joten virtauksen tutkiminen massan ominaisuuksia käyttäen olisi vaatinut erittäin laajaa ja haastavaa tutkimista. Sen vuoksi simulointi päätettiin toteuttaa veden ominaisuuksia käyttäen. Simuloinnin luotettavuus osoittautuu varmaksi vasta käytännössä. Uuden mallin kaltaisia putkistoja on kehitetty juuston esipuristusaltaisiin muualakin maailmassa. Näiden laatu on käytännössä todettu hyväksi (Suunnittelupäällikkö 2015).

Simulointia tehtäessä ilmeni, että putkiston käyrissä oli turbulenttista virtausta. Tämä aiheuttaa simulointiohjelmaan ratkaisuongelmia, koska virtaus on määritetty laminaariseksi. Turbulenttisen virtauksen vuoksi jouduttiin tekemään stabilointia, jotta simulointi saatiin suoritettua loppuun ilman virheitä. Stabiloinnin tarkoitus oli vakauttaa virtausta, jotta turbulenttisuutta ei muodostunut. Stabilointi vaikuttaa simulointitulosten luotettavuuteen. Tehdyn stabiloinnin vaikutusten arviointia on vaikea määrittellä ja tulokset eivät ole täysin realistisia. Uuden putken simulointi toteutettiin samoilla lähtöarvoilla kuin alkuperäisen putken. Tämän vuoksi tulokset ovat luotettavuudeltaan vertailukelpoisia. (Junell 2015.)



## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tulokset osoittivat alkuperäisessä putkistossa olevan painevaihteluita, jotka edesauttavat massan epätasaisen virtaamisen esipuristusaltaaseen. Uuden massaputken virtauksen painevaihtelut olivat huomattavasti pienemmät. Uuden putken etuna on, että sen asento ei muutu kuten alkuperäisen putken. Näiden tulosten perusteella voidaan todeta uuden putken suunnittelu onnistuneeksi. Simulointi tuotti arvokkaat tulokset tuotekehityksen kannalta. Uusi putki osoittautui simuloinnin avulla paremmaksi vaihtoehdoksi kuin alkuperäinen putki. Tulosten avulla voidaan tukea työn tilaajaa tuotekehityksessä ja pyrkiä parantamaan tuotteen laatua. Laadun kohentuminen ilmenee juustopalan painotarkkuuden pienentymisessä, kun massan virtaus saadaan tasalaatuisemmaksi esipuristusaltaaseen.

### 7.1 Kehittämistyön hyödynnettävyys ja käyttöönotto

Kehittämistyön tulosten perusteella voidaan suositella uuden putken suunnittelun hyödyntämistä esipuristusaltaaseen. Ennen tuotteen käyttöönottoa tulee tehdä muutamia tarkistuksia ja lisäselvityksiä putken ulostulopään mutkiin. Tuloksia tarkasteltaessa havaittiin putken mutkissa virtausnopeuden vaihteluita. Virtausnopeuden vaihteluiden minimoimiseksi putken loppupäässä olisi mahdollista tehdä muutoksia. Virtaus voitaisiin saada tasaisemmaksi muuttamalla putken loppupään ulostuloa. Yksi vaihtoehto tähän saattaisi olla putken muuttaminen siten, että putken mutkat muutettaisiin loivemmiksi. Tämä perustuu havaintoon uuden putken tasaisesta virtauksesta, jossa loivassa mutkassa ei ilmennyt virtausnopeuden vaihtelua.

### 7.2 Kustannusvaikutukset

Kehittämistyön tulosten perusteella voidaan todeta, että kustannusvaikutuksiltaan uuden putken käyttöönotto on kannattavampaa. Uuden putken osien ja kokoonpanon kustannukset ovat lähes samat kuin alkuperäisen putken. Säästöjä saadaan kuitenkin takuuhuollosta, sillä uuden putken takuuhuoltotarpeen voidaan olettaa

olevan vähäisempi kuin alkuperäisen putken. Takuuhuoltotarpeen vähentyminen johtuu putken nivelistä, joita ei uudessa mallissa ole yhtään. Alkuperäisessä putkessa niveliä oli kolme. Nivelet ovat kustannuksiltaan kalliita ja niiden huoltotarve perustuu kokemustietoon. Nivelien tiivisteet voivat alkaa vuotamaan jatkuvan liikkeen ja rasituksen vaikutuksesta. (Suunnittelupäällikkö 2015.) Lisäksi kustannussäästöt ilmenevät kohentuneen laadun kautta, kun massa levittyy tasaisemmin esipuristusaltaaseen. Käyttöönoton jälkeen näitä ylläpitokustannuksia tulee kartoittaa seurannan ja dokumentoinnin avulla.

Vuoto on myös hygienian kannalta merkittävä riskitekijä. Wirtasen ja Aarnisaloon (2002, 11) mukaan elintarviketeollisuudessa onkin tietynlaisia eroavaisuuksia laitteiston ja tuotantotilojen vaatimusten suhteen verrattuna muihin teollisuuden aloihin. Hygieeninen tehdas- ja laitesuunnittelu on teollisuuslaitoksen keskeinen hygienian hallinnan osa-alue. Tämä vaikuttaa oleellisesti muun muassa puhdistustoimiin. Hygieenisyyden puute ilmenee paitsi alentuneena hygieniatasona myös tuotantokustannuksissa. Vastuu hygieenisistä laitteista on yhteisesti elintarviketeollisuuden laitevalmistajilla, laitteiden ylläpitäjillä, pesu- ja desinfiointiainevalmistajilla sekä elintarvikkeiden tuottajilla. Hygieeniseen lopputulokseen pääsemiseksi vaaditaan yhteistyötä kaikkien osapuolten välillä suunnittelussa, käytössä ja ylläpidossa. (Wirtanen & Aarnisalo 2002, 11.)

## 8 POHDINTA

Opinnäytetyö onnistui vastaamaan sille asetettuun tavoitteeseen. Tuloksena saatiin tieto, miten massaputken virtaussuunnittelu vaikuttaa juustomassan levittymiseen esipuristusaltaaseen. Tuotekehitykseen saatiin tarvittavaa tukea asiakkaan antaman toimintavaatimuksen täyttämiseen. Tavoitteena oli juustopalan painotarkkuuden pienentyminen  $\pm 9$  prosentista  $\pm 3$  prosenttiin. Tämän opinnäytetyön tuloksien merkitys asetettuun tavoitteen pääsemiseen selviää, kun esipuristusallas saadaan valmistettua ja uusi putki otettua käyttöön.

Kehittämistyön prosessi oli kokonaisuudessaan mielenkiintoinen. Haasteita työn toteuttamisessa ilmeni simuloinnissa. Simulointi toteutettiin laminaarisena virtauksena ja materiaalina käytettiin vettä. Simulointi olisi voitu toteuttaa ei-newtonmaisena nesteenä ja turbulenttisena virtauksena. Tämä olisi kuitenkin vaatinut runsaasti enemmän tietoja juustomassan koostumuksesta ja simuloinnin toteuttamisesta ei-newtonmaisena nesteenä. Tällöin simulointiin olisi pitänyt lisätä satoja, jopa tuhansia partikkeleita (juustopaloja) liikkumaan nesteen seassa. Tämä olisi vaatinut tietokoneeltakin hyvää suorituskykyä pystyä laskemaan näin vaativa simulointi. Turbulenttista virtausta simuloitaessa veden ominaisuuksilla tietokoneen laskenta-aikaan meni jopa 25 minuuttia, ilman lisättyjä partikkeleita.

Tuotekehitysprosessin laatu asetettiin korkealle. Tuotekehityksessä huomioitiin useita teknisiä ratkaisuja ja niiden vaikutukset huomioitiin koko suunnitteluprosessin ajan. Tavoitteena oli tuottaa toimintavarma, kestävä ja tehokas tuotesuunnitelma. Osoituksena tästä on helpommin valmistettava tuote, joka on myös toimintavarmempi ja tuotantokustannuksiltaan vastaava kuin vanha malli. Haastavaa työstöä vaatineet nivelet saatiin poistettua mallista kokonaan. Myös nivelien huoltokustannusten oletetaan vähenevän murto-osaan aiemmasta. Esipuristusaltan korkeutta saatiin pienennettyä 30 senttimetriä. Tämä helpottaa laitteen asennusta huomattavasti, koska hyvin usein projektit toimitetaan jo valmiisiin tuotantolaitoksiin, joiden kattokorkeus on melko matala (Suunnittelupäällikkö 2015).

## LÄHTEET

- Ahola, J. 2011. Monitekniikan tuotteen virtuaalisuunnittelun konsepti – Työkoneiden tuotetiedonhallinta –seminaari. [Ppt-esitys]. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. [Viitattu 26.3.2015]. Saatavana: <http://www.videonet.fi/tekes/20110330/9/ahola.pdf>
- Asikainen, S. 2000. Clamp-on ultraäänivirtausmittareilla tehtävät mittaukset pienissä vesiputkissa. [Verkkójulkaisu]. Tampereen teknillinen korkeakoulu. [Viitattu 22.3.2015]. Saatavana: [www.mit.tut.fi/projektitekstit/Vesta/VestanRaportti.pdf](http://www.mit.tut.fi/projektitekstit/Vesta/VestanRaportti.pdf)
- Calambosi, S., Mizohata, K., Palonen, V., Peura, E., Rauhala, E., Ståhlberg, B. & Österberg, K. 2012. Aineopintojen laboratoriotyöt. [Verkkójulkaisu]. Helsingin Yliopisto. Fysiikan laitos. [Viitattu 18.3.2015]. Saatavana: <http://www.courses.physics.helsinki.fi/fys/oplab/aineopinnot/monisteet/Tyohje.pdf>
- Eriksson, J-T. Mallintamisen metodiikka. Tampere: Tampereen Teknillinen Korkeakoulu.
- Filesuffix.com. 2015. Details of the .sat file extension. [Verkkosivu]. [Viitattu 14.3.2015]. Saatavana: <http://www.filesuffix.com/en/extension/sat>
- Genick, B.-M. 2013. Basics of fluid mechanics. [Verkkokirja]. [Viitattu 20.3.2015]. Saatavana: <http://www.potto.org/FM/fluidMechanics.pdf>
- Grundfos. Ei päiväystä. The Centrifugal Pump. Grundfos research and technology. [Verkkójulkaisu]. [Viitattu 16.3.2015]. Saatavana: [http://dk.grundfos.com/content/dam/Global%20Site/Industries%20%26%20solutions/Industry/pdf/The\\_Centrifugal\\_Pump.pdf](http://dk.grundfos.com/content/dam/Global%20Site/Industries%20%26%20solutions/Industry/pdf/The_Centrifugal_Pump.pdf)
- Heikkinen, V. & Kortelampi, S. 2000. Elintarviketieto. 1-2. painos. Porvoo: WSOY.
- Hietikko, E. 2008. Tuotekehitystoiminta. Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja B 2/2008. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulun kuntayhtymä.
- Hietikko, E. 2012. SolidWorks – Tietokoneavusteinen suunnittelu 2012. 5. painos. Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja D5/1/12.
- Inkinen, P. & Tuohi, J. 2006. Momentti 1. Insinöörifysiikka. 4. painos. Helsinki: Otava.
- Junell, P. Yliopettaja. 2015. Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Tekniikan yksikkö. Keskustelu. 17.3.2015.

- Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2006. Automaatio-järjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka. Helsinki: WSOY.
- Krause, E. 2005. Fluid mechanics – With problems and solutions, and an aerodynamics laboratory. New York: Springer Berlin Heidelberg.
- Laakko, T. 1998. Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu. Helsinki: WSOY.
- Lecklin, O. & Laine, R. 2009. Laadunkehittäjän työkalupakki – Innovatiivisen johtamisjärjestelmän rakentaminen. Helsinki: Talentum.
- Liias, M. 2015. Juustomestari. Jukolan Juusto Oy. Haastattelu 18.1.2015. Seinäjoki.
- Nakayama, Y. & Boucher, R.F. 2000. Fluid mechanics. Tokio: Butterworth-Heinemann.
- Nesbitt, B. 2006. Handbook of pumps and pumping – Pumping manual international. Amsterdam: Elsevier.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K.H. 2007. Engineering design. 3. painos. Lontoo: Springer.
- Projektiryhmä. 2014. Suunnittelupäällikkö xxx, Kitinoja, K. & Mononen, K. Aloituspalaveri. 19.12.2014.
- Ruokatiето. 2015. Maitotuotteet – Juuston valmistus. [Verkkosivusto]. [Viitattu 15.4.2015]. Saatavana: <http://www.ruokatiето.fi/ruokakasvatus/ruokaketju-ruuan-matka-pelloilta-poytaan/elintarviketeollisuus/elintarvikkeiden-valmistus/maitotuotteet>
- Räsänen, S. 2004. Verkko-opetuksen tietotekniikkaa – Simulaatio opetuksessa. [Verkkojulkaisu]. Raportti B/2004/3. Kuopion yliopisto, tietojenkäsittelylaitos. [Viitattu 13.2.2015]. Saatavana: <http://www.cs.uku.fi/tutkimus/publications/reports/B-2004-3.pdf>
- Simulointi mekaniikkasuunnittelun tukena. 2013. [Verkkosivusto]. Blogi: Juha Suvanto. [Viitattu 11.2.2015]. Saatavana: <http://mekaniikkasuunnittelu.com/wp/?p=106>
- Suunnittelupäällikkö, xxx. 2015. Elintarvikealan yritys. Haastattelu. 16.1.2015.
- Tekniikan taulukkokirja. 2012. Valtanen, E. (toim.) 19. painos Genesis-Kirjat Oy.
- Tuhola, E. & Viitanen, K. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. Tampere: AMK-kustannus Oy.

Vertex Systems Oy. Ei päiväystä. Vertex G4 Mekaniikkasuunnittelu. [Verkkosivusto]. [Viitattu 20.2.2015]. Saatavana: <http://www2.vertex.fi/web/fi/g4?gclid=COrc7Yev8MMCFcQCcwod13QAnQ>

Walstra, P. 2003. Physical chemistry of foods. New York: Marcel Dekker.

Wirtanen, G. & Aarnisalo, K. 2002. Teoksessa: Laittehygieniä elintarviketeollisuudessa – Hygieniäongelmien ja listeria monocytogeneksen hallintakeinot. (toim. Wirtanen, G.) [Verkköjulkaisu]. Espoo: VTT Publications 480. [Viitattu 23.3.2015]. Saatavana: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2002/P480.pdf>

Xuehong, D., Jianxin, J. & Tseng, M. 2006. Understanding customer satisfaction in product customization. The International Journal of Advanced Manufacturing. 31, 396-406

