



**jamk.fi**

# **Tuoteperheen modulaarisuuden kehittäminen**

Joonas Orjala

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2019  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Insinööri (AMK), Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Jyväskylän ammattikorkeakoulu  
JAMK University of Applied Sciences

Tekijä(t) Orjala, Joonas	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä huhtikuu 2019
	Sivumäärä 64	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Tuoteperheen modulaarisuuden kehittäminen</b>		
Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Matilainen Jorma & Siistonen Matti		
Toimeksiantaja(t) Valmet Technologies Oy		
Tiivistelmä <p>Toimeksianto opinnäytetyölle tuli Valmet Technologies Oy:n Jyväskylän toimipisteestä. Opinnäytetyön aiheena oli kehittää paperikoneen perälaatikkoperheen modulaarisuutta tutkimalla aikaisemmassa projektissa syntyneen idean jatkokehitysmahdollisuuksia. Tavoitteena oli selvittää, kuinka ideaa voitaisiin soveltaa tuotantoperälaatikoissa, vertailla idean kustannuksia nykyiseen ratkaisuun sekä tutkia aiheuttaako idean hyödyntäminen rajoitteita suunnittelun näkökulmasta.</p> <p>Idean jatkokehitys aloitettiin perehtymällä alkuperäiseen ideaan sekä uuteen materiaaliin, jota ideassa oli tarkoitus hyödyntää. Idean soveltamiseksi tuotantoperälaatikoissa oli työssä kehitettävä kiinnitysmekanismi, joka soveltuu ideassa käytettyihin uudenlaisiin massaputkiin. Kiinnitysmekanismien ideoiden arvioinnissa hyödynnettiin vaatimuslistaa sekä painotettua pistearviointia, joiden perusteella parhaiten soveltuva idea valittiin jatkokehitykseen. Parhaan idean valinnan jälkeen kehitettiin lopullisen ratkaisun konsepti ja sille tehtiin kustannustehokkuusvertailu. Vertailussa uuden ratkaisun kustannuksia verrattiin kriittisesti nykyisen ratkaisun kustannuksiin.</p> <p>Tuloksena työstä syntyi perälaatikkoperheen modulaarisuutta kehittävä konsepti sekä kustannustehokkuuslaskelma uudelle ratkaisulle. Työn tuloksena alkuperäisen idean potentiaalisuus saatiin tuotua esille ja siitä saatiin kehitettyä järkevä vaihtoehto nykyiselle ratkaisulle.</p> <p>Työn perusteella voitiin konseptin viemistä jatkotutkimuksiin ja mahdollisesti tulevaisuudessa tuotantokoneisiin pitää järkevänä ehdotuksena. Uuden ratkaisun hyödyntäminen tarjoaa mahdollisuuksia, jotka eivät nykyisellä ratkaisulla ole mahdollisia.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Tuotekehitys, Modulaarisuus, Tuoteperhe, Kustannustehokkuuslaskenta		
Muut tiedot ( <a href="#">Salassa pidettävät liitteet</a> ) Opinnäytetyön liitteet 1,2,3,4,5,6,7 ja 8 ovat salassa pidettäviä ja piilotettu julkisesta versiosta. Salassapidon perusteena on Julkisuuslain 621/1999 24§, kohta 17, mukainen yrityksen liike- tai ammattisalaisuus. Salassapitoaika viisi (5) vuotta.		

## Description

Author(s) Orjala, Joonas	Type of publication Bachelor's thesis	Date April 2019
	Number of pages 64	Language of publication: Finnish
		Permission for web publication: x
Title of publication <b>Developing product family modularity</b>		
Degree programme Degree programme in Mechanical and Production Engineering		
Supervisor(s) Matilainen Jorma & Siistonen Matti		
Assigned by Valmet Technologies Oy		
Abstract  <p>The assignment for the bachelor' thesis came from Valmet Technologies Oy Jyväskylä. The subject of the thesis was the developing the modularity of the paper machine headbox product family by exploring the possibilities for further development of the idea which had arisen in one of the old projects. The goal was to study how the idea could be applied to production headboxes, compare the cost of the idea with the current solution and to investigate whether the use of the idea would cause any constraints from a design perspective.</p> <p>Further development of the idea started by exploring the original idea and the new material that was used in this idea. To apply the idea into production boxes, an attachment mechanism had to be developed, which was suitable for the new type of mass pipes used in the idea. In the evaluation of attachment mechanism ideas, a list of requirements was used, together with a weighted point estimate table, based on which the most suitable idea was selected for further development. Following the selection of the best idea, the concept of the final solution was developed, and the cost-effectiveness comparison was made. In comparison, the cost of a new solution was critically compared to the cost of the current solution.</p> <p>As a result of the work, the concept where the modularity of the headbox product family was developed, and the cost-effectiveness calculation for a new solution were created. Also, the potentiality of the original idea was raised and a sensible alternative to the current solution was developed.</p> <p>Based on the work, the concept could be considered as a sensible proposal for further investigation and possibly in the future production headboxes. Utilizing a new solution offers opportunities that are not possible with the current solution.</p>		
Keywords ( <a href="#">subjects</a> ) Product development, Modularity, Product family, Cost-effectiveness comparison		
Miscellaneous ( <a href="#">Confidential information</a> ) Appendices 1,2, 3, 4, 5, 6, 7 and 8 are confidential and they have been removed from the public thesis. Grounds for secrecy: Publicity law 621/1999 24§, 17, Business or professional secret. The period of secrecy is five years.		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Terminologiaa .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>7</b>
2.1	Yritys .....	7
2.2	Opinnäytetyön aihe .....	8
2.3	Nykytila ja tavoitteet .....	8
<b>3</b>	<b>Tutkimusmenetelmät .....</b>	<b>9</b>
3.1	Kehittämistutkimus .....	10
3.2	Kvantitatiivinen, kvalitatiivinen ja yhdistelmä tutkimus .....	11
3.2.1	Kvalitatiivinen tutkimus.....	12
3.2.2	Kvantitatiivinen tutkimus .....	12
3.2.3	Yhdistelmä tutkimus.....	13
3.3	Aineiston keräys ja analysointi .....	13
<b>4</b>	<b>Tuoteperhe .....</b>	<b>14</b>
4.1	Tuotealusta .....	15
4.2	Modulaarinen tuoteperhe .....	16
<b>5</b>	<b>Paperikoneen perälaatikko .....</b>	<b>19</b>
5.1	Perälaatikon tehtävät .....	20
5.2	Perälaatikon valinta .....	21
5.3	OptiFlo -tuoteperhe ja erilaiset perälaatikot.....	23
5.4	Yksikerrosperälaatikot .....	24
5.5	Monikerrosperälaatikko .....	26
5.6	Perälaatikon vaikutus paperin ominaisuuksiin.....	27
5.7	Perälaatikoiden modulaarisuus ja suunnittelu .....	29
<b>6</b>	<b>Ristisilloitettu polyeteeni PEX .....</b>	<b>30</b>
6.1	Ominaisuudet .....	32

6.2	Käyttö.....	33
6.3	PEX-putki paperikoneympäristössä.....	34
<b>7</b>	<b>Opinnäytetyön toteutus ja tulokset .....</b>	<b>34</b>
7.1	Kiinnitystapa .....	35
7.2	Ideointi.....	36
7.2.1	PEX Liimattavuus .....	37
7.2.2	PEX hitsattavuus.....	37
7.2.3	Mekaaninen kiinnitys .....	37
7.2.4	Ideoiden valinta.....	38
7.3	Ideat sekä luonnokset.....	39
7.3.1	Alkuperäisen prototyypin idean kehitys .....	39
7.3.2	Holkki.....	40
7.3.3	Muokattu primääriholkki .....	40
7.3.4	Pistoliitos .....	41
7.3.5	Kahden putken jatkaminen .....	41
7.4	Ideoiden arviointi.....	42
7.5	Toteutus ja sovellus tuotantoperälaatikossa .....	43
7.5.1	Lopullinen ratkaisu .....	43
7.5.2	Modulaarisuuden kehitys.....	46
7.6	Kustannustehokkuusvertailu .....	47
<b>8</b>	<b>Pohdinta.....</b>	<b>48</b>
<b>9</b>	<b>Lähteet.....</b>	<b>51</b>
<b>10</b>	<b>Liitteet.....</b>	<b>54</b>
Liite 1.	Vaatimuslista .....	54
Liite 2.	Kiinnitystavan ideat sekä niiden luonnokset.....	55
Liite 3.	Ideoiden pistearviointitaulukko .....	59
Liite 4.	Esimerkkitapauksen perälaatikon malli. ....	60

Liite 5.	Nykyisen ja uuden ratkaisun layoutit ja niiden eroavaisuudet. ....	61
Liite 6.	Lopullisen ratkaisun massaputkien kiinnityisperiaate .....	62
Liite 7.	Taulukko komponenttien kustannustiedoista. ....	63
Liite 8.	Kustannustehokkuusvertailun tulos.....	64

## Kuviot

Kuvio 1. Kehittämistutkimuksen yleiset vaiheet (Kananen 2012, 52) .....	11
Kuvio 2. Erilaiset moduloititavat (Martio 2015, 193).....	19
Kuvio 3. Perälaatikko sijoittuu paperikonelinjastossa lyhyen kerron sekä viiraosan väliin (Lappalainen 2012, 4) .....	20
Kuvio 4. Perinteinen tasoviiratyyppe (KnowPap N.d.) .....	21
Kuvio 5. Hybridiformeri (KnowPap N.d.).....	22
Kuvio 6. Kitaformerin kuormitettavalla listayksiköllä ja OptiFlo perälaatikolla (KnowPap N.d.).....	22
Kuvio 7. OptiFlo Fourdrinier -mallin perälaatikko (Valmetin Powerpoint-esitys N.d.)	23
Kuvio 8. Fourdrinier tuoteperheen perälaatikkomallit (Valmetin PowerPoint-esitys N.d.).....	24
Kuvio 9. Turbon turbulenttisen virtauksen aiheuttava askelma ( Lappalainen 2012. 6) .....	25
Kuvio 10. Huulikanavan poikkileikkaus (Lappalainen 2012, 6) .....	26
Kuvio 11. Monikerrosperälaatikon poikkileikkaus (Laakko 2018, 16).....	27
Kuvio 12. Elektrolyyttisen kiillotuksen vaikutus pinnankarheuteen (KnowPap N.d.)..	29
Kuvio 13. Ristisilloituksen peruseriaate silaaniteknologialla (Dunasylan N.d.) .....	32
Kuvio 14. Muovimateriaalin ympäristövaikutus vertailumateriaaleihin nähden (Uponor N.d.) .....	33
Kuvio 15. Havainnollistava kuvio PEX:n taipuisuudesta verrattuna kupariputkeen (Uponor N.d.) .....	34
Kuvio 16. 1-PP kerrostavan perälaatikon idea .....	35
Kuvio 17. Erilaisia muoviputken liittimiä.....	36
Kuvio 18. Q&E-liitoksen teko (Uponor N.d.) .....	38

## 1 Terminologiaa

3D	Kolmiulotteinen, three dimensional
Aqua	Kerrostavassa perälaatikossa massakerroksien väliin lisättävä kerros, jolla muunnellaan massan ominaisuuksia
CAD	Computer aided design, Tietokoneavustettu suunnittelu
ETO	Engineer to order, Tilauksesta suunnittelu
Kuituflokki	Paperimassassa olevien kuitujen "kimppu"
Paperimassa	Massaseos, joka sisältää vettä, kuituja sekä erilaisia täyteaineita
PA12	Polyamidi PA12 (Nylon 12)
PE	Polyeteeni
PEX	Ristisilloitettu Polyeteeni
Perälaatikko	Paperikoneen osa, jolla paperimassa levitetään tasaiseksi paperikoneen levyiseksi suihkuksi
Prototyyppi	tuotekehityksen jossain vaiheessa käytetty alustava malli
Turbo	Turbulenssigeneraattorin kutsumanimi



Turbulenssigeneraattori	Perälaatikon sisällä sijaitseva virtauskanavan osa, joka luo massalle turbulenttista virtausta
Turbon sekundaariputki	Virtaussuunnassa turbulenssigeneraattorin viimeinen osa, jota pitkin massa siirtyy huulikanavaan
Turbon primääriholkki	Turbon takalevyyn kiinnitettävä putki, jota pitkin massavirta kulkee sekundaariputkelle
Viira	Kuivatusmatto, jonka päälle paperimassa suihkutetaan perälaatikolta

## 2 Johdanto

Asiakkaan yksilöllisiin tarpeisiin vastaaminen tuoteperheen modulaarisuudella sekä räätälöitävyydellä näyttelee nykypäivänä tärkeää osaa yrityksiensä välisessä kilpailussa. Tuoteperheen modulaarisuutta kehittämällä yritykset pyrkivät erilaisten variaatioiden lisäksi myös tarjoamaan järkevää mahdollisuutta päivittää aikaisemmin hankittu tuote esimerkiksi vastaamaan asiakkaan muuttuneita tarpeita. Asiakkaiden tarpeisiin vastaamisesta pyritään samalla saamaan mahdollisimman kustannustehokasta toimintaa, joten yritykset kehittävätkin jatkuvasti uusia ratkaisuja modulaarisuuden kehittämiseksi. Tässä työssä uusia ratkaisuja tarvitseva yritys on Valmet Technologies Oy, joka pyrki työllä kehittämään paperikoneen perälaatikkoperheen modulaarisuutta.

### 2.1 Yritys

Valmet Technologies Oy on kansainvälinen suuryritys, joka työllistää yhteensä noin 12 000 henkilöä ympäri maailmaa. Se on maailman johtava palveluiden, automaation sekä teknologian toimittaja paperi-, sellu- ja energiateollisuudelle. Yrityksen liiketoiminta voidaan jakaa neljään liiketoimintalinjaan: palvelut, paperi, automaatio sekä sellu ja energia. Näistä neljästä linjasta palvelulinja työllistää eniten henkilöstöä sekä sillä on myös suurin osuus liikevaihdosta. Erilaiset yhdistymiset sekä 220 vuoden historia teollisuudessa ovat tehneet Valmetista globaalisen yrityksen, joka on levittäytynyt ympäri maailmaa. Valmetin palvelut toimivatkin 33 maassa yli 120 palvelupisteellä, 86 myyntikonttorilla sekä 34 tuotantolaitoksella. Suurimman osan työntekijöistä sekä asiakkaista kattaa EMEA (Europe, the Middle East and Africa), missä työskentelee noin 7806 työntekijää. Vuonna 2017 Valmetin liikevaihto kasvoi 3,159 miljardiin euroon kun vuonna 2016 se oli 2,926 miljardia euroa. Valmet on sitoutunut parantamaan asiakkaidensa suorituskykyä ja yrityksen visio on tulla maailman parhaaksi asiakkaidensa palvelussa. (Valmetin yleisesitys 2017.)

Valmetin Jyväskylän toimipiste, johon työ tehdään, on keskittynyt Paperi- ja kartonkikoneisiin sekä selluloosan kuivauskoneisiin. Se työllistää yhteensä noin 1378 henkilöä. Jyväskylässä sijaitsee myös Valmetin teknologiakeskus sekä kaksi koekonetta,

joilla voidaan testata uusia innovaatioita ja ratkaisuja. Asiakkailta on myös mahdollisuus varata koekone omaan käyttöön ja testata sillä esimerkiksi uutta paperimassaa. (Valmetin toiminnot suomessa 2017.)

## 2.2 Opinnäytetyön aihe

Paperikoneteollisuudessa kilpailu on erittäin tiukkaa, minkä takia yritykset pyrkivät tarjoamalla asiakkailleen parempaa teknologiaa sekä mahdollisuutta räätälöidä tuotteita omien tarpeidensa mukaisiksi. Valmet on hyödyntänyt paljon modulaarisuutta tuotteissaan, minkä avulla se kykenee tarjoamaan asiakkailleen laajan rintaman erilaisia vaihtoehtoja ja onnistua silti pitämään kustannukset sopivana yritykselle. Työn kohteena oleva Valmetin perälaatikkoperhe on suunniteltu hyödyntäen modulaarista sekä skaalausperusteista tuotealusta-ajattelua, joten perälaatikko on jo lähtökohtaisesti hyvin modulaarinen tuote. Työssä pyrittiin vielä kehittämään perälaatikkoperheen välistä modulaarisuutta pidemmälle, tutkimalla jatkokehitysmahdollisuuksia olemassa olevalle idealle 1-putkipatterisesta kerrostavasta perälaatikosta.

Työstä teki tutkimisen arvoisen sen suuri potentiaali hyödyntää toimeksiantajaa sekä sen asiakkaita. Lopputuloksesta riippuen työstä voi seurata taloudellista sekä kilpailukykyistä hyötyä toimeksiantajalle. Aihe myös tarjoaa useita erilaisia näkökulmia, joiden kautta sitä pystyi lähestyä. Taloudellinen näkökulma, jossa mietittiin kuinka paljon uusi vaihtoehto ja sen kehitys kustantaa sekä kuinka paljon ja miten sillä voi säästää vanhaan ratkaisuun verrattuna. Toinen lähestymistapa oli suunnittelullinen näkökulma, jossa pohdittiin, millaisia mahdollisuuksia tai rajoitteita uusi vaihtoehto tarjoaa suunnittelun kannalta.

## 2.3 Nykytila ja tavoitteet

Lähtökohtana työssä oli tutkia kehitysmahdollisuuksia 1-putkipatterisen kerrostavan perälaatikon idealle, joka oli syntynyt toisen tutkimuksen yhteydessä. Ideaa oli aikaisemmin tutkittu osittain ja siitä oli myös valmistettu prototyyppi, jota oli testattu koekoneella. Idea oli todettu toimivaksi konseptiksi koekonemittakaavassa, mutta siitä löytyi erilaisia ongelmakohtia sekä haasteita, joihin oli löydettävä ratkaisu ennen

kuin ideaa voidaan soveltaa tuotantokoneisiin. Tässä työssä tutkittiin, kuinka nämä ongelmat saataisiin ratkaistua.

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää paperikoneen perälaatikkoperheen välistä modulaarisaatiota tutkimalla jatkokehitysmahdollisuuksia aikaisemmassa kappaleessa mainitulle idealle. Tämän tutkimuksen pääkysymykset, joihin haetaan vastausta ovat:

- Kuinka idea tuotteistetaan sekä sovelletaan käytäntöön tuotantoperälaatikoissa.
- Onko uusi vaihtoehto kustannustehokkaampi ratkaisu verrattuna perinteiseen kerrostavaan perälaatikkoon.
- Aiheuttaako uusi idea sen käyttö joitain rajoitteita suunnittelulle. (esim. layout-rajoitteet)

Opinnäytetyön lopputuloksesta selviää, onko ideaa mahdollista/ järkevää soveltaa käytäntöön tuotantoperälaatikoissa vai unohdetaanko idea kokonaan. Tavoitteellisessa lopputuloksessa pystyy Valmet tarjoamaan tulevaisuudessa asiakkailleen tuotteen, joka on entistä kilpailukykyisempi sekä kustannustehokkaampi ratkaisu perinteiseen malliin verrattuna.

### 3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelmät ovat tutkimuksen tekemiseen tarvittavia työkaluja, joiden avulla mm. hankitaan tietoa tutkimuksen kohteesta (Hirsjärvi, ym. 2013, 164). Opinnäytetyö jakautui kahteen pääosaan: Teoria- ja tutkimusosaan. Teoriaosuudessa käsitellään teoriaa sekä menetelmiä, joita tutkimuksen tekemiseen tarvitaan. Teoriaosuuden aineisto kerättiin mm. kirjoista, ulkomaalaisista internet-lähteistä sekä asiantuntijoiden haastattelusta. Tutkimusosassa taas esitellään tehty tutkimus sekä sen tulokset.

Opinnäytetyö suoritettiin kehittämistutkimuksena, jossa hyödynnettiin kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen tutkimusmenetelmien perusteita. Tutkimuksessa tutkittiin, voidaanko valmiista ideasta kehittää sellainen, että sitä voidaan soveltaa käytäntöön tuotantoko-

neissa. Tutkimuksessa ei ainoastaan pyritty tutkimaan ideaa vaan myös tuottamaan kehitysehdotuksia sekä arvioimaan tutkimuksen lopputuloksia ja tätä kautta vaikuttamaan muutokseen.

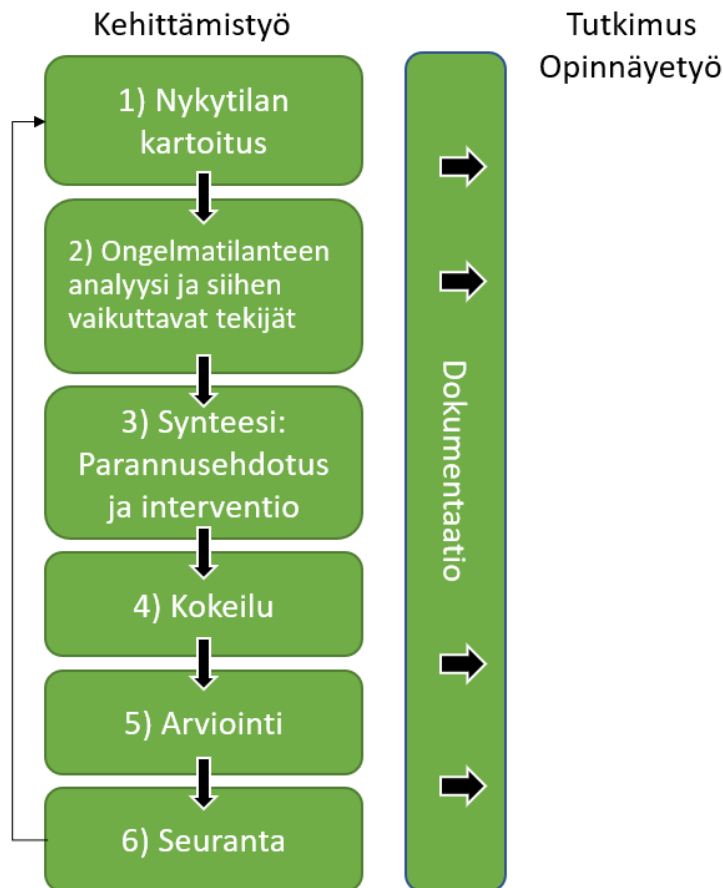
### 3.1 Kehittämistutkimus

Kehittämistutkimus on yhdistelmä erilaisia tutkimusmenetelmiä, kuten kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia menetelmiä. Kehittämistutkimuksessa pyritään kehittämään organisaation toimintaa parempaan suuntaan ja sen perustana on aina tarve muutokseen. Kehittämistutkimuksen kohteena voivat olla esim. laitteet, prosessit, tuotteet tai palvelut. Näitä kohteita kehitetään yrityksissä jatkuvasti, mutta se on yleensä kehittämistyötä, josta kehittämistutkimuksen erottaa sen tieteellisyys. Tieteellisessä tutkimuksessa uuden tiedon tuottaminen, työn dokumentointi sekä menetelmien tieteellisyys ovat tärkeitä kriteerejä, joita kehittämistyössä ei välttämättä ole. Kehittämistutkimuksessa on vastoin yleisiä tieteellisiä tutkimuksia tärkeää asettaa muutostavoitteelliseen muotoon, sillä ilman tavoitteita on tutkimuksen tulosten todentaminen melko haastavaa. (Kananen 2012, 19-23.)

Yleisesti tutkimuksen toteennäyttäminen ja sen luotettavuus ovat tärkeitä tekijöitä tutkimuksessa ja niitä pyritään arvioimaan mahdollisimman hyvin. Kehittämistutkimuksen luotettavuutta on tällä hetkellä vielä vaikeaa arvioida, sillä sille ei ole olemassa omaa metodologiaansa. Tästä syystä kehittämistutkimuksen luotettavuutta tutkitaan käytettävien menetelmien luotettavuuskriteereiden perusteella. Kehittämistutkimuksessa käytetään laadullisia ja määrällisiä menetelmiä, joten siitä syystä käytettävät kriteerit ovat validiteetti ja reliabiliteetti. (Kananen 2012, 24.) Reliabeliudella tarkoitetaan tulosten toistettavuutta ja sitä, että tulokset eivät sattumanvaraisia. Validiudella taas haetaan menetelmän kykyä mitata haluttua asiaa, eli vastaavatko tulokset sitä mitä haluttiin tietää. (Hirsjärvi 2009, 231.)

Kehittämistutkimuksessa kuten kaikissa muissakin tutkimuksissa on tietty malli, jota työssä seurataan. Mallin perusteelta valikoituvat työvaiheet, joita tutkimuksessa on tarkoitus tehdä. Koulukunnasta riippuen mallien sisältö vaihtelee, mutta yleisajatus

on kaikissa sama ja se näkyy kuviossa 1. Perinteisen mallin mukaan kehittämistutkimuksen työvaiheet ovat kiteytettyinä: ongelman määrittely, ongelman tutkiminen, ratkaisu ja esitys sekä viimeisenä testaus ja johtopäätökset. (Kananen 2012, 52-53.)



Kuvio 1. Kehittämissyön yleiset vaiheet (Kananen 2012, 52)

### 3.2 Kvantitatiivinen, kvalitatiivinen ja yhdistelmä tutkimus

Tutkimusmenetelmät sisältävät usein laadullista eli kvalitatiivista tai määrällistä eli kvantitatiivista tutkimusta. Osa menetelmistä saattaa sisältää myös elementtejä molemmista menetelmistä, jolloin kyseessä on yhdistelmä tutkimus. Tutkimuksen lähestymistavan määrittää yleensä tutkimusongelmat, joihin vastausta haetaan sekä tutkimuksen luonne mutta tutkija itse määrittää tutkimuksen alussa millaista lähestymistapaa aikoo tutkimuksessaan hyödyntää. (Kananen 2012, 25-28.)

### 3.2.1 Kvalitatiivinen tutkimus

Laadullinen eli kvalitatiivinen tutkimusote perustuu ilmiöön sekä sen rakenteen ymmärrykseen. Laadullinen tutkimus tulee yleensä kyseeseen silloin, jos tutkimuksen kohteesta on ennalta vain vähän tietoutta ja teoriaa sekä tutkimuksessa pyritään ymmärtämään ilmiötä syvällisemmin. Laadullisessa tutkimuksessa tavoitteena on saada ilmiöstä syvällistä tietoa ilman aikaisempaa teoriaa tai tilastollisia menetelmiä ja sillä haetaan vastausta kysymyksiin, miten ja miksi. Tämä tutkimusmenetelmä on yleensä joustavampi kuin määrällinen, sillä tutkimuksen eteneminen ei ole yleensä lineaarista. Tutkijan on mahdollista täten halutessaan palata aikaisempiin vaiheisiin, jos kokee sen tarpeelliseksi. Laadullisen tutkimuksen lopputulos riippuu tutkijasta ja tutkijan tekemistä tulkinnoista. Tästä syystä tutkimuksesta ei useinkaan saada vain yhtä samaa tulosta, kuten määrällisestä tutkimuksesta olisi mahdollista saada. Kvalitatiivinen tutkimus on yleensä esitutkimus kvantitatiiviselle tutkimukselle mutta on myös mahdollista, että sillä haetaan syvyyttä määrällisellä tutkimuksella saatuihin tuloksiin. (Kananen 2012, 29-30.)

### 3.2.2 Kvantitatiivinen tutkimus

Määrällinen eli kvantitatiivinen tutkimus perustuu täysin aikaisempaan teoriaan, tietouteen ja malleihin tutkimuskohteesta sekä tutkittavasta ilmiöstä. Määrällisellä tutkimuksella haetaan usein vastausta kysymyksiin paljonko ja kuinka usein. Tutkimuksella pyritään nimensä mukaan saamaan tulokseksi lukuarvoja, joiden avulla tutkija tekee johtopäätöksiä sekä osoittaa tutkimuksensa tuloksen. Tutkimus saattaa sisältää yhden tai useamman muuttujan, jotka vaikuttavat ilmiöön. Muuttujat tulee olla selvillä, sillä lukuarvojen saamiseksi on tiedettävä mitä tutkimuksessa lasketaan. Määrällisessä tutkimuksessa tutkimuskysymykset, joihin vastausta haetaan ovat valmiiksi tiedossa ja ne ovat yleisesti haettu ilmiön teorian tiedosta. Määrällinen tutkimus voi olla laadullisen tutkimuksen jatkoa, missä laadullisella tutkimuksella on kerätty teoriaa sekä ymmärrystä ilmiöstä määrällisen tutkimuksen perustaksi. (Kananen 2012, 31-34.)

### 3.2.3 Yhdistelmä tutkimus

Tutkimusotteiden tiukka rajaus käytännössä ei ole välttämätöntä ja se voi olla joissakin tapauksissa jopa haitallista tutkimuksen kannalta. Vaikka tutkija määrittääkin ilmiön lähestymistavan tutkimuksen alussa voidaan tutkimukseen sisällyttää elementtejä myös toisista menetelmistä. Tällainen menettely voi tulla kyseeseen, jos tutkimusilmiö on niin monipuolinen ja laaja, että vain määrällisen tai laadullisen menetelmän käyttäminen ei tuota riittävää tulosta. On myös mahdollista, että lähestymistapa muuttuu kokonaan tutkimuksen edetessä. (Kananen 2012. 31-34.)

Tässä työssä tutkimusmenetelmänä käytettiin yhdistelmä tutkimusta, jossa hyödynnettiin yhtä aikaa kvalitatiivista ja kvantitatiivista tutkimusmenetelmää. Yhdistelmä tutkimuksella pyrittiin saamaan kokonaisvaltaisempia sekä kattavimpia tuloksia, kuin näillä tutkimusmenetelmillä olisi erikseen ollut mahdollista saada. Tutkimuksessa oli tarkoitus kerätä aluksi tietoa kvalitatiivisilla menetelmillä, jonka jälkeen tietoa täydennettiin kvantitatiivisilla menetelmillä. kvantitatiivisilla tutkimusmenetelmillä tutkittiin mm. uuden idean kustannustehokkuutta perinteiseen vaihtoehtoon verrattuna. Kvalitatiivisella menetelmällä taas hankittiin erilaista tietoa esim. prototyypin käyttökokemuksesta.

## 3.3 Aineiston keräys ja analysointi

Opinnäytetyön toteuttamiseksi kerättiin aineistoa, joka pohjalta tutkimus pystyttiin toteutettaman. Aineisto koostui erilaisista tutkimusmenetelmistä, paperikoneen ja perälaatikon toiminnasta, modulaarisesta tuoteperheestä, ristosilloitetusta polyeteenistä sekä hankitun aineiston analysointimenetelmistä. Työn tietoperustan kokoamiseen käytettiin muun muassa:

- Aikaisempia tutkimuksia
- Valmetin sisäistä opetusmateriaalia sekä tietokantaa
- Tutkimusaiheeseen liittyvää kirjallisuutta
- Haastatteluja Valmetin henkilöstöltä sekä muilta tutkimukseen liittyviltä asiantuntijoilta, kuten materiaalitoimittajilta
- Ulkomaalaisia internet-lähteitä



Aikaisemmista tutkimuksista Valmet on aiheeseen liittyen mm. teettänyt diplomityön polymeerimateriaalien käytöstä perälaatikossa. Tätä tutkimusta ja siitä saatuja tuloksia voitiin myös hyödyntää tässä tutkimuksessa esim. uutta materiaalia tutkittaessa.

Aineiston analysointi on yksi tutkimuksen tärkeimmistä vaiheista ja lähtökohtaisesti tutkija päättää, millä tavalla aikoo aineistoa analysoida. Hankitun aineiston käsitteilyyn ja analysointiin on olemassa useita erilaisia menetelmiä. Pääperiaate kuitenkin on, että tutkija valitsee sellaisen analysointimenetelmän, joka tuo parhaiten vastauksen tutkittavaan ongelmaan. (Hirsjärvi 2013, 224.)

Yleisesti menetelmät voidaan jakaa aineisto- ja teorialähtöisiksi sisältöanalyysiksi. Aineistolähtöisessä sisältöanalyysimenetelmässä tutkimusaineistoa ryhmitellään tietyn toiminnan logiikan mukaan. Ryhmittelyn lähtökohtana toimii tutkimuskysymykset sekä ongelmat, joihin ratkaisua haetaan. Teoriapohjaisella analysointimenetelmällä taas pyritään täydentämään sekä uudistamaan tutkittavan asian teoreettista käsitystä tutkimuksien antamien tulosten perusteella. (Vilkkä 2015, 163-171.)

Tässä tutkimuksessa käytettiin lähtökohtaisesti teorialähtöistä sisältöanalyysimenetelmää, jossa tutkimuksen tuloksia yritettiin valikoida esimerkiksi prototyyppien sekä niille suoritettujen testien pohjalta kerätyllä tiedolla.

## 4 Tuoteperhe

Nykypäivän tiukasti kilpailuilla globaaleilla markkinoilla yritykset pyrkivät tarjoamaan yhä enemmän mahdollisuuksia räätälöidä tuotteitaan vastaamaan asiakkaiden yksilöllisiä tarpeita. Useat yritykset hyödyntävätkin tuoteperheitä sekä tuotealusta-ajattelua lisätäkseen tuotteiden moninaisuutta, lyhentääkseen toimitusaikoja sekä vähentääkseen valmistuskustannuksia. Simpsonin (2003, 4) mukaan yleisesti ottaen tuoteperhe on joukko yhteenkuuluvia tuotteita ja variaatioita, jotka ovat johdettu tuotealustasta täydentämään erilaiset markkinaraot. Robertsonin ja Ulrichin (1998, 20) mukaan jakamalla komponentteja ja tuotantoprosesseja eri tuotteille yritykset

voivat tehokkaasti kehittää useita tuotteita, lisätä joustavuutta ja reagointikykyä tuotantoprosesseissa sekä vallata markkinaosuudet sellaisilta kilpailijoilta, jotka kehittävät vain yhtä tuotetta kerrallaan. (Simpson et.al. 2004, 3-4.)

Tuoteperhettä kehittäessä on hyvin tärkeää tunnistaa asiakkaiden tarpeet. Pinen (1993, 6) mukaan asiakkaita ei voida enää pitää suurena homogeenisenä markkinaosuutena vaan yksilöinä, joilla on yksilölliset tarpeet sekä vaatimukset. Asiakkaat eivät yleisesti ole niinkään kiinnostuneita, kuinka monta variaatiota tuotteesta on saatavilla vaan siitä, kuinka hyvin jokin tietty variaatio soveltuu heidän tarpeisiinsa. Tuoteperheen oikea koko onkin tärkeä pointti, jota on mietittävä tarkasti tuoteperheen kehitysvaiheessa. Liian suuri variaatioiden määrä voi aiheuttaa huomattavia kustannuksia yritykselle sekä ”hukuttaa” asiakkaat liian suureen valikoimaan. Liian pienellä valikoimalla taas ei pystytä vastaamaan tarpeeksi monen asiakkaan tarpeisiin. (Simpson et.al. 2004, 3-4.)

Tuoteperheen suunnittelu perustuu yleensä kahteen perinteiseen lähestymismenetelmään, jotka ovat top-down eli proaktiivinen menetelmä sekä bottom-up eli reaktiivinen menetelmä. Top-down- menetelmässä yritys strategisesti hallitsee ja kehittää tuotteita, jotka perustuvat tuotealustaan sekä sen johdannaisiin. Bottom-up- menetelmässä yritys uudelleen suunnittelee tai vakioi joukon tuotteita standardisoitavaksi tuoteperheeksi. (Simpson et.al. 2004, 3-4.)

#### 4.1 Tuotealusta

Tuoteperhe pohjautuu yleensä jonkinlaiseen tuotealustaan, jonka johdannaistuotteista ja variaatioista tuoteperhe rakentuu. Tuotealustalla on useita erilaisia määritelmiä, joiden laajuus vaihtelee paljon. Huang et.al. (2005, 3) mukaan muutamia laajalti hyväksytyjä määritelmiä ovat mm.

- Meyerin sekä lenhnerdin (1997) määritelmän mukaan se on ryhmä yhteisiä komponentteja, moduuleja tai osia, joista voidaan helposti kehittää erilaisten johdannaistuotteiden virta.

- McGanthin (1995) määritelmän mukaan se on kokoelma yhteisiä elementtejä ja varsinkin taustalla olevaa teknologiaa, jota hyödynnetään useassa tuotteessa samanaikaisesti.
- Simpsonin et.al (2004) määritelmän mukaan se on joukko parametrejä, toimintoja tai komponentteja, jotka pysyvät samoina kaikissa tuoteperheen tuotteissa.

Viimeinen määritelmä Simpson et.al ottaa huomioon, että tuotealusta voi olla joko skaalausperusteinen tai moduuliperusteinen. Skaalausperusteisessa tuotealustassa tuotealusta on parametrisoitu, jolloin tuotteen kokoa voi helposti muuttaa eri asiakkaiden tarpeisiin sopivaksi. Tämä työ perustuu moduuliperusteisen tuoteperheen kehitykseen, joten sitä käydään työssä myöhemmin läpi tarkemmin.

Tuotealustaan pohjautuvan tuotekehitysmenetelmän käyttö tarjoaa yritykselle useita etuja, kuten järjestelmän kehitysajan sekä monimutkaisuuden vähenemisen, tuotanto- ja kehityskustannusten alenemisen sekä tuotteiden päivityskyvyn paranemisen. Menetelmän hyödyntäminen myös parantaa tuotteiden välistä ymmärrystä sekä vähentää testauksen sekä sertifiointin tarvetta monimutkaisilla tuotteilla. (Feitzinger & Lee 1997.)

Tuotealusta-ajattelussa tuotetta tarkastellaan laajemmassa mittakaavassa. Tuotealusta-ajattelun perusajatus on, että tuotealustaa ei ole pelkästään rakennettu rakenteellisten ominaisuuksien pohjalle vaan tuotealustan kehityksessä on otettu huomioon myös tuotteen toimitusketjun prosessit. Tämän ajatusmallin perusteella rakenteellisen tuotealustan lisäksi on olemassa myös brändi-, prosessi-, asiakas-, sekä globaalituotealusta, joiden pohjalle tuoteperhe voi rakentua. (Sawhney 1998, 57-58.)

## 4.2 Modulaarinen tuoteperhe

Modulaarinen tuoteperhe koostuu tuotealustasta, johon lisätään tai vaihdellaan moduuleita tuoteperheen eri tuotteiden aikaansaamiseksi. Tuoteperheen rakenteesta voidaan puhua modulaarisena, jos tuotteessa on moduuli, joka voidaan korvata toi-

sella moduulilla. Hyvä esimerkki modulaarisesta tuotteesta on tietokone, jonka toimintoja sekä ominaisuuksia on helppo muunnella osia vaihtelemalla. (Simpson et.al. 2004, 3-4.)

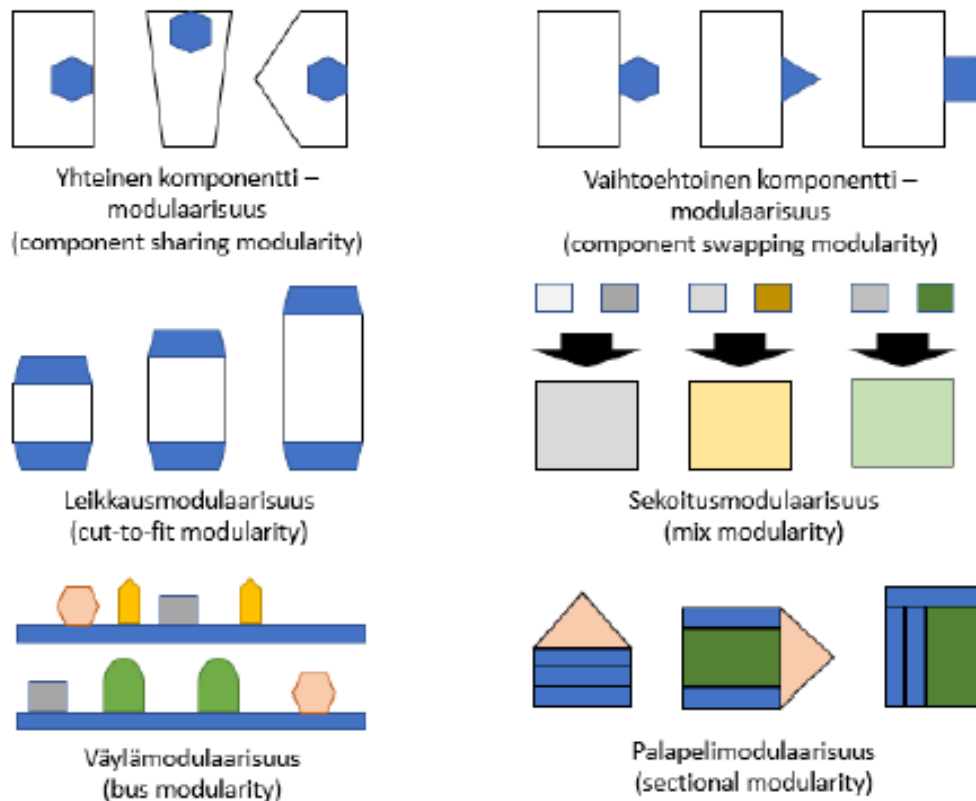
Moduulilla tarkoitetaan Baldwinin ja Clarkin (2000) määritelmän mukaan suuremman kokonaisuuden itsenäistä yksikköä, jonka rakenteelliset elementit ovat tiukasti sidoksissa toisiinsa mutta suhteellisen heikosti kiinni muissa yksiköissä tai moduuleissa. Ericssonin ja Erixonin (1999) mukaan tuotteen fyysisen ja toiminnallisen rakenteen samanlaisuuden lisäksi moduuleilla tulisi olla mahdollisimman pieni vaikutus toisiin moduuleihin. Moduuleilla on suhteellisen löysä yhteys muuhun kokonaisuuteen, minkä takia mm. niiden kehitys sekä valmistus on mahdollista tehdä erikseen, kunhan moduulien rajapinnat ovat määritelty huolellisesti. (Höttölä-Otto. 2005, 26-27.) Moduulia ei pidä kuitenkaan sekoittaa alikokoonpanoihin, jotka johtuvat siitä, että tuotetta ei saada koottua kerralla. Moduulit ovat tarkasti harkittuja kokonaisuuksia, jotka tukevat yrityksen strategiaa ja ne yleensä muodostavat alikokoonpanot. (Ericsson & erixon 1995, 5.)

Moduuliperusteinen tuotteen suunnittelu tarjoaa toimitusketjuun joustavuutta, jota se tarvitsee tuotteen räätälöintiin nopeasti ja vähäisillä kustannuksilla. Tämän tyylinen suunnittelu erottaa lopputuotteen osat ja alikokoonpanot niihin, jotka ovat samoja kaikissa lopputuotteissa sekä niihin, jotka eivät ole. Modulaarisen tuoteperheen suunnittelu tarjoaa kolme pääetua, jotka ovat: (Feitzinger & Lee 1997.)

- Yritys pystyy maksimoimaan vakio-osien lukumäärän, joita se käyttää kaikissa tuoteperheen variaatioissa ja täten myös asentamaan nämä aikaisemmassa vaiheessa kokoonpanoa. Vakio-osien käyttö vähentää suunnittelu- ja valmistuskustannuksia, sillä nämä osat pysyvät yleensä lähestulkoon muuttumattomina.
- Mahdollisuus valmistaa samanaikaisesti lopputuotteen eri moduuleita erillään toisistaan, mikä vähentää huomattavasti koko tuotteen valmistusaikaa.
- Kyky helposti havaita ongelmakohtia ja pullonkauloja tuotannossa sekä eristää näin mahdolliset laatuongelmat.

Modulaarisen tuotteen rakentamiseen on olemassa useita eri tapoja ja niiden mallit ovat esitetty kuviossa 2. Yhteinen komponenttimodulaarisuus on sitä, että eri tuotteissa käytetään yhtä samaa vakio-osaa. Vakio-osa voi olla esim. virtalähde, joka pysyy mallista huolimatta samana. Vaihtoehtoinen komponenttimodulaarisuus taas on täysin vastakohtainen malli yhteiselle komponenttimodulaarisuudelle. Siinä periaatteenä on käyttää vakiotuotetta, jonka ominaisuuksia muunnellaan vaihtelemalla moduuleja sen ympärillä. Hyvä esimerkki tästä on monitoimikone, jonka perusrunko on sama mutta moduuleja vaihtamalla sen toiminnot muuttuvat. Leikkausmodulaarisuus on yleisin teollisuudessa esiintyvä modulaarisuustapa, missä tuotteen mitat muuttuvat mutta tuote ja moduulien liittymäpinnat pysyvät muuten samana. (Martio 2015, 192-196.)

Sekoitusmodulaarisuudella tarkoitetaan sitä, että erilaisia moduuleja ja komponentteja yhdistelemällä saadaan tuotteelle tiettyjä ominaisuuksia. Tämä menetelmä on harvinaisempi muihin menetelmiin verrattuna. Väylämodulaarisuudessa taas tuotteen runkoa muunnellaan asiakkaan tarpeita vastaavaksi lisäämällä runkoon tiettyjä vakio-osia ja komponentteja. Viimeisenä modulointitapana on esitetty palapelimodulaarisuus, jossa tuote syntyy vakio-osista, joita on yhdistelty keskenään. Tätä modulointitapaa käytetään paljon mm. leluteollisuudessa. (Martio 2015, 192-196.)



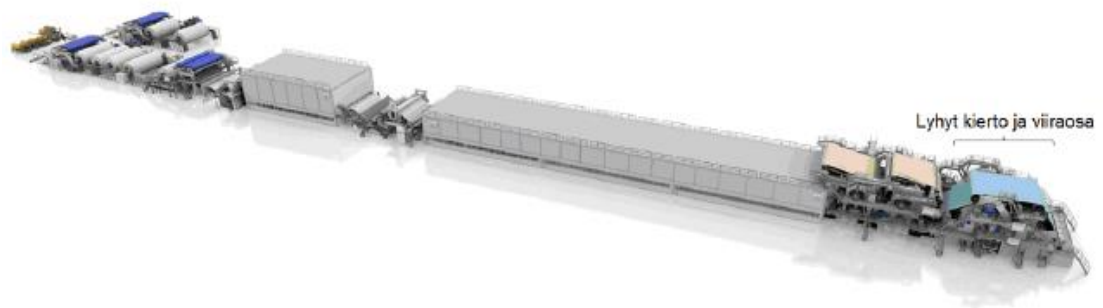
Kuvio 2. Erilaiset modulointitavat (Martio 2015, 193)

Moduuliperusteisista tuoteperheistä on olemassa paljon hyviä esimerkkejä, kuten Toyota, joka lähti kilpailijansa VW-konsernin perässä hyödyntämään modulaarista tuoteperheajattelua autonvalmistuksessa. Toyotan vuoden 2015 neljännen sukupolven prius oli ensimmäinen malli, joka perustui heidän modulaariseen pohjarakenteeseensa. Toyotan tavoitteena on vuoteen 2020 mennessä rakentaa puolet mallistosta samalla tekniikalla. Muuttamalla modulaariseen pohjarakenteeseen Toyota pyrkii varajohtajansa Mitsuhi Katon mukaan n. 20 prosentin säästöihin tuotannossa. (Teknari 2015.)

## 5 Paperikoneen perälaatikko

Paperikoneen perälaatikko sijaitsee paperikoneen märässä päässä, missä erilaiset raaka-aineet sekoitetaan vesiperäiseksi massaseokseksi. Kuviossa 3 on esitetty märän

päädyn sijainti koko paperikonelinjastossa. Märässä päädyssä massaseoksesta muodostetaan paperirainaa erilaisten osaprosessien avulla, joihin kuuluvat lyhyt kierto, perälaatikko sekä viiraosa. Lyhyen kierron pääasiallisena tehtävänä on syöttää perälaatikolle sopivaan sakeuteen laimennettua massaseosta. Viiraosalla taas poistetaan perälaatikosta suihkutettavasta massasuspensiosta vettä, jotta rainaan saadaan riittävä kuiva-ainepitoisuus sen siirtämiseksi puristinosalle. Perälaatikko sijoittuu märässä päässä näiden osien väliin ja sen tehtävät käsitellään seuraavassa kappaleessa. (KnowPap N.d.)



Kuvio 3. Perälaatikko sijoittuu paperikonelinjastossa lyhyen kerron sekä viiraosan väliin (Lappalainen 2012, 4)

## 5.1 Perälaatikon tehtävät

Perälaatikon tehtävänä on levittää putkissa virtaava massaseos hallitusti viiralle koneenlevyiseksi, ohueksi ja tasaiseksi suihkuksi. Perälaatikon tehtävänä on myös kiihdyttää suihkun nopeus lähelle koneen ajonopeutta. Suihkun paksuusprofiilin sekä nopeuden täytyy olla mahdollisimman tasaista sekä yhdensuuntaista koko suihkun leveydellä, sillä epätasaisuudet näissä arvoissa vaikuttavat negatiivisesti valmiin paperin laatuun vaikuttaviin ominaisuuksiin. Perälaatikko voidaankin laskea yhdeksi valmistusprosessin tärkeimmistä avaintekijöistä, jotka vaikuttavat valmiin paperin laatuun. (Holik 2006, 259.) Perälaatikon tärkeimmät tehtävät ovat: (KnowPap N.d.)

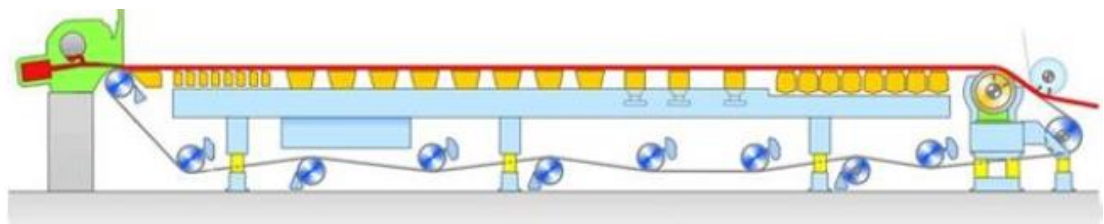
- Massasuspension levittäminen tasaisesti koneen poikittaissuunnassa
- Syöttövirtauksen painevaihteluiden sekä pulseerauksen stabilointi

- Poikkisuuntaisten virtaushäiriöiden stabilointi
- Mahdollisimman tasaisen turbulenssin luominen kuituflokkien sekä massasuspension harjoittamiseksi
- Sakeus-, neliömassa- ja poikkiprofiilien säätäminen halutuksi paperiradalla
- Kompensoida reunasyötöillä mahdollinen reunaefekti
- Massasuspension halutun nopeuden ja suunnan tuottaminen

## 5.2 Perälaatikon valinta

Painopaperin laatuvaatimukset kasvavat koko ajan nopeampien ja leveämpien koneiden myötä. Myös tietyt ominaisuudet ovat toisiaan tärkeämpiä tietyillä paperiladuilla. Näihin vaatimuksiin pyritään vastaamaan yleisimmin erilaisilla perälaatikko- ja formeriratkaisuilla. Paperikoneessa tyypillisesti viiratyyppejä määrittää, millainen perälaatikko koneeseen tulee. Erilaiset viiratyypit ovat tasoviira, kitaformereri sekä hybridiformeri. (KnowPap N.d.)

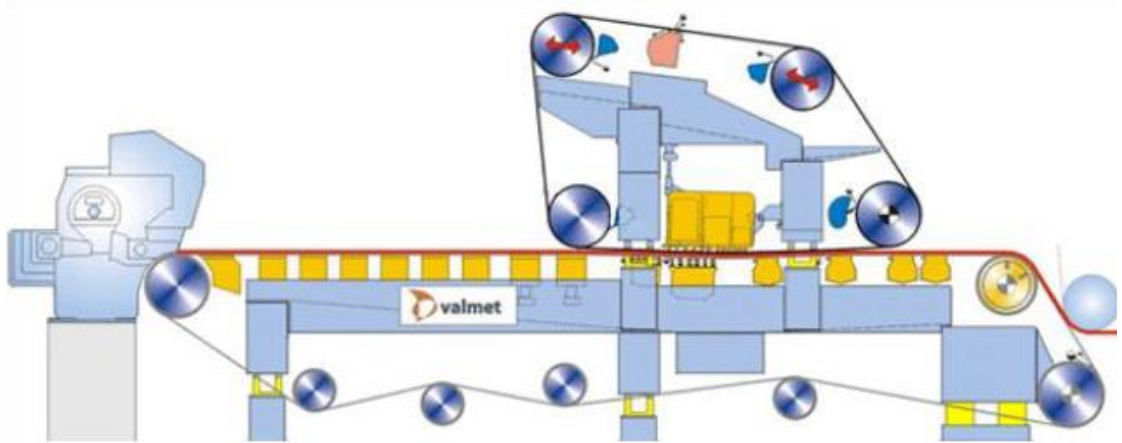
**Tasoviira** on perinteisin viiraosatyyppejä ja siinä vedenpoisto tapahtuu alaspäin. Tasoviiraa käytetään edelleen paljon ja sillä on tietyt ominaisuudet, jotka pitävät tasoviiraa yhä suosittuna viiratyyppeinä. Kuviossa 4 on esitetty perinteinen tasoviiratyyppejä.



Kuvio 4. Perinteinen tasoviiratyyppejä (KnowPap N.d.)

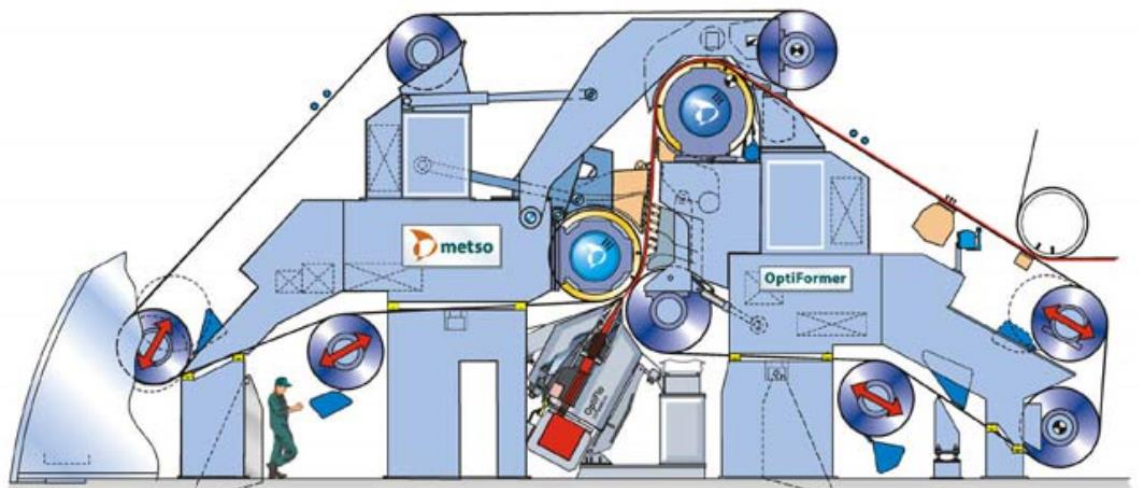
**Hybridiformeri**, joka on esitetty kuviossa 5 on nimensä mukaisesti yhdistelmä tasoviirasta ja kaksoisviirarainaimesta eli kitaformereristä. Siinä vedenpoisto tapahtuu aluksi alaspäin tasoviiraosalla ja tämän jälkeen kitaformererillä molempiin suuntiin.





Kuvio 5. Hybridiformeri (KnowPap N.d.)

**Kitaformer**, jossa vettä poistetaan rainasta samanaikaisesti molempiin suuntiin kahden viiraosan avulla. Kitaformerissa vedenpoisto perustuu yleensä tela- ja listaelementteihin ja se tapahtuu huomattavasti lyhyemmällä matkalla verrattuna tasoviiaraan tai hybridiformereihin. Lyhyen vedenpoistomatkan takia kitaformer toimii hyvin stabiilisti myös suurilla nopeuksilla. Kuviossa 6 on esitetty esimerkki kitaformerista, jossa perälaatikko sijaitsee kuvion alareunan keskivaiheella. (KnowPap N.d.)



Kuvio 6. Kitaformer kuormitettavalla listayksiköllä ja OptiFlo perälaatikolla (KnowPap N.d.)

tasoviirassa ja hybridiformerissa käytetään saman tuoteperheen perälaatikoita ja tämä työ on rajattu koskemaan ainoastaan näitä perälaatikkotyyppejä. Seuraavassa kappaleessa esitellään perälaatikkotyypit, joita tämä tutkimus koskee.

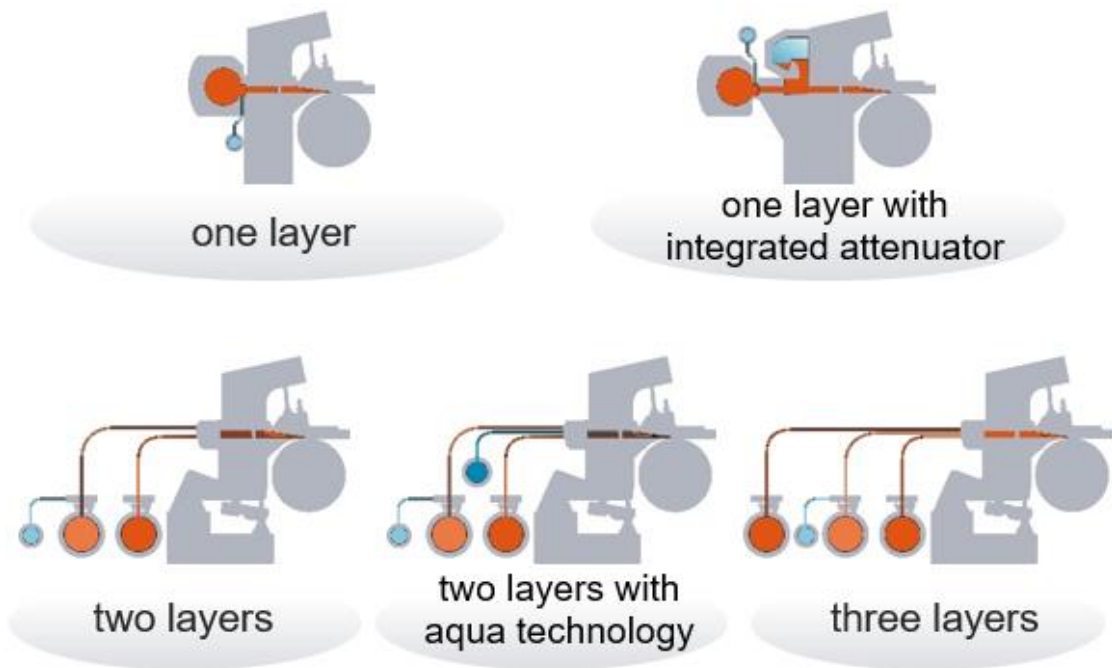
### 5.3 OptiFlo -tuoteperhe ja erilaiset perälaatikot

Valmetin perälaatikkoperhe eli Optiflo- tuoteperhe koostuu kahdesta pääryhmästä, jotka ovat: OptiFlo Gap eli kitaformeriperälaatikot sekä OptiFlo fourdrinier eli tasoviiraperälaatikot. Tässä työssä tutkimus on rajattu koskemaan ainoastaan tasoviiraperälaatikoita eli OptiFlo- fourdrinier perälaatikkoperhettä. Kuviossa 7 on esitetty malli OptiFlo Fourdrinier- mallin perälaatikosta.



Kuvio 7. OptiFlo Fourdrinier -mallin perälaatikko (Valmetin Powerpoint-esitys N.d.)

Optiflo Fourdrinier- tuoteperheeseen kuuluvat perälaatikkomallit ovat: Ilman sisäistä vaimennusta oleva perälaatikko, sisäisellä vaimennuksella varustettu perälaatikko, monikerrosperälaatikot sekä yksi- ja monikerrosperälaatikot aqualla. Kuviossa 8 on esitetty Optiflo -tuoteperheen erilaiset perälaatikot sekä niiden poikkileikkaukset.

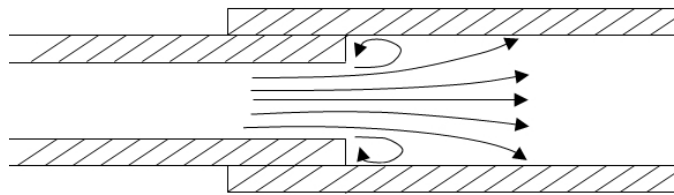


Kuvio 8. Fourdriner tuoteperheen perälaatikkomallit (Valmetin PowerPoint-esitys N.d.)

#### 5.4 Yksikerrosperälaatikot

Paperimassa syötetään perälaatikkoon putkistosta jakotukin kautta. Jakotukki on suppeneva suorakaiteen tai pisanan muotoinen putki, jossa massa virtaa tasaisesti koko koneen leveydelle. Jakotukkiin syötetään massaa suuremmasta päästä koneen käyttöpuolelta. Jakotukki ja sen suppeneva muoto ovat suunniteltu todella tarkasti, sillä paineen ja virtauksen on oltava tarkasti yhtä suurta koko jakotukin leveydellä. Paineen ja virtauksen tulee olla yhtä suurta, jotta virtausnopeus jakotukkia seuraavassa turbulenssigeneraattorissa on sama jokaisella turbon holkillä. Saman paineen ja virtauksen saavuttamiseksi jakotukin suppeammassa päädyssä on myös ohikierto, mistä nimensä mukaisesti pieni määrä massaa virtaa ohi jakotukista. Ohikiertoa säättämällä painetta voidaan joko kasvattaa tai pienentää ja sitä säädetään ohikiertoventtiilillä. Sisääntuloputkiston ja jakotukin puhdistamisen helpottamiseksi jakotukki yleensä saranoidaan ja se voidaan täten tarvittaessa avata. (KnowPap N.d.)

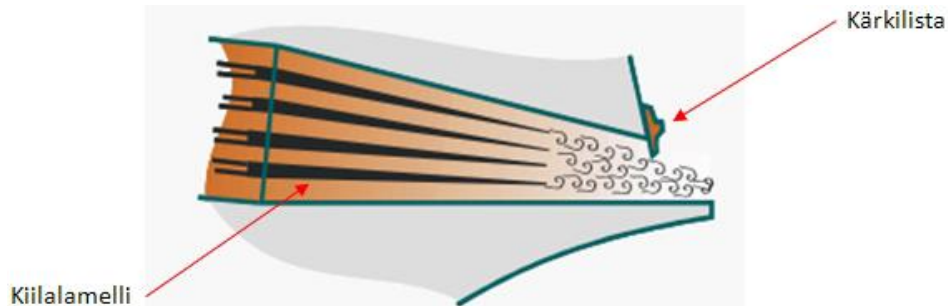
Perälaatikossa jakotukin jälkeen massa virtaa turbulenssigenaattorille, missä massaan luodaan tarvittavaa turbulenttista virtausta kuitujen erillään pitämiseksi ja kuituflokkien harjoittamiseksi. Kuituflokit ovat kuiduista muodostuneita ”kimppuja” jotka heikentävät valmiin paperin ominaisuuksia. Turbulenssigenaattorissa on yleensä useassa rivissä suppenevia putkia, joiden poikkileikkaus on aluksi pyöreä ja muuttuu suorakaiteen muotoiseksi turbulenssigenaattorin jättöpäätä lähestyttäessä. Suorakaiteen muotoisella poikkileikkauksella saadaan mahdollisimman pienet putkien väliset katvealueet turbon jättöpäähän, jolloin virtausnopeus saadaan lähelle samaa huulikanavaan siirryttäessä. Turbosta riippuen putkirivistöjä voi olla yleensä 2-6, mutta joissakin erikoistapauksissa putkia voi olla jopa kymmenessä rivissä. (Know-Pap N.d.) Turbossa on tietyllä etäisyydellä jättöpäätä pieni ”askelma”, jossa putken poikkipinta-ala kasvaa yhtäkkisesti. Tällä askelmalla turbossa luodaan kuituflokit rikkova turbulenttinen virtaus. Askelma on esitetty kuviossa 9. (Lappalainen 2012, 6.)



Kuvio 9. Turbon turbulenttisen virtauksen aiheuttava askelma (Lappalainen 2012, 6)

Turbulenssigenaattorin jälkeen massavirta siirtyy kiilamaiseen huulikanavaan, jonka päätehtävänä on kiihdyttää massan virtausnopeus lähelle koneen ajonopeutta. Huulikanavassa myös turbon aiheuttama turbulenttinen virtausta vaimennetaan, sillä liian suuri turbulenssi aiheuttaa ongelmia viiralle siirryttäessä. Kuviossa 10 voidaan havaita huulikanavassa turbon jättöpään putkirivistöjen väliin asennettavat lamellit, jotka pitävät huulikanavassa turbulenssin halutun suuruisena ja niillä myös vaikutetaan valmiin paperin formaatioon ja vetolujuussuhteeseen. Perälaatikolta lähtevän massarainan paksuuteen voidaan vaikuttaa huulikanavan korkeutta säätämällä. Korkeutta säädetään ylähuulen pystykoordinaattia muuttamalla. Ylähuulen päädyssä si-

jaitsee kärkilista, jolla vaikutetaan massarainan kuituorientaatioon sekä neliömassaprofiiliin. Huulikanavasta massaraina siirretään viiraosalle ja siitä aletaan poistamaan vettä suotamalla sekä puristamalla. (KnowPap N.d.)



Kuvio 10. Huulikanavan poikkileikkaus (Lappalainen 2012, 6)

Perälaatikossa voi mallista riippuen olla sisäinen tai ulkoinen vaimennus. Sisäisessä vaimennuksessa jakotukin ja turbulenssigenaattorin väliin lisätään moduuli, johon kuuluu jakopillistö sekä tasauskammio. Ulkoisessa vaimennuksessa vaimennus taas perustuu erilliseen vaimennustankkiin, joka sijaitsee ennen perälaatikkoa. Vaimennuksilla pyritään vaimentamaan paineimpulsseja, jotka johtuvat mm. lyhyen kierron pumpuista. (Lappi 2019.)

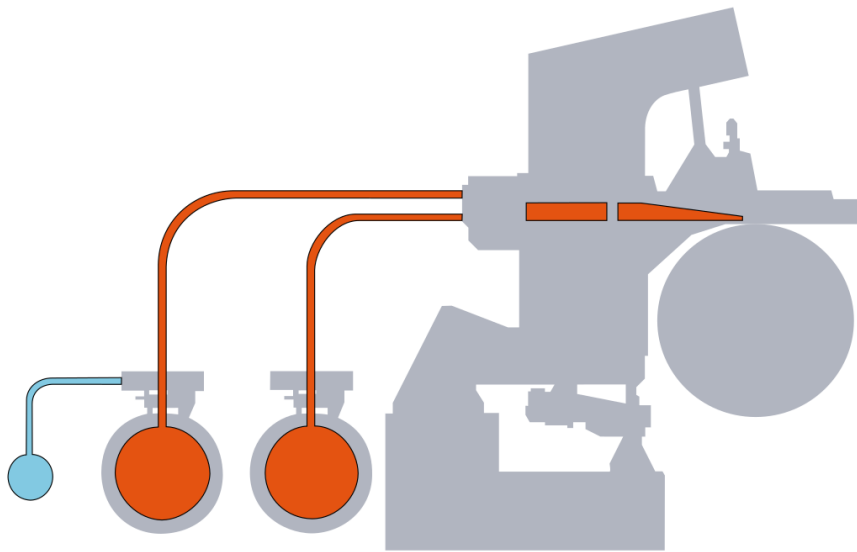
Perälaatikoihin on myös mahdollisuus lisätä laimennuselementti, jolla paperimassaa laimentamalla voidaan vaikuttaa sen neliömassaprofiiliin. Laimennusta voidaan lisätä täsmälleen sinne missä sitä tarvitaan ja laitteisto havaitsee laimennustarpeen automaattisesti. Laimennuselementti on nykyään lähes vakio-osa nykyajan perälaatikoissa.

## 5.5 Monikerrosperälaatikko

Monikerrosperälaatikoilla voidaan nimensä mukaisesti tehdä useita kerroksia paperirainaan. Kerrostuksella on useita eri käyttötarkoituksia ja täten kerrokset saattavat koostua käyttötarkoituksen mukaan erilaisista aineista. Laadukkaista raaka-aineista koostuvien pintakerrosten väliin saatetaan ajaa huonompaa materiaalia, joka ei nor-

maalisti kelpaisi paperinvalmistukseen. Tällä tavoin pyritään säästämään valmistuskustannuksissa, sillä paperin laatuominaisuudet saadaan pidettyä riittävänä pääykerroksilla ja samalla päästään eroon huonommasta materiaalista. Vaihtoehtoisesti paperimassojen väliin on monikerrosperälaatikolla mahdollista lisätä laatuominaisuuksia parantavia raaka-aineita tai kemikaaleja kuten tärkkiä. (Lappi 2019.)

Monikerrosperälaatikko toimii hyvin pitkälti samalla periaatteella kuin yksikerrosperälaatikko. Suurin eroavaisuus liittyy jakotukkien määrään sekä jaoteltuun välikammioon. Jakotukkeja tarvitaan yhtä monta kuin eri raaka-aineista koostuvia kerroksia raiinaan on aikomus ajaa, kuten kuvioista 11 huomataan. Massat syötetään jakotukeista joustavia massaletkuja pitkin välikammioon. Välikammio on eroteltu kerroksittain välilevyillä, jotta massat eivät pääse sekoittumaan keskenään. Monikerrosperälaatikossa eri massat pidetään erossa toisistaan aina ihan huulikanavan huuliaukkoon saakka. (Lappi 2019.)



Kuvio 11. Monikerrosperälaatikon poikkileikkaus (Laakko 2018, 16)

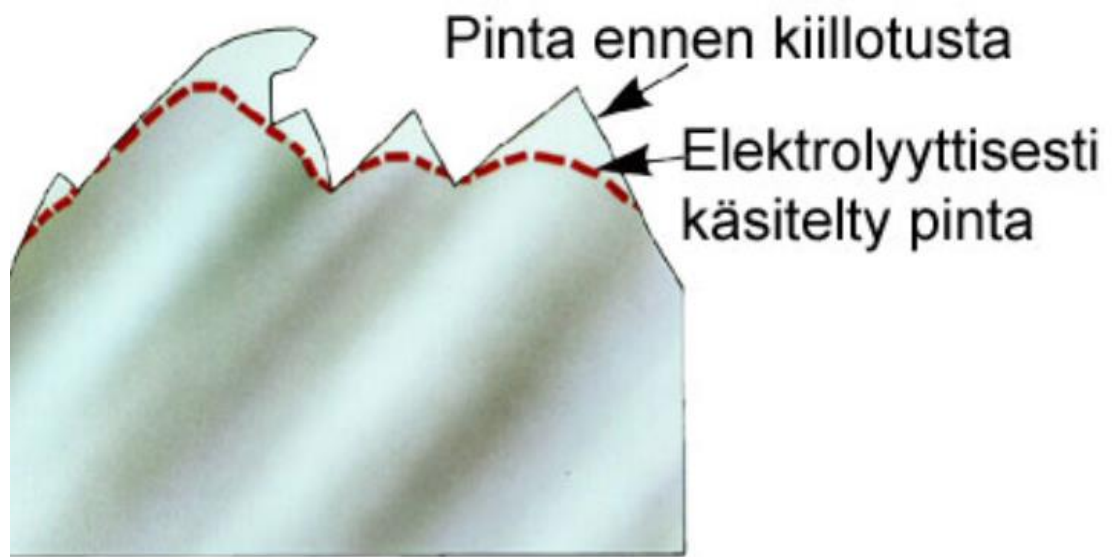
## 5.6 Perälaatikon vaikutus paperin ominaisuuksiin

Paperin laatuominaisuuksiin vaikuttavista tekijöistä yksi tärkeimmistä on formaatio. Formaatio tarkoittaa paperissa tapahtuvaa pienimittakaavaista neliömassavaihtelua.

Huono formaatio voidaan nähdä mm. paperin painossa laikullisina painojälkinä, mutta kaiken kaikkiaan huonon formaation merkitys on suuri, sillä se on visuaalisesti huomattavissa. Huono paperin formaatio vaikuttaa myös heikentävästi paperin vetolujuuteen. Formaatiota pyritään hallitsemaan turbulenssigenaattorin aiheuttamalla turbulენტtisella virtauksella, sillä kuituflokkien rikkominen on olennainen osa formaation hallinnassa. (KnowPap N.d.)

Kuituorientaatio on toinen paperin merkittävistä laatuominaisuuksista. Sillä tarkoitetaan sitä, kuinka suuri osa kuiduista osoittaa mihinkin suuntaan valmiissa paperissa. Jos kuituorientaatio on vinossa eli suurin osa kuiduista on poikkisuuntaan koneeseen nähden, se saattaa aiheuttaa paperiin muodonmuutoksia kosteusasteen vaihdellessa. Kuituorientaation vinous johtuu yleensä perälaatikolta lähtevän suihkun nopeuden ja viiran nopeuden liian pienestä erosta. Liian pienen nopeuseron takia käytetään joko yli- tai aliperää. Aliperässä suihkun nopeus on pienempi kuin viiran nopeus ja yliperässä taas toisinpäin. Kuituorientaatiota pyritään säätämään myös paikallisesti erilaisilla säädöillä ja lisäsyötöillä, kuten kärkillistan säätölaitteilla sekä reunasyötöllä. Reunasyötöllä reunoille lisätään massavirtausta reunalevyjen aiheuttaman kitkan kompensoimiseksi. (KnowPap N.d.)

Perälaatikon puhtaana pysyminen on myös hyvin tärkeä ominaisuus paperin laadun kannalta. Likaantuva perälaatikko saattaa ajan myötä alkaa aiheuttamaan paperiradan katkeamisia sekä heikentää paperin laatuominaisuuksia. Likaantumisen estämistä voidaan hallita virtausnopeuksilla sekä virtauspintojen karheudella. Mitä siileämpi pinta sen vähemmän se kerää likaa ajan saatossa. Tästä syystä Valmet käyttää tietyillä virtauspinnoilla elektrolyyttistä kiillotusta silloin, kun mekaanisesti valmistettu karheus ei riitä. Elektrolyyttinen kiillotus pyöristää kaikki mekaanisen työstön jäljiltä pintoihin jäädyt piikit, joihin lika muuten kerääntyisi. Kuvio 12 havainnollistaa elektrolyyttisen kiillotuksen vaikutusta. Likaantumisen estämiseksi massan virtauspinnoilla ei myöskään saa olla rakoja, joihin kuidut voisivat kerääntyä ajan saatossa. (KnowPap N.d.)



Kuvio 12. Elektrolyyttisen kiillotuksen vaikutus pinnankarheuteen (KnowPap N.d.)

## 5.7 Perälaatikoiden modulaarisuus ja suunnittelu

Valmetin Optiflo -perälaatikoiden kehitysvaiheessa on tehty päätöksiä, jotka ovat mahdollistaneet tuoteperheen modulaarisuuden. Kehitysvaiheessa on hyödynnetty mm. skaalaus- sekä moduuliperusteista tuotealusta-ajattelua. Perälaatikoiden leveys siis skaalautuu paperikoneen leveyden mukaan ja sen rakenteet ovat suunniteltu pysymään samanlaisina perälaatikon leveydestä riippumatta. (Laakko 2018, 47.) Kuviossa 8 voidaan havainnollistaa perälaatikkomallien modulaarisuutta. Kuviossa perälaatikon runko pysyy lähes samanlaisena ja sen ympärillä olevat osat muuttuvat mallin mukaan.

Valmet on tulevaisuudessa siirtymässä perälaatikkosuunnittelussa kokonaan tuotemalliajattelun hyödyntämiseen. Nykyään projektisuunnittelun lähtökohtana käytetään vielä malliprojektimetodia lukuun ottamatta ilman vaimennusta olevien perälaatikoiden suunnittelua, jossa on jo siirrytty tuotemallin hyödyntämiseen. Kokonaan tuotemalliperusteiseen suunnitteluun siirryttäessä pyritään modulaarisuus kehittämään sille tasolle, että samoja moduuleita voidaan käyttää mahdollisimman paljon eri perälaatikkotyyppien välillä. (Laakko 2018, 47-48.)



Modulaarisuuden kehityksessä pyritään siihen, että tulevaisuudessa, eri perälaatikkomallien tuotemallien CAD-rakenteet rakentuisivat pitkälti samoista moduuleista. Näin eri moduuleihin tehdyt muutokset päivittyisivät kerralla kaikkien perälaatikkomallien tuotemalleihin eikä samoja muutoksia tarvitse tehdä kaikkiin erikseen. Tämä vähentäisi mahdollisten virheiden todennäköisyyttä sekä tuotemallien ylläpidosta aiheutuvia kustannuksia. (Laakko 2018, 47-48.)

Kaikki Valmetilta tilatut perälaatikot suunnitellaan erikseen, koska Valmet hyödyntää perälaatikkosuunnittelussa massaräätälöintiä sekä ETO- valmistusta. Perälaatikoissa pyritään hyödyntämään mahdollisimman paljon vakio-osia valmistus- ja suunnittelukustannuksien minimoimiseksi. (Laakko 2018, 47.)

## 6 Ristisilloitettu polyeteeni PEX

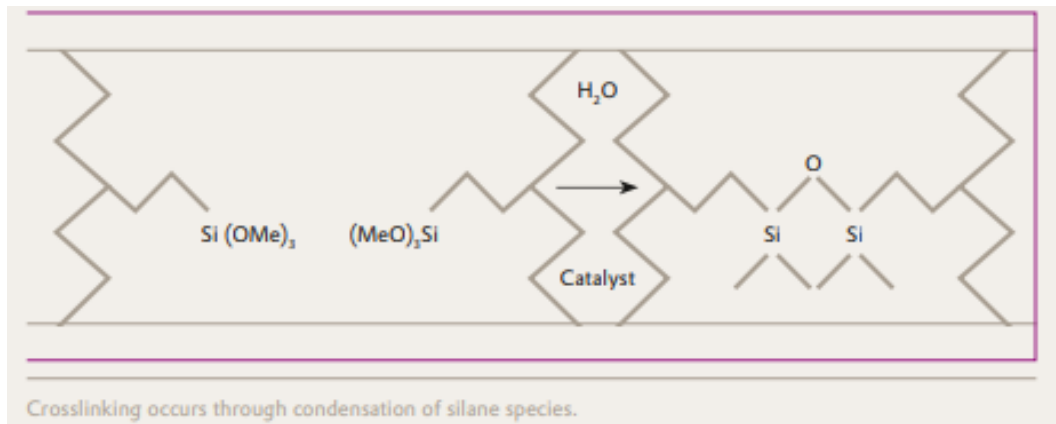
Opinnäytetyössä tutkittiin ristisilloitetun polyeteenin käyttöä prototyypin massaputkissa käytetyn polyamidin tilalle. Ristisilloitettu polyeteeni oli toimeksiantajalle uusi materiaali, jonka käyttöä oli ehdotettu materiaalitoimittajan puolesta. Kyseisellä materiaalilla on hyvä kemiallisen rasituksen kesto ja sitä käytetään paljon mm. vesijohdoverkoissa, joten se on lähtökohtaisesti melko soveltuva materiaali paperimassan siirtämiseksi. Seuraavissa kappaleissa käydään läpi ristisilloitetun polyeteenin ominaisuuksia, käyttökohteita sekä soveltuvuutta paperikoneympäristöön.

Polyeteeni on maailman käytetyin muovi ja se voidaan luokitella eri luokkiin paino- ja tiheyden perusteella. Polyeteenin luokat ovat LDPE (Low Density Polyethylene), MDPE (Middle Density Polyethylene) sekä HDPE (High Density Polyethylene). Polyeteeni luetaan kiteiseksi muovilajiksi ja kiteisyyden määrä vaikuttaa suoraan sen ominaisuuksiin. Kiteisyyden asteet vaihtelevat luokittain esim. LDPE:n kiteisyys saattaa olla n. 55 % luokkaa, kun HDPE:llä aste saattaa olla jopa 90%. Suuremman kiteisyysasteen vaikutus havaitaan mm. kemiallisen kestävyuden paranemisena, sulamislämpötilan kohoamisena sekä virumisen vähenemisenä. Polyeteenillä on useita käyttökohteita, jotka vaihtelevat myös luokkien mukaan. Esimerkiksi LDPE:tä käytetään muovipusseihin ja HDPE:tä taas mm. pesuainepulloissa sekä roskäsäiliöissä. (ValuAtlas Polyeteeni N.d.)

Ristisilloitettu polyeteeni eli PEX on polyeteenimateriaali, jonka molekyyliketjua on muutettu kemiallisella tai fysikaalisella prosessilla. Prosessissa polymeeriketjut sidotaan pysyvästi kiinni toisiinsa, eli silloitetaan. Silloittamisella pyritään parantamaan polyeteenin tiettyjä ominaisuuksia. Ristisilloituksella materiaalille saadaan mm. parempi kemiallisten aineiden kestävyys, laajempi lämpötila-alue, sekä parempi materiaalin sitkeys. Ristisilloitus myös tekee PEX:stä ”puolikerroksisen” polymeerin, mikä antaa materiaalille erinomaisen pitkäaikaisen stabiiliuden. (Plastics pipe institute 2013, 1.)

Itse polyeteenin ristisilloittamiseen on olemassa monia keinoja mutta kaikkien periaatteena on luoda linkkejä tai sidoksia yksittäisten PE- ketjujen välille. Sidokset muodostavat molekyyli-verkon kemiallisten reaktioiden avulla ja sidosten lukumäärä polyeteenimolekyylien välillä määrittää verkon tiheyden. Verkon tiheys on tärkeä tekijä materiaalin ominaisuuksien määrittelyssä. Silloitukseen on olemassa kolme päämenetelmää ja jokaisella menetelmällä on oma kirjaintunnus. Kirjaintunnuksesta selviää, millä menetelmällä kyseinen materiaali on tuotettu.

Silloittamiseen voidaan käyttää joko Peroksidikatalyyttiä (PEX-a), Silaanipolymeeria (PEX-b) tai elektrodisädetä (PEX-c). Kaikki näistä silloitusmenetelmistä tuottavat hiukan erilaisia ominaisuuksia materiaalille. Esimerkiksi PEX-a:n silloitus tapahtuu ennen kuin polyeteenillä on mitään tiettyä muotoa, jolloin ristisilloitusten asteeksi saadaan n. 85%. Tämä on suurin kaikilla menetelmillä silloitetuista materiaaleista ja antaa PEX-a:lle mm. parhaan termisen muistin. Kaikki kolme menetelmää ovat kuitenkin käytössä yleisesti hyväksytyjen PEX-tuotteiden valmistuksessa. (Plastics Pipe Institute 2013, 3.) Näistä kolmesta silaaniteknologian on huomattu olevan taloudellisesti järkevin tapa. Silaanin käyttö tarjoaa tiettyjä etuja, kuten ympäristöystävällisyys, pienet investoinnit sekä se on hyvin vakioitunut ja taloudellinen prosessi. (Dynasytan N.d.) Kuviossa 13 nähdään silloittamisen perusperiaate silaaniteknologialla.



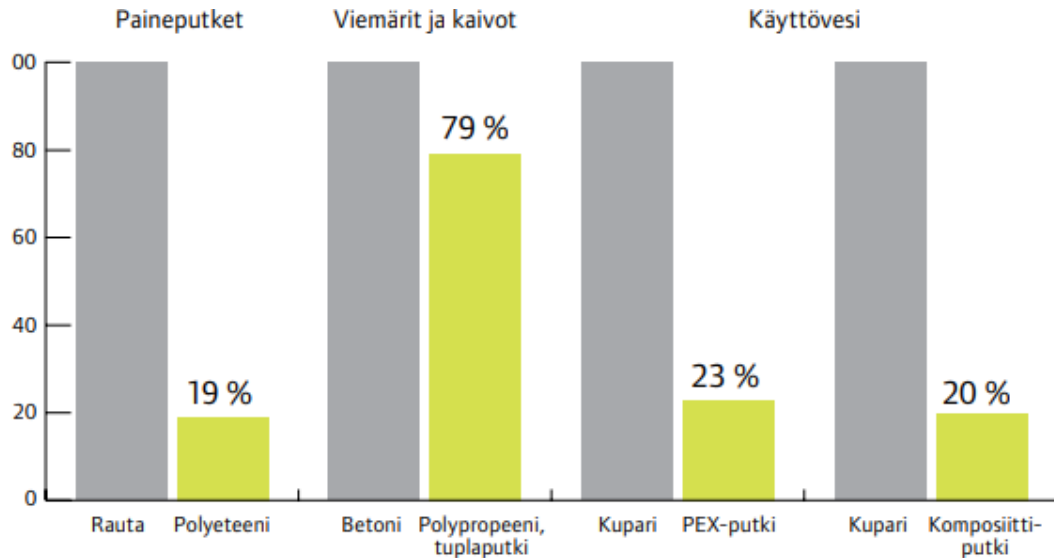
Kuvio 13. Ristisilloituksen peruseriaate silaaniteknologialla (Dunasytan N.d.)

## 6.1 Ominaisuudet

PEX-putki on laajalti käytössä erilaisissa sovelluksissa sen monipuolisten ominaisuuksiensa takia. PEX:in ominaisuuksiin kuuluvat mm. sen kestävyys kaikkia vesilaatuja vastaan ilman riskiä korroosiosta sekä hyvin joustava rakenne, kuten kuviosta 15 voidaan havaita. Suomessa PEX:iä onkin käytetty mm. käyttövesiputkissa jo 30 vuotta ja sitä asennetaan vuosittain noin 1,6 milj. metriä. (Uponor N.d.) Muita PEX:in ominaisuuksia ovat: (Plastics Pipe Institute 2013, 5.)

- Laaja lämpötila-alue (-40 °C ...+80 °C)
- Hyvä kemiallisten aineiden esim. kloorin kesto
- Alhainen kitka → putkistossa on alhainen painehäviö ja veden virtausnopeutta voidaan kasvattaa ilma riskiä eroosiosta
- Putki on kevyttä ja joustavaa → helppo asentaa sekä useita asennus- ja layout-mahdollisuuksia
- Tärinänkesto
- Alhainen kuormitustaso ympäristölle (PEX voidaan kierrättää energijätteenä).
- Äänen ja paineenvaimennus
- Paineiskujen kesto
- Alhaiset kustannukset
- Naarmuuntumisen kesto
- Kestävyys ja sitkeys

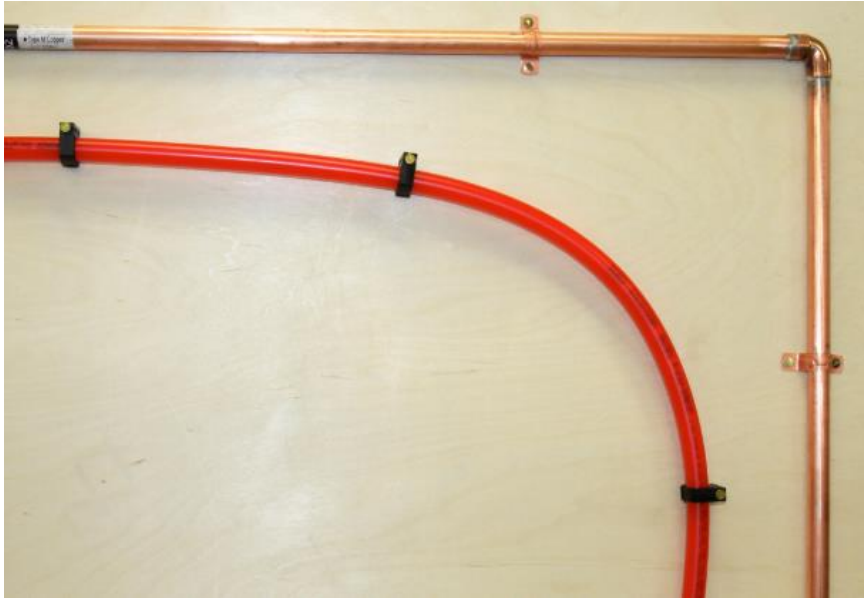
Muovimateriaalien käyttö raaka-aineena tarjoaa myös hyvin ympäristöystävällisen vaihtoehdon perinteisille materiaaleille LVI-järjestelmissä, kuten kuviosta 14 voidaan havaita (Uponor N.d).



Kuvio 14. Muovimateriaalin ympäristövaikutus vertailumateriaaleihin nähden (Uponor N.d.)

## 6.2 Käyttö

PEX-putki on korkean lämpötilan joustava muovipaineputki, jolla on yli 40 vuotta menestyksestä käyttöä Euroopan markkinoilla. Materiaalille on suoritettu useita kattavia testejä mm. kestävyydelle sekä suorituskyvylle. (Plastics Pipe Institute, 2019.) Esimerkiksi Uponorin PEX-putkea on testattu ruotsalaisessa tutkimus- ja testauslaitos Sveriges Provnings och Forskningsinstitutissa, missä putkelle on suoritettu erilaisia testejä. Rasitustestit ovat osoittaneet, että putkea voidaan käyttää 1 MPa:n suuruisessa paineessa sekä 70°C:n lämpötilassa yli 50 vuotta. (Uponor N.d.) PEX-putkea käytetään laajalti LVI-, vesi-, palonsuojaus-, jäähdytys- ja sulatusjärjestelmissä. Se on myös hyväksytty käyttöön muualla maailmassa, kuten USA:ssa sekä Kanadassa. (Plastics Pipe Institute 2019.)



Kuvio 15. Havainnollistava kuvio PEX:n taipuisuudesta verrattuna kupariputkeen (Uponor N.d.)

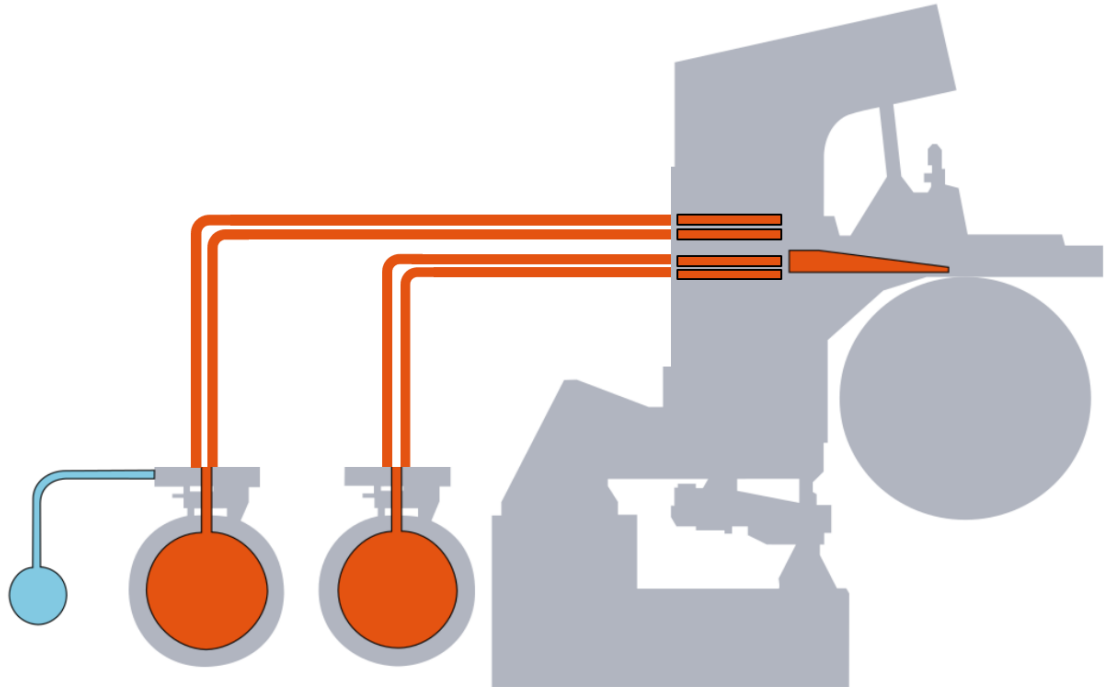
### 6.3 PEX-putki paperikoneympäristössä

Paperikoneella ajetaan normaalisti n. 50°C lämpöistä massaa ja pesuvaiheessa veden lämpötila saattaa ylittää hetkellisesti jopa 90 °C lämpötiloihin. Paperimassa saattaa sisältää myös paperinvalmistajasta riippuen erilaisia kemiallisia aineita, jotka voivat aiheuttaa ongelmia putkistossa. Paperikoneen putkistossa käytettävissä materiaaleissa korkeiden lämpötilojen sekä kemiallisten aineiden kesto ovat siis äärimmäisen tärkeitä ominaisuuksia. PEX-putki täyttää tarvittavat vaatimukset näiltä osin, sillä se kestää korkeitakin lämpötiloja sekä sillä on hyvä kemiallisten aineiden kestävyys. PEX-putkella on myös muita ominaisuuksia, jotka tekevät siitä sopivan materiaalin paperikoneympäristöön, kuten joustavuus ja keveys.

## 7 Opinnäytetyön toteutus ja tulokset

Kerrostavan 1-Putkipatterisen perälaatikon ideana on korvata tällä hetkellä kerrostavaan perälaatikkoon tarvittavat kumiletkustot sekä välikammio taipuisilla PEX-putkilla. Ideassa massa on tarkoituksena tuoda taipuisilla massaputkilla suoraan jakopot-

kilta turbulenssigeneraattoriin, jolloin välikammiota ei enää tarvittaisi ja täten mahdollisesti säästettäisiin kustannuksissa. Kuviossa 16 on havainnollistettu uuden idean periaatetta.



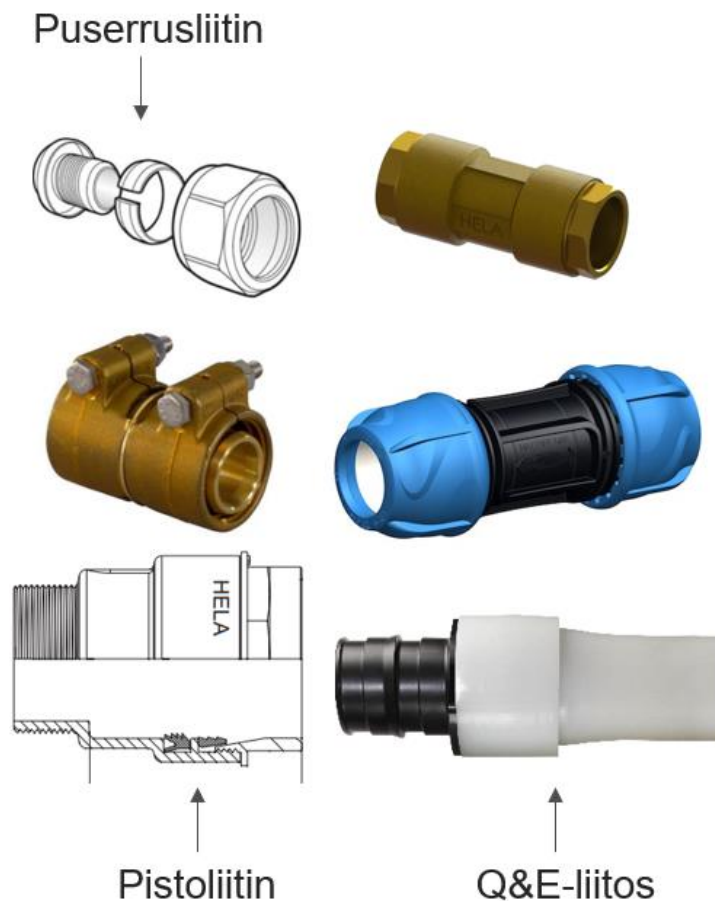
Kuvio 16. 1-PP kerrostavan perälaatikon idea

## 7.1 Kiinnitystapa

Idean soveltamiseksi tuotantoon opinnäytetyössä tutkittiin ja kehitettiin erilaisia kiinnitystapoja, jotka voisivat mahdollisesti soveltua työssä käytettävän PEX-putken kiinnitykseen paremmin kuin alkuperäisessä prototyypin ideassa. Ideana oli tuoda PEX-putki suoraan jakoputkelta turbon sekundaariputkeen, jolloin putkella korvattaisiin myös turbon primääriholkit. Työssä tutkittiin myös mahdollisuutta liittää PEX-putki suoraan turbon primääriholkkiin sekä alkuperäisen idean mahdollista hyödyntämistä ratkaisussa. Kiinnitystavan ideoinnin aikana täytyi pitää mielessä, että kiinnityksen tulee soveltua myös jakoputken päätyyn sekä kestettävä vähintään normaalin vesijohdotoverkon paine, joka on noin 4-6 Bar luokkaa. Kiinnitystapojen täytyi myös huomioida massaputken lämpölaajeneminen erityisesti pituussuunnassa.

## 7.2 Ideointi

Kiinnityksen ideoinnissa haasteena oli erityisesti tilanpuute, sillä turbulenssigeneraattorin holkkien välinen jako on tarkasti määritetty ja sen takia putkien välinen etäisyys toisistaan on hyvin pieni. Alussa kiinnitystä alettiin ideoida kuitenkin lähes ilman rajoitteita, jotta rajoitteet eivät johdattelisi ideointia alkuvaiheessa liikaa. Ideoinnin aikana hyödynnettiin myös paljon benchmarkkausta, sillä muoviputkien kiinnityksiin on jo olemassa lukuisia erilaisia vaihtoehtoja. Erityisesti valmiit liittimet PEX-putken liittämiseen olivat benchmarkkauksen kohteena. Kuviossa 17 on esitetty erilaisia polyeteeni- ja PEX-putkien liittämiseen tarkoitettuja liittimiä eri valmistajilta.



Kuvio 17. Erilaisia muoviputken liittimiä

Ideoinnin alussa selvitettiin myös, millä menetelmillä PEX-putkeen on yleensäkin mahdollista tehdä liitoksia. Useissa ideoinnin alkuvaiheessa syntyneissä ideoissa putken ulkopinnalle oli ideana kiinnittää erilaisia komponentteja, joiden avulla kiinnitys olisi mahdollista tehdä.

#### 7.2.1 PEX Liimattavuus

Ensimmäiseksi tutkittiin PEX-putken liimattavuutta. Selvitysten perusteella kuitenkin selvisi, että polyeteeni on materiaalina erittäin vaikea materiaali liimauksen kannalta. Liima ”pureutuu” huonosti materiaaleihin, joilla on hyvä kemiallinen kestävyys sekä alhainen pintaenergia kuten polyeteenillä on. Liimojen käyttö paperikoneympäristössä on myös haastavaa, sillä paperimassat saattavat sisältää useita kemiallisia aineita, jotka voivat reagoida liiman kanssa ja näin vaikuttaa liimauksen kestoan.

#### 7.2.2 PEX hitsattavuus

Seuraava muovien liittämismenetelmä, jota työssä tutkittiin, oli hitsaus, sillä normaalisti polyeteenin hitsaus on suosittu menetelmä erilaisten liitosten tekemiseen. Polyeteeniputkien hitsaukseen käytetään yleisesti pusku- tai muhvihitsausta, jotka perustuvat muovin sulattamiseen. Tutkimuksessa selvitettiinkin voisiko liittämistapa mahdollisesti olla joku näistä hitsausmenetelmistä. Selvityksissä kuitenkin paljastui, että ristosilloitetun polyeteenin hitsauksesta ei ole tarvittavaa tietoa luotettavan liitosten tekemiseen. PEX:in hitsattavuuden selvityksessä oltiin yhteydessä useisiin muovihitsaukseen erikoistuneisiin yrityksiin ja yleisin vastaus oli, että ristosilloitetun polyeteenin hitsauksesta ei ole kokemusta tai, että sen hitsaus ei kyseisessä yrityksessä onnistu.

#### 7.2.3 Mekaaninen kiinnitys

Koska PEX:in hitsattavuus sekä liimattavuus erityisesti paperikoneympäristössä on kyseenalaista, päädyttiin työssä keskittymään ainoastaan mekaanisiin liitoksiin. Perinteisesti muoviputkien mekaanisia liitoksia vesijohtoverkoissa ovat puristus-, puserus- ja pistoliittimet, joista on esitetty esimerkit kuviossa 17. Nykyään on myös olemassa erilaisia yhdistelmäliittämiä, joissa on yhdistelty esim. puristus ja pistoliittimen ominaisuuksia. PEX-putken liittämiseen käytetään paljon myös Uponorin kehittämää



Q&E- liitosta, jossa hyödynnetään materiaalin termistä muistia. Q&E- liitoksessa putke-  
 kea laajennetaan siihen sopivalla työkalulla, jonka jälkeen laajennettuun putkeen  
 asennetaan liitokseen kehitetty liitin sekä puristusrenkaat. Putki supistuu alkuperäi-  
 seen kokoonsa ja muodostaa näin kestävästi liitoksen putken ja liittimen välille. Q&E-  
 Liitoksen teko esitetty kuviossa 18.



Kuvio 18. Q&E-liitoksen teko (Uponor N.d.)

#### 7.2.4 Ideoiden valinta

Ideoinnin jälkeen ideoita alettiin karsimaan yhdessä yrityksen edustajan kanssa. Kar-  
 sinnassa käytettiin hyväksi vaatimuslistaa (Liite 1), jonka avulla pystyttiin karsimaan  
 ideoita, jotka eivät täyttäneet tarvittavia vaatimuksia. Ideoista valittiin parhaat jatko-  
 tarkasteluun, jossa tutkittiin ideoiden toteutettavuutta sekä niiden soveltuvuutta  
 käyttökohteeseen. Ideoista tehtiin myös luonnokset, jotta niiden hahmottaminen  
 olisi helpompaa. Jatkotarkastelussa kriittinen tekijä oli jakoputken päädyssä putken  
 virtauspintaan vaadittava viiste, jonka valmistus vaatii putken päädyn koneistusta.  
 Valituille ideoille tehtiin painotettu pistearviointi, jonka avulla selvitettiin ideoiden  
 soveltuvuutta käyttökohteeseen.

## 7.3 Ideat sekä luonnokset

Kaikkien ideoiden luonnokset ovat esitetty liitteessä 2.

### 7.3.1 Alkuperäisen prototyypin idean kehitys

Prototyypissä käytetty idea valittiin mukaan jatkokehityksen, sillä sitä on jo käytetty koekoneessa onnistuneesti. Ideassa massaputkien kiinnitys turbulenssigeneraattorin takalevyyn ja jakoputken kansilevyyn tapahtuu turbon primääriholkkien tapaan luk-korenkailla. Putken kiinnityksen toimintaperiaate on esitetty liitteessä 2.

Prototyyppiä valmistettaessa pitkien sekä taipuisien putkien koneistus oli havaittu ongelmaksi, sillä putkien maksimipituus jäi melko lyhyeksi. Putkien liian lyhyt maksimipituus aiheuttaa rajoitteita tuotantokoneiden layouteissa, sillä jakoputken ja perälaatikon välinen etäisyys saattaa olla joissain tapauksissa hyvinkin pitkä. Kehitysvaiheessa selvitettiin, miten maksimipituutta saataisiin kasvatettua, jotta ideaa voitaisiin hyödyntää myös tuotantokoneissa. Tutkimuksien perusteella löydettiin muovin työstöön erikoistunut yritys, joka pystyy työstämään tarpeeksi pitkiä muovikappaleita. Yritykseen lähetettiin kysely, jossa selvitettiin, onnistuuko tällaisen kappaleen työstö kyseisessä yrityksessä. Kyselyyn saatiin myöntävä vastaus, joka tarkoitti ratkaisua alkuperäisen idean layout-ongelmaan.

Toinen ongelma pitkien putkien koneistuksen lisäksi prototyypissä oli putken tukemiseen liittyvä ongelma jakoputken päädyssä. Putkea taivuttaessa liian läheltä massaputken päätyä putken poikkileikkaus muuttui pyöreästä ovaalimaiseksi. Ovaalimainen poikkileikkaus saattaa aiheuttaa liitoksen vuotoa tai kasvattaa likaantumisen riskiä, joten taivutuksen estämiseksi putkille kehitettiin erillinen tukilevy. Tukilevy olisi tarkoitus valmistaa ohutlevystä laserleikkaamalla ja sen jälkeen särmäämällä haluttuun muotoon. Tukilevy ja sen toimintaperiaate on esitetty Liitteessä 2. Samaa ideaa voidaan hyödyntää myös muissa ideoissa massaputken tukemiseen.

### 7.3.2 Holkki

Tässä ideassa tarkoituksena oli liittää putken ulkopinnalle koneistettu tai 3D-tulostettu holkki, joko liimaamalla tai hitsaamalla. Lukitus tapahtuisi putkeen liimatun holkin ja turbon sekundaariputken välillä. Turbon sekundaariputkea pidennettäisiin siten, että sen takapää tulee ulos turbon etulevystä ja ulos tulevaan päätyyn leikattaisiin laserilla kaksi lukitukseen tarkoitettua uraa. Putkeen liimatussa holkissa olisi kaksi ”tappia”, jotka käännetään sekundaariputkessa oleviin uriin. Lukitus estää putken liikkumisen taaksepäin ja putken liikkuminen eteenpäin estetään lukkorenkalla, jolle olisi valmis ura liimattavassa holkissa. Liitoksen tiiveys varmistetaan o-renkaalla, kuten turbon primääriholkissa. Holkki-idean periaatetta voitaisiin soveltaa myös jakoputken päässä esim. kansilevyä koneistamalla. Holkki-idean periaate on havainnollistettu liitteessä 2.

Holkki-idean ongelmaksi muodostuvat holkin liittäminen massaputken ulkopinnalle sekä holkin tilantarve. Holkin ja massaputken välinen liitos havaittiin ongelmalliseksi, sillä holkin liimaus tai hitsaus putkeen ulkopintaan ei muodosta tarpeeksi luotettavaa liitosta. Toiseksi ongelmaksi havaittiin holkin tilantarve, sillä liitosholkin tulee mahtua turbon sekundaariputken sisään. Jättöpään holkin koko on vakio, jolloin liitosholkille tarvittava tila on tehtävä pienentämällä PEX-putken ulkohalkaisijaa. Putken ulkohalkaisijan pienentäminen taas rajoittaisi suurempien sisähalkaisijoiden käyttöä massaputkissa seinämänvahvuuden muodostuessa liian pieneksi.

### 7.3.3 Muokattu primääriholkki

Tässä ideassa tarkoituksena oli hyödyntää PEX-putken termistä muistia. Periaatteena oli muokata turbon primääriholkkia nykyisestä siten, että siihen integroitaisiin liitin, joka toimii samalla tavalla kuin Uponorin Q&E-liittimet toimivat. PEX-putken pää sekä puristusrenas laajennettaisiin, jonka jälkeen putki työnnetään muokattuun primääriholkin päätyyn. Putki supistuu alkuperäiseen kokoonsa ja muodostaa tiiviin liitoksen primääriholkin ja massaputken välille. Jakoputken päädyssä kansilevyyn jouduttaisiin suunnittelemaan omat liittimet, joihin putki voidaan liittää. Turbon primääriholkki valmistetaan ruiskuvalamalla, joten uudenlaisen putken valmistukseen tarvittaisiin

uusi valumuotti. Ideassa oli tarkoituksena hyödyntää mm. valmiita puristusrenkaita Uponorilta. Esimerkki uudesta primääriholkin päädyistä näkyy Liitteessä 2.

Idean suurimmaksi ongelmaksi paljastui jatkotutkimuksissa liitoksen koko. Q&E-liitoksessa valmiin liitoksen ulkohalkaisija kasvaisi suuremmaksi kuin turbon reikäjako, jolloin liitokset eivät mahtuisi olemaan vierekkäin. Tämä johtaisi siihen, että primääriholkkeja tarvittaisiin kolmea eri pituutta, jotta liittämien tällä menetelmällä onnistuisi. Toinen kokoon liittyvä ongelma on liitoksen seinämävahvuus. Primääriholkkiin muokattu ”liitin” tarvitsi tietyn paksuisen seinämävahvuuden, jotta se ei ala virumaan putken supistumisesta aiheutuneen kuormituksen takia. Virumisella tarkoitetaan vakiokuormasta aiheutuvaa ajasta ja lämpötilasta riippuvaa plastista muodonmuutosta, joka saattaisi vaikuttaa liitoksen pitävyyteen haitallisesti (Tampereen teknillinen yliopisto Materiaaliopin laitos 2005). Ideassa ongelmana on myös liitoksesta aiheutuva virtaussuuntaan vastustava porras, joita massavirrassa pyritään mahdollisimman paljon välttämään.

#### 7.3.4 Pistoliitos

Idean perustana toimi perinteinen pistoliitos, jossa putki työnnetään liittimeen ja liittimen sisällä oleva messinkirengas leikkautuu putkeen estämällä sen liikkumisen. Ideana oli sisällyttää pistoliittimen komponentit suoraan esim. jakoputken kansilevyyn, jolloin erillisiä liittimiä ei tarvittaisi. Kansilevyn reikiin koneistettaisiin urat renkaille sekä lukitusrenkaille. Massaputket työnnettäisiin reikiin koneistettua vastetta vasten, joka estää putkien liikkumisen jakoputken suuntaan. Lopuksi asennetaan lukituslevy, jonka kiilamaiset ulokkeet painavat lukitusrenkaat vasten putkea estäen sen liikkumisen ulos reiästä. Kansilevyn lukituksen periaate on esitetty myös Liitteessä 2.

#### 7.3.5 Kahden putken jatkaminen

Idean periaatteena oli valmistaa kaksi putkea, joista toinen kiinnitettäisiin turbon päätyyn ja toinen jakoputken päätyyn. Putkien välille tehtäisiin jatko, jossa putket liitettäisiin toisiinsa. Putkien kiinnitykset tapahtuisivat samalla tavalla lukkorenkailla,

kuin alkuperäisessä prototyypin ideassa. Tällä idealla pyrittiin ratkaisemaan prototyypin ongelma putkien rajallisesta pituudesta.

Jatkotutkimuksessa tutkittiin mahdollisuutta hyödyntää valmiita liittimiä putkien jatkamisessa, sillä valmiiden osien käyttö vähentää huomattavasti liitoksesta aiheutuvia kustannuksia. Tutkittaessa valmiiden liittimien soveltuvuutta putkien jatkamiseen havaittiin muutamia ongelmia, joita liittimien käyttö aiheuttaa. Ensinnäkin lähes kaikki PEX-putken jatkoliittimet tarvitsevat tukiholkin, joka asennetaan putken sisälle estämään liittimen puristuksesta aiheutunut putken litistyminen. Tukiholkista myös syntyy putken virtauspinnoille virtauksen vastainen porras, joita pyritään mahdollisimman paljon välttämään.

Toinen jatkoliittimistä aiheutuva ongelma on jatkoliitoksen koko, sillä putket eivät mahdu olemaan vierekkäin, jos kaikkien jatkoliitos on samalla kohdalla. Putkia tarvittaisiin täten vähintään kahta eri pituutta, jotta liitoskohdat saadaan asennettua limittein ongelman välttämiseksi. Koneistettavien putkien määrä myös kasvaisi, joka tarkoittaisi merkittävää kustannusten nousua.

Kolmantena ongelmana on valmiiden liittimien materiaalin soveltuvuus paperikoneympäristöön. Yleisin jatkoliittimien materiaali on messinki, joka ei sovellu paperikoneessa käytettäviin osiin. Myös muovista valmistettujen liittimien hyödyntäminen oli ongelmallista, sillä muuten käyttökohteeseen soveltuvien liittimien materiaaliominaisuudet eivät olleet riittävät käyttökohteeseen.

## 7.4 Ideoiden arviointi

Tässä työssä valittujen ideoiden soveltuvuuden arviointiin käytettiin painotettua pistearviointia, jossa arviointikriteerit sekä niiden painoarvot määritettiin yhdessä yrityksen edustajan kanssa. Arviointikriteereitä laadittaessa käytettiin hyväksi myös työn alussa laadittua vaatimuslistaa. Painotetun pistearvioinnin arviointikriteerit sekä painoarvot olivat seuraavat:

- |                      |     |
|----------------------|-----|
| 1. Toteutettavuus    | 0,2 |
| 2. Puhtaana pysyvyys | 0,2 |

3. Modulaarisuus	0,25
4. Kustannustehokkuus	0,25
5. Yksinkertaisuus	0,1

Pistearvioinnille tehtiin taulukko, jossa ideat arvioitiin kriteerien perusteella arvosanoilla yhdestä viiteen. Arvosanat kerrottiin kyseisen kriteerin painoarvolla, jotta saatiin painotetut pisteet jokaiselle idealle. Painotettujen pisteiden perusteella ideat laitetiin paremmuusjärjestykseen ja parhaiten soveltuva idea valittiin jatkokehitykseen. Pistearviointi ja taulukko on esitetty liitteessä 3.

Pistearvioinnin perusteella parhaiten soveltuva idea putken kiinnitykseen oli alkupe räisen prototyypin idea. Tämän idean valintaa jatkokehitykseen tuki pistearvioinnin lisäksi myös olemassa oleva prototyyppi sekä siitä saadut käyttökokemukset. Prototyypin käytön perusteella pystyttiin mm. todeta ilman laajempaa tutkimusta, että kiinnitystapa kestää tarvittavat kuormitukset eikä aiheuta massavirtaan ylimääräisiä häiriöitä.

## 7.5 Toteutus ja sovellus tuotantoperälaatikossa

Työn tavoitteena oli selvittää, kuinka idea 1-putkipatterisesta kerrostavasta perälaatikosta voitaisiin toteuttaa sekä kuinka sitä voitaisiin soveltaa tuotantoperälaatikoissa. Käytännössä siis selvitettiin, kuinka tästä ideasta saadaan oikea tuote sekä kuinka se käytännössä toimisi. Ideoiden arvioinnin perusteella parhaiten soveltuvaksi ideaksi valikoitui aikaisemmin kehitettyyn prototyyppiin pohjautuva idea, jonka suurin ongelma saatiin työn aikaisemmissa vaiheissa ratkaistua.

### 7.5.1 Lopullinen ratkaisu

Lopullisessa ratkaisussa 1-putkipatterisen kerrostavan perälaatikon toteutus tuotantokoneisiin tapahtuisi samalla periaatteella kuin aikaisemmin koekoneessa testatulla prototyypillä. Uudessa ratkaisussa massa kulkeutuu PEX-putkesta valmistettujen massaputkien kautta suoraan jakoputkilta turbulenssigeneraattoriin. Esimerkkinä lopullisen ratkaisun havainnollistamiseen käytetään kerrostavaa perälaatikkoa, jossa

kerrokset koostuvat kahdesta massakerroksesta ja niiden väliin lisätystä aqua-kerroksesta. Esimerkin perälaatikossa käytetään 5-rivistä turboa, jossa molemmille kerroksille on kaksi riviä ja aqua-kerrokselle yksi rivi. Liitteessä 4 on esitetty esimerkin perälaatikko sekä nykyisen ratkaisun osat, jotka uudella ratkaisulla pyritään korvaamaan. Esimerkin perälaatikon osat, jotka muuttuvat uuden ratkaisun sekä nykyisen ratkaisun välillä ovat:

- Turbulenssigeneraattori
- Aqua- ja massaletkut
- Jakoputkien kansilevyt
- Laimennuselementti
- Välikammio

Nykyisessä kerrostavan perälaatikon ratkaisussa on turbulenssigeneraattorissa käytetty ns. vinoa takalevyä, jonka valmistus vaatii huomattavasti enemmän työstöä kuin normaali takalevy. Vinossa takalevyssä turbon primääriholkkien reiät koneistetaan vinoiksi, jotta holkit saadaan asennettua oikeaan kulmaan välikammiota varten. Primääriholkkien vinous voidaan havaita liitteen 4 kuviosta. Vinoa takalevyä joudutaan käyttämään, koska nykyisiä primääriholkkeja ei voida taivuttaa oikean kulman saavuttamiseksi. Uudessa ratkaisussa voidaan turbossa käyttää normaalia takalevyä, sillä välikammion pois jäämisen takia putkia ei tarvitse enää asentaa tiettyyn kulmaan. Normaalin takalevyn käyttö laskee uuden ratkaisun valmistuskustannuksia mutta vaikuttaa myös huomattavasti ratkaisun modulaarisuuteen.

Aqua- ja massaletkujen osalta uuden ratkaisun PEX-putket korvaavat nykyisin käytössä olevat suuret massaletkut. Nykyiset massaletkut pystyvät syöttämään useampaa turbon rivistöä yhdellä massaletkurivillä, kuten esimerkin perälaatikosta voidaan havaita. Esimerkissä jokaiselta jakoputkelta lähtee vain yksi massaletkurivi, joka syöttää yhtä massakerrosta eli kahta turbon rivistöä samaan aikaan. Uudessa ratkaisussa massaputket tulevat suoraan jakoputkelta turbon jaotuksella ja yksi massaputki syöttää yhtä turbon putkea, joten putkia tulee olemaan määrällisesti enemmän. Massaputkien määrän kasvaessa eri kerroksia syöttävät massaputket väri koodataan, jotta

niiden erottelu olisi helpompaa. Värikoodauksella myös välttyttäisiin mahdollisilta sekaannuksilta putkien asennusvaiheessa. Aikaisemmin massaletkujen pituus on määräytynyt perälaatikon layoutin mukaan ja uudessa ratkaisussa massaputkien maksimipituus olikin aluksi kriittinen tekijä. Putkien suurin mahdollinen työstöpituus saatiin kuitenkin riittäväksi, jotta ratkaisun käyttö ei aiheuttanut layout-rajoitteita nykyiseen ratkaisuun verrattuna.

Jakoputken osalta muuttuvat massaputket tarkoittavat erilaisen kansilevyjen käyttöä, sillä nykyisten massaletkujen jako ja koko on täysin eri kuin uudessa ratkaisussa. Uudessa ratkaisussa kansilevyn reikäjako on siis sama kuin turbossa, mutta reikien rivimäärä muuttuu sen mukaan, kuinka monta syöttöriviä kyseinen jakoputki syöttää. Esimerkin perälaatikossa molempien massakerroksien jakoputket syöttävät kahta turbon rivistöä ja aqua-kerros yhtä rivistöä, joten esimerkissä erilaisia kansilevyjä tarvittaisiin kahta eri mallia. Uuden ratkaisun kansilevy muistuttaa paljon turbon takalevyä, mutta sen rakenne voi olla kevyempi, sillä siihen ei kohdistu samanlaisia rasituk- sia kuin takalevyyn kohdistuu.

Seuraava muuttuva komponentti ratkaisujen välillä on laimennuselementti. Uudessa ratkaisussa laimennuselementtinä voidaan käyttää normaalin 1-putkipatterisen perälaatikon laimennuselementtiä, joka asennetaan jakoputken ja kansilevyn väliin. Nykyisessä ratkaisussa on käytetty ns. raskaampaa elementtiä, joka on valmistettu järeämmistä komponenteista ja soveltuu nykyisten massaletkujen käyttöön. Ratkaisujen välillä muuttuvista komponenteista suurin yksittäinen komponentti on kuitenkin välikammio, jonka tehtävä on pitää massat erillään sekä tasata massaletkuilta tuleva massavirta jokaiselle turbon holkille. Uudessa ratkaisussa massa tuodaan suoraan turbon jättöpään holkkeihin, joten välikammio jää kokonaan turhaksi komponentiksi ja täten vaikuttaa huomattavasti uuden ratkaisun kustannustehokkuuteen. Liitteessä 5 on esitetty nykyisen sekä uuden ratkaisun layouttien eroavaisuudet.

Massaputkien kiinnitys ja tiivistys jakoputkeen ja perälaatikkoon tapahtuu lopullisessa ratkaisussa samalla periaatteella, kuin alkuperäisen prototyypin ideassa (Liite 2). Massaputkiin, kansilevyihin sekä turbon takalevyyn koneistetaan urat lukkoren-



kaille, joilla kiinnitys tapahtuu. Uudessa ratkaisussa jokaiseen turbon takalevyn koneistetaan samalla koneistuksella kaksi uraa. Ensimmäinen ura on normaali turbon primääriholkin kiinnitykseen tarkoitettu ura ja toinen on kerrostavan perälaatikon massaputkien kiinnitykseen tarkoitettu ura. Kahden uran valmistus samalla on minimaalinen kustannus takalevyn koneistuksessa, mutta sillä on merkittävä vaikutus uuden ratkaisun modulaarisuuden kehityksessä. Uuden ratkaisun vaikutuksesta perälaatikoiden väliseen modulaarisuuteen käsitellään seuraavassa kappaleessa. Liitteessä 6 on vielä havainnollistettu massaputken lopullinen kiinnityspäätelmä jakoputkeen sekä turbulenssigeneraattoriin.

### 7.5.2 Modulaarisuuden kehitys

Perälaatikko on jo valmiiksi hyvin modulaarinen tuote, mutta uuden ratkaisun vaikutus modulaarisuuteen on kuitenkin tietyissä tapauksissa melko suuri. Tämän vaikutuksen havainnollistamiseen käytetään esimerkkitilannetta, jossa asiakas haluaa päivittää normaalin perälaatikkonsa kerrostavaksi perälaatikoksi.

Nykyisellä mallilla päivityksen suorittamiseksi on jouduttu jakoputkien ja muiden kerrostukseen tarvittavien osien lisäksi valmistamaan uusia kalliita osia, kuten välikammio. Suurin kustannus tulee kuitenkin turbulenssigeneraattorista ja erityisesti sen vaihdosta johtuvista kustannuksista. Turbon vaihto kerrostavaan malliin vie huomattavasti aikaa, sillä vaihdon suorittamiseksi perälaatikkoa joudutaan purkamaan melko paljon. Päivityksen aikana koko paperikonelinjasto seisoo, mikä tarkoittaa hyvin suuria kustannuksia asiakkaalle. Päivitykseen kuluva aika on siis hyvin kriittinen tekijä sen kustannuksia ajatellen.

Uudella ratkaisulla päivitys tapahtuisi irrottamalla asiakkaan paikallaan olevasta perälaatikosta turbon primääriholkit ja vaihtamalla niiden tilalle kerrostavan perälaatikon massaputket. Ratkaisussa käytetyn idean mukaan takalevyn valmistusvaiheessa koneistetaan kiinnitysurat primääriholkeille sekä kerrostavan perälaatikon massaputkille, joten kiinnitysurat ovat valmiina mahdollista päivitystä varten. Uuden ratkaisun myötä komponenttien sekä työvaiheiden pois jääminen vaikuttaa päivitykseen kuluvaan aikaan huomattavasti.

## 7.6 Kustannustehokkuusvertailu

Työn yhtenä tavoitteena oli suorittaa kustannustehokkuusvertailu uudelle ratkaisulle. Kustannustehokkuusvertailussa tarkoituksena oli tutkia kriittisesti uuden ratkaisun hyödyntämisen kannattavuutta taloudellisesta näkökulmasta. Vertailun vertailukohteeksi valikoitui aikaisemman esimerkin mukainen nykyisellä ratkaisulla toteutettu kerrostava perälaatikko. Kaikki kustannusvertailun tulokset ovat esitetty prosentuaalisina lukuina, sillä toimeksiantaja ei halua paljastaa eurollisia kustannustietoja.

Kustannusten vertailemiseksi oli ensin selvitettävä, mitkä komponentit muuttuvat eri ratkaisujen välillä. Selvityksen perusteella muuttuvat komponentit olivat turbulenssigeneraattori, aqua- ja massaletkut, jakoputkien kansilevyt, laimennuselementti sekä välikammio. Seurassa vaiheessa selvitettiin näiden komponenttien kustannustiedot molempien ratkaisujen kokonaiskustannusten muodostamiseksi.

Muuttuvien komponenttien kustannuksia selvittäessä hyödynnettiin aikaisempien projektien kustannustietoja mahdollisimman realistisen kokonaiskuvan saamiseksi. Taipuisien PEX-massaputkien kustannuksia selvittäessä ei kuitenkaan ollut mahdollista hyödyntää aikaisempaa tietoa, sillä prototyypissä käytettyjen massaputkien materiaali sekä putkien koneistuskustannukset muuttuvat uudessa ratkaisussa. Tämä tarkoitti käytännössä sitä, että putkille sekä putkien työstölle oli pyydettävä uudet tarjoukset kustannusten selvittämiseksi. PEX-putkien tarjousta pyydettiin samalta yritykseltä, joka oli aikaisemmin toimittanut massaputket myös prototyypin putkistoon. Putkien työstöön tarjousta taas pyydettiin idean kehitysvaiheessa löytyneestä yrityksestä, joka selvityksen mukaan olisi kykeneväinen tekemään tarvittavat työtöt halutun pituisiin putkiin. Tarjousten perusteella pystyttiin laskemaan kappalehinta taipuisille PEX-massaputkille, jotka uudessa ratkaisussa korvaavat nykyiset massaletkut sekä turbon primääriholkit.

Lopullisessa vertailussa muuttuvien komponenttien kustannustiedot kasattiin vertailua varten Excel-taulukoon, joka on esitetty liitteessä 7. Taulukossa tiedot järjestettiin siten, että siitä nähdään kummankin ratkaisun kokonaiskustannukset sekä eroteluna eri komponenttien kustannukset. Taulukosta voidaan näin helposti havaita eri

ratkaisuiden välillä vaihtuvien komponenttien vaikutukset kokonaiskustannuksiin. Liitteessä 8 on esitetty komponenttien kustannusten prosentuaalinen jakautuminen eri ratkaisuissa ja kaavio lopullisen vertailun tuloksesta.

## 8 Pohdinta

Työssä tutkittiin mahdollisuutta kehittää idea 1-putkipatterisesta kerrostavasta perälaatikosta järkeväksi konseptiksi ja sitä kautta oikeaksi tuotteeksi. Työn lopputuloksena valmistunut ratkaisu täytti työn alussa määritetyn vaatimuslistan kaikki vaatimukset sekä toiveet, joten idean soveltaminen tuotantokoneissa olisi siltä osin mahdollista.

Ensimmäiseksi työssä tutkittiin vaihtoehtoisia ratkaisuja uusien massaputkien kiinnitykseen prototyypissä käytetyn ratkaisun tilalle. Lopulliseksi ratkaisuksi kuitenkin päätyi painotetun pistearvioinnin jälkeen prototyypissä käytetty idea, jonka aikaisemmat ongelmat saatiin kehitysvaiheessa ratkaistua. Pistearvioinnissa tätä ideaa oli muihin ideoihin verrattuna osittain helpompi arvioida johtuen prototyypistä saaduista käyttökokemuksista. Ideoiden välinen ero kokonaispisteissä oli kuitenkin niin suuri, että sen ei katsottu johtuvan ainoastaan helpommasta arvioinnista eikä täten ollut syy kyseenalaistaa arvioinnin tulosta.

Työssä käytettiin kustannustehokkuusvertailua tutkimaan idean kannattavuutta myös taloudellisesta näkökulmasta. Lopullisesta vertailun tuloksesta havaittiin, että uuden ratkaisun kustannukset tulisivat pienemmän nykyiseen verrattuna. Vertailussa verrattiin kuitenkin ainoastaan molempien ratkaisujen komponenttien valmistus- ja hankintakustannuksista koostuvia kustannuksia, joten muut ratkaisuiden aiheuttamat kustannukset jäivät vielä tässä vaiheessa kysymysmerkiksi. Vertailu haluttiin suorittaa mahdollisimman kriittisellä näkökulmalla, ja sen takia esimerkiksi uuden ratkaisun kustannuslaskennassa kaikkien massaputkien pituutena käytettiin layouttien maksimipituutta. Pitkien putkien koneistus on noin kaksi kertaa kalliimpaa kuin lyhyiden normaaliin sorviin mahtuvien putkien koneistus on, joten layoutista riippuen massaputkien kustannusarvo saattaisi olla pienempi kuin vertailussa käytetty arvo

on. Tätä varten työssä tehtiinkin laskuri, joka laskee massaputkien kustannukset putkien tarvittavan määrän sekä ilmoitettujen pituuksien perusteella.

Kustannuksia selvitettäessä massaputkien hintaa tai koneistusta ei alettu vielä kilpailuttamaan, sillä konseptivaiheessa tavoitteena oli saada suuntaa antava vertailu. Tarjoukset pyydettiin yrityksiltä, jotka ovat toimineet myös aikaisemmin yhteistyössä Valmetin kanssa, joten kustannusten tulisi olla lähellä lopullisia kustannuksia. Jos Valmet päättää tulevaisuudessa viedä konseptin tuotantoon, tulevat kustannukset todennäköisesti vielä hieman pienenemään kilpailutuksen ja optimoinnin seurauksena.

Tutkimuksen luotettavuus perustuu olemassa olevan tiedon luotettavuuteen sekä uuden tiedon kriittiseen tarkasteluun. Lopullisen ratkaisun rakenteessa voidaan mm, nojata suurelta osin aikaisemmin käytettyyn prototyyppiin ja siitä saatuihin käyttökokemuksiin. Käyttökokemusten perusteella voidaan ilman laajempia tutkimuksia olettaa, että kiinnitystapa kestää siihen kohdistuvat rasitukset sekä on täysin vaatimukset täyttävä ratkaisu. Olemassa olevaa tietoa olivat suurilta osin myös kustannustehokkuusvertailussa selvitettyt komponenttien kustannustiedot. Kustannustiedot koostuivat aikaisemmin valmistuneiden projektien kustannuksista, jotka skaalattiin vastaamaan toisiaan. Skaalauksen takia komponenttien kustannukset voivat todellisuudessa vaihdella hieman, mutta virhemarginaalin katsottiin olevan riittävä suuntaa antavan vertailun toteuttamiseksi. Uutta tietoa kustannusten kannalta olivat massaputkien kustannukset, jotka perustuivat yritysten tekemiin tarjouksiin. Aikaisemmin selitettyjen syiden perusteella tarjouksia voidaan tässä tapauksessa pitää luotettavana pohjana massaputkien kustannuksille.

Tutkimuksen luotettavuuden varmistumiseksi olisi uudesta ratkaisusta hyvä valmistaa prototyyppi, jota testattaisiin koekoneella. Uuden prototyypin perusteella voitaisiin helposti todeta ratkaisun toimivuus sekä lopulliset valmistukseen ja asennukseen kuluvat kustannukset. Prototyypin valmistus sekä lopullisten kustannusten tutkiminen ja optimointi voisivatkin olla tämän tutkimuksen jatkotutkimuskohteita. Toimeksiantajaa kiinnostava jatkotutkimuskohde on myös olla idean mahdollinen hyödyntäminen vain osittain esimerkiksi yhden massakerroksen tai aqua-kerroksen osalta.

Tutkimuksessa päästiin asetettuihin tavoitteisiin sekä pystyttiin vastaamaan alussa määritettyihin tutkimuskysymyksiin. Tutkimukselle saatiin myös mietittyä tulevaisuuden jatkokehityskohteita, jotka ovat kiinnostavia toimeksiantajan kannalta. Valmet sai tutkimuksesta uutta tietoa, valmiin konseptin ja malli-layoutin, kustannustehokkuuslaskurin, uusia ideoita, ratkaisuja aikaisempien ideoiden ongelmiin sekä uusia mahdollisia yhteistyökumppaneita. Lopullisen arvioinnin tutkimuksen lopputuloksesta sekä luotettavuudesta tulee kuitenkin tekemään Valmet. Arviointi tulee tapahtumaan opinnäytetyön päättämisen jälkeen, joten sitä ei voitu sisällyttää tähän työhön.

## 9 Lähteet

Dynasylan. N.d. Crosslinking of Polyethylene. Artikkelit Dynasylanin verkkosivuilla. Viitattu 11.2.2019.

<https://www.dynasylan.com/product/dynasylan/downloads/dynasylan-crosslinking-of-polyethylene-en.pdf>

Feitzinger, E., & Lee, H.L. 1997. Mass customization at Hewlett-Packard: The power of postponement. Harvard Business Review. Viitattu 25.1.2019.

<https://hbr.org/1997/01/mass-customization-at-hewlett-packard-the-power-of-postponement>

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2013. Tutki ja kirjoita. 15 p. Porvoo: Bookwell.

Holik, H., 2006. Handbook of Paper. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.

Höttölä-Otto, K. 2005. Modular product platform design. Väitöskirja. Helsingin teknillinen yliopisto. Konesuunnittelun tutkinto-ohjelma. Viitattu 4.2.2019.

Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas.

KnowPap v19.0. N.d. Paperin valmistus. Verkkotietokanta VTT. Saatavissa: Valmet Technologies Oy Intranet. Viitattu 22.1.2019.

Laakko, L. 2018. Valmistusosaluettelon muodostaminen modulaariselle tuotteelle. Diplomityö. Oulun yliopisto. Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Viitattu 23.1.2019

Lappalainen, T. 2012. Polymeerimateriaalin käyttöönotto perälaatikossa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Viitattu 21.1.2019.

Lappi, J. 2019. Development Manager. Valmet Technologies Oy. Perälaatikkoperehdytys ja haastattelu. Viitattu 13.2.2019.

Martio, A., 2015. Tuotekonfigurointi ja tuotetiedonhallinta. Kurikka: Kirjapaino Book-cover Oy.

Plastics Pipe Institute. 2013. crosslinked Polyethylene (PEX) Pipe & Tubing TN-17/2013. Verkkojulkaisu. Viitattu 13.2.2019.

[https://plasticpipe.org/pdf/tn-17\\_crosslinked\\_polyethylene\\_pex.pdf](https://plasticpipe.org/pdf/tn-17_crosslinked_polyethylene_pex.pdf)

Plastics Pipe Institute. N.d. Crosslinked Polyethylene (PEX). Artikkele Plastics Pipe Institutten verkkosivuilla. Viitattu 13.2.2019.

<https://plasticpipe.org/building-construction/bcd-pex.html>

Simpson, T.W. 2004. Product platform design and customization: Status and promise. Artikkele Engineering Design julkaisussa.

<https://pdfs.semanticscholar.org/9e22/86da5ac2f3f66dbd6710c9b4fa2719ace948.pdf>

Sawhney, M. S. 1998. Leveraged high-variety strategies: from portfolio thinking to platform thinking. Academy of Marketing Science- lehti, 26(1). Viitattu 25.1.2019.

[https://www.academia.edu/24515435/Leveraged\\_High-Variety\\_Strategies\\_From\\_Portfolio\\_Thinking\\_to\\_Platform\\_Thinking](https://www.academia.edu/24515435/Leveraged_High-Variety_Strategies_From_Portfolio_Thinking_to_Platform_Thinking)

Tampereen teknillinen yliopisto, Materiaaliopin laitos. 2005. Materiaalin rasiustyytit: Viruminen. Dokumentti Tampereen yliopiston verkkosivuilla. Viitattu. 14.3.2019.

[http://www.tut.fi/vmv/2005/vmv\\_2\\_1\\_4.php](http://www.tut.fi/vmv/2005/vmv_2_1_4.php).

Teknavi. 2015. Artikkele Tenkavin verkkosivuilla. Viitattu 11.3.2019.

<https://teknavi.fi/autot/toyotalta-mielenkiintoinen-vastaisku-vw-lle-voidaan-rakentaa-puolta-halvemmalla>.

Uponor. 2016. PEX 101: Class is in session. Artikkele Uponorin verkkosivuilla. Viitattu 14.3.2019.

<https://www.uponor-usa.com/pextalk/2016/08/04/pex-101-class-is-in-session.aspx>.

Uponor. N.d. Uponor PEX-putket ja niiden ominaisuudet. Tuotedokumentti Uponorin verkkosivuilta. Viitattu 27.2.2019.

<https://www.uponor.fi/-/media/country.../tap...pex/.../1010-pex-putket-10-2015.pdf>

Valmetin yleisesitys. 2017. Yleisesitys Valmetin verkkosivuilla. Viitattu 16.1.2019.

[https://www.valmet.com/globalassets/about-us/valmet-in-brief/general-presentation\\_2017\\_10\\_fin\\_final.pdf](https://www.valmet.com/globalassets/about-us/valmet-in-brief/general-presentation_2017_10_fin_final.pdf)

Valmetin toiminnot suomessa. 2017. Yleisesitys Valmetin verkkosivuilla. Viitattu 16.1.2019.

<https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-suomessa/>

ValuAtlas. N.d. Polyeteeni (PE). Dokumentti valuatlaksen verkkosivuilla. Viitattu 16.2.2019.

[http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/plastics\\_PE\\_FI.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/plastics_PE_FI.pdf)

Vilkka, H. 2015. Tutki ja kehitä. 4. uud. p. Juva: Bookwell.



## 10 Liitteet

Liite 1. Vaatimuslista

**Poistettu julkisesta versiosta**

Liite 2. Kiinnitystavan ideat sekä niiden luonnokset

**Poistettu julkisesta versiosta**

Poistettu julkisesta versiosta

Poistettu julkisesta versiosta

Poistettu julkisesta versiosta

Liite 3. Ideoiden pistearviointitaulukko

**Poistettu julkisesta versiosta**

Liite 4. Esimerkkitapauksen perälaatikon malli.

**Poistettu julkisesta versiosta**

Liite 5. Nykyisen ja uuden ratkaisun layoutit ja niiden eroavaisuudet.

**Poistettu julkisesta versiosta**



Liite 6. Lopullisen ratkaisun massaputkien kiinnityisperiaate

**Poistettu julkisesta versiosta**

Liite 7. Taulukko komponenttien kustannustiedoista.

**Poistettu julkisesta versiosta**

Liite 8. Kustannustehokkuusvertailun tulos.

**Poistettu julkisesta versiosta**