



Esipuristimen konseptikehitys paperi- ja kartonkikoneen viiraosalle

Sonja Taskinen

Opinnäytetyö

Syyskuu 2023

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), Konetekniikka

Sonja Taskinen

Esipuristimen konseptikehitys paperi- ja kartonkikoneen viiraosalle

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Syyskuu 2023, 83 sivua.

Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyö toteutettiin toimeksiantona Valmet Technologies Oy:lle. Työ toteutettiin kehittämistutkimuksena tuotekehitysprojektin tueksi viiraosan energiatehokkuuden parantamiseksi. Tavoitteena oli kehittää toimintaperiaate esipuristinlaitteistolle, jonka avulla paperirataa voidaan puristaa jo viiraosalla. Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää ratkaisu kuiva-ainepitoisuuden merkittävään nostoon sekä aiempien laitteistojen testauksessa havaittuihin prosessin haasteisiin. Opinnäytetyön tarkoituksen oli tehdä perusteellinen lähtöselvitys sekä kehitysehdotus esipuristimen toimintaperiaatteesta.

Opinnäytetyön toteutuksessa hyödynnettiin laadullisia tutkimusmenetelmiä sekä Cooperin Stage-Gate tuotekehitysmallia. Aineiston keruu pohjautui suureksi osaksi teemahaastatteluihin, ja ideoita tuotettiin aivo-riihi-ideointimenetelmän avulla. Työn aluksi määritettiin tutkimuskysymykset, laadittiin vaatimuslista sekä perehdyttiin prosessissa aiemmin ilmenneisiin haasteisiin. Opinnäytetyölle laadittu suunnitelma työn laajuudesta rajautui karkean layoutin suunnitteluun.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi seitsemän eri konseptia, joista potentiaalisin valittiin jatkokehitykseen. Tuloksena esitettiin konseptin pääkomponentit. Tulokset perustuivat asiantuntijoiden haastatteluihin, ja tuloksissa otettiin huomioon paperiprosessin kannalta tärkeät asiat. Tuloksia tullaan hyödyntämään Valmetin tuotekehitysprojektissa.

Johtopäätöksenä konsepti on potentiaalinen viettäväksi jatkokehitykseen, mutta vaatii kriittistä tarkastelua, sillä työssä ei ollut mahdollista ottaa huomioon kaikkia paperiprosessiin vaikuttavia tekijöitä. Tuotekehitysprojektin menestymisen pohjana on tiivis vuoropuhelu paperiprosessitekniikan sekä konetekniikan välillä.

Avainsanat (asiasanat)

Tuotekehitys, case-tutkimus, tapaustutkimus, ideointi, kuormitus, paperikoneet, telat, huopa, puristus, paine

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Julkisuuslain 621/1999 24§, kohdan 21 salassapitoperusteen mukaan liitteet 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 ja 18 on poistettu julkisesta käytöstä teknologista taikka muuta kehittämistyötä ja niiden arviointia koskevien tietojen perusteella. Liitteiden salassapitoaika on kymmenen (10) vuotta työn julkaisusta.

Taskinen Sonja

Prepressing concept development for the forming section of the paper and board machine

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, September 2023, 83 pages.

Degree Programme in Mechanical Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The thesis was commissioned by Valmet Technologies Oy. The work was carried out as a development study to support a product development project to improve the energy efficiency of the forming section. The main goal was to develop an operating principle for the pre-press equipment, which can be used to compress the paper web already at the forming section. The starting point of the thesis was to find a solution to significant increase of the dry matter content and the challenges of the process observed with the previous equipment. The purpose of the thesis was to make a thorough baseline study and a development proposal for the operating principle of the pre-presser.

The thesis was carried out using qualitative research methods and Cooper's Stage Gate product development model. Data collection was largely based on thematic interviews, and ideas were generated through brainstorming meetings. The work started by defining the research questions, drawing up a list of requirements and reviewing the challenges encountered earlier in the process. The scope of the thesis was limited to the design of a rough layout.

The thesis resulted in seven different concepts, of which the most potential was selected for further development. As a result, the main components of the concept were presented. The results were based on interviews with experts and considered the issues relevant to the paper process. The results will be used in Valmet's product development project.

In conclusion, the concept has potential for further development, but requires critical examination, as it was not possible to consider all the factors affecting the paper process.

The success of the product development project is based on a close dialogue between paper process engineering and mechanical engineering.

Keywords/tags (subjects)

Product development, case study, brainstorming, stress, paper machines, rollers, felt, press force, pressure

Miscellaneous (Confidential information)

Appendices 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 and 18 are confidential and removed from the public work. As a base for the secrecy is 24§ section 21 of the Act on the Openness of Government Activities (621/1999), information concerning technological or other development work and evaluation. The confidentiality period is ten (10) years from the date of publication.

Sisältö

Johdanto	8
1.1 Toimeksiantaja	9
1.2 Tutkimusongelma	9
1.3 Työn rajaus	10
2 Tutkimusasetelma	11
2.1 Tutkimuskysymykset.....	11
2.2 Tapaustutkimus	12
2.2.1 Työvaiheet.....	12
2.2.2 Tapausten valinta	13
2.2.3 Tutkimuskysymysten määrittely	13
2.2.4 Tutkimusasetelman valinta.....	13
2.3 Tutkimus- ja analyysimenetelmät	14
3 Tietoperusta	15
3.1 Paperin valmistuksen vedenpoistoteoria	15
3.2 Esipuristimen toimintaperiaatteen rajaus	16
3.3 Rainanmuodostus perälaatikolta viiraosalle.....	17
3.4 Puristinosa.....	18
3.4.1 Puristinnippi	20
3.4.2 Puristimen kenkä.....	21
3.4.3 Ei-toivotut ilmiöt paperiprosessissa	22
3.5 Puristinosalla käytettävä laitteisto	23
3.5.1 Kenkätela	24
3.5.2 Visco Nip	25
3.5.3 Imutela.....	26
3.5.4 Höyrylaatikko	26
3.6 Fysikaalinen lähestymistapa	28
3.7 Tuotekehitys.....	29
3.7.1 Tuotekehitysprosessin vaiheet, Ulrich, Eppinger & Yang.....	30
3.7.2 Stage-Gate-tuotekehitysmalli	34
3.7.3 Tuotekehitys Valmetilla	36
3.7.4 Tuotekehitysprosessin rajaus opinnäytetyössä	38
3.8 Aivoriihi	38
3.8.1 Aivoriihen valmistelu	38
3.8.2 Ideointimenetelmän läpivienti.....	39

3.9	Vaatimuslista	40
3.10	Teemahaastattelu.....	40
3.11	Lähteiden luotettavuuden arviointi.....	41
4	Työn toteutus	42
4.1	Kilpailijaselvitys.....	42
4.2	Vaatimuslistan laatiminen	42
4.3	Tapauksen ymmärtäminen	42
4.4	Tietoperustan rakentaminen	43
4.5	Ideointivaiheesta Stage 2:lle	43
4.6	Aivoriihen organisointi.....	46
4.7	Konseptien rakentaminen ja analysointi	47
5	Tulokset	49
5.1	Työssä selvitettyt asiat	50
5.2	Selvittämättä jääneet asiat	51
5.3	Tulosten peilaaminen vaatimuslistaan.....	51
5.4	Konseptin edut ja haasteet	52
5.5	Konseptin kehittäminen.....	52
5.6	Muut jatkokehitystoimenpiteet	54
6	Yhteenveto	55
7	Pohdinta	56
7.1	Tulosten ja tietopohjan välinen vuoropuhelu.....	56
7.2	Oman työskentelyn arviointi.....	57
7.3	Tulosten luotettavuus.....	58
7.4	Työn eettisyys.....	59
8	Loppusanat	60
	Lähteet	61
	Liitteet	66
	Liite 1. Tavoiteltu painekäyrä (salassa pidettävä).....	66
	Liite 2. Vaatimuslista (salassa pidettävä).....	67
	Liite 3. Palaverimuistio aivoriihipalaverista.....	68
	Liite 4. Idea numero 8 (salassa pidettävä).....	69
	Liite 5. Idea numero 3 (salassa pidettävä).....	70
	Liite 6. Idea numero 12 (salassa pidettävä).....	71
	Liite 7. Idea numero 4 (salassa pidettävä).....	72

Liite 8. Ideoiden analysointi.....	73
Liite 9. Konsepti-idea 1 (salassa pidettävä).....	74
Liite 10. Konsepti-idea 2 (salassa pidettävä).....	75
Liite 11. Konsepti-idea 3 (salassa pidettävä).....	76
Liite 12. Konsepti-idea 4 (salassa pidettävä).....	77
Liite 13. Konsepti-idea 5 (salassa pidettävä).....	78
Liite 14. Konsepti-idea 6 (salassa pidettävä).....	79
Liite 15. Konsepti-idea 7 (salassa pidettävä).....	80
Liite 16. Työn eteneminen Stage-Gate -mallin mukaan.....	81
Liite 17. Luonnosteluprosessin eteneminen.....	82
Liite 18. Toimintaperiaatteen testaus (salassa pidettävä).....	83

Kuviot

Kuvio 1. Paperinvalmistusprosessi (Mercangoz & Doyle, 2006).....	16
Kuvio 2. Vedenpoisto rainasta viiraosalla (Viiraosan vedenpoisto. N.d).....	18
Kuvio 3. Radan puristaminen teloilla (Ahonen & Cecchini, n.d., b, 9).....	19
Kuvio 4. Nelinippinen puristinosa. (Kartonkikoneen puristinosa – yleistä, 2023.).....	19
Kuvio 5. Vedenpoistumisen ja KAP:n muutokset nipissä. (Märkäpuristus, 2023.).....	20
Kuvio 6. Vedenpoisto puristinnipissä. (Ahonen & Cecchini, n.d., b, 5).....	21
Kuvio 7. Kengän rakenne (Ahonen & Cecchini, n.d., b, 17, muokattu).....	22
Kuvio 8. Telan vaipan porauskuvionti (Nippirakenteet, 2023).....	24
Kuvio 9. Belttitelan rakenne (Telatyypit ja rakenteet, 2023).....	25
Kuvio 10. Visco Nipin rakenne. (Visco Nip, 2017.).....	25
Kuvio 11. Höyrylaatikon rakenne. (Höyrylaatikko, 2023.).....	27
Kuvio 12. Höyrylaatikon sijoittelu puristinosalla. (Höyrylaatikko, 2023).....	28
Kuvio 13. Viivakuorma (Valtanen 2022, 366).....	29
Kuvio 14. Tuotekehitysprosessin vaiheet (Ulrich ym. 2020, 39).....	31
Kuvio 15. Tuotekehitysprosessin alkuvaiheet (Ulrich ym. 2020, 16).....	31
Kuvio 16. Luonnosteluprosessin eteneminen (Hietikko 2015, 103).....	32
Kuvio 17. Tuotekehitysprosessin sitomat resurssit prosessin edetessä. (Cooper 2011, 99).....	34
Kuvio 18. Stage-Gate-mallin vaiheet. (Cooper 2011, 101).....	35
Kuvio 19. Tuotekehitysprosessin kuvaus Valmetilla (Pynnönen, 2023).....	37
Kuvio 20. Lämmittelykierroksella käytetty kappale.....	46
Kuvio 21. Jäännösriskien ilmoittaminen varoituskylltien avulla. (Varo puristumisvaaraa, n.d.).....	54

Taulukot

Taulukko 1. Ideoiden karkea seulonta.	44
Taulukko 2. Konseptien yksityiskohtainen arviointi.	49

Johdanto

Valmetin Rautpohjan yksikössä Wet Endin tuotekehitysorganisaatiossa on vuosikymmenien ajan kehitetty ja testattu esipuristusmenetelmää, jossa paperiradan kuiva-ainepitoisuutta (KAP) on yritetty nostaa merkittävästi puristamalla jo viiraosalla. Kaikissa testeissä lopputuloksena on ollut radan kuraantumisen eli hajoamisen. Vasta viime aikoina on tehty oivallus siitä, mikä esipuristuskokeissa epäonnistui ja miksi rata kuraantui. Testien analysoinnin perusteella selvisi, että vedenpoistokapasiteetti ei ole ollut riittävä ja että puristusalueen pituus on ollut liian lyhyt, jolloin rata on kohdistunut liian voimakas yhtäkkinen pulssi. (Kaasalainen, n.d.)

Tätä työtä eteenpäin ajava voima pohjautuu edellä mainittuihin oivalluksiin. Työn tavoitteena on kehittää toimintaperiaate paperi- ja kartonkikoneelle kuiva-ainepitoisuuden (KAP) nostamiseksi merkittävästi nykyiseltä tasolta viiraosan jälkeen. Ratkaisun keskeisenä tavoitteena on löytää toimintaperiaate, jossa vedenpoistokapasiteetti on riittävä ja radan kuormitustapa mukailee tavoiteltua pehmeämpää painekäyrää (ks. Liite 1).

Toinen työtä eteenpäin ajava voima oli energiatehokkuus. 1970-luvulla tehdyn tutkimuksen mukaan saman vesimäärän poisto paperiradasta maksaa puristamalla 67 kertaa ja haihduttamalla 325 kertaa enemmän kuin viiraosalla (Kartonkikoneet 1997, 83). Tutkimus on suhteellisen vanha, mutta asian ydin on edelleen relevantti: viiraosalla veden poisto on edullisinta ja sen vuoksi kyseinen kehitystyö on merkittävä asia. Työn perimmäisenä tarkoituksena on palvella Valmetin arvoja ja edistää yrityksen energiatehokkaampaa toimintaa. Energian säästäminen ja kestävä kehitys kuuluvat vahvasti osaksi Valmetin strategiaa. (Liiketoimintamme edistää kestävää kehitystä, 2023.) Valmetin toimintaa ohjaavat Yhdistyneiden kansakuntien kestävän kehityksen tavoitteet. Yhtenä tavoitteista on kehittää muun muassa prosessiteknologian resurssitehokkuutta ja tuotantoprosessin vastuullisuutta. (Liiketoimintamme edistää kestävää kehitystä, 2023.) Työ on uutuusarvoltaan huipussaan, sillä asiaa lähdetään ensimmäistä kertaa tutkimaan oivallusten pohjalta. Lisäksi haasteen ratkaiseminen mahdollistaa Valmetilla aivan uuden ja energiatehokkaamman Wet End -teknologian.

1.1 Toimeksiantaja

Valmet Technologies Oy toimii markkinoiden johtajana prosessiteknologian, automaatoratkaisujen sekä palveluiden toimittajana sekä kehittäjänä sellu-, paperi- ja energiateollisuudelle. Valmetin visiona on olla maailman paras asiakaspalvelun tuottaja. Valmet työllistää 17 500 henkilöä ympäri maailmaa. (Valmet lyhyesti, n.d.) Muita toimialoja, joihin Valmet tarjoaa ratkaisuja ovat kaivos-, kemian-, elintarvike-, bioteknologia-, öljy-, kaasus- sekä lääketieteellisyys. Muille toimialoille tarjottavia tuotteita ovat muun muassa suodatinkankaat, tiivisteet sekä tekniset tekstiilit. (Muut toimialat, n.d.)

Yrityksen rakenne muodostuu seuraavista toimialoista: tuotekehityksestä, koeajopalveluista, tuotannosta, automaatiosta, asiakaspalvelusta sekä teknologiasta, joihin kuuluvat energia, pehmopaperi, kartonki ja paperi sekä sellu ja kuitu. Valmetin tuotteisiin kuuluvat konetoimitusten lisäksi myös asiakkaiden tukeminen suunnittelussa, toteutuksessa, asennuksessa sekä koulutuksessa. Palveluiden tehtävänä on varmistaa tehtaan toiminta sen koko elinkaaren ajan. (Valmetin toimialat. N.d.)

Liiketoiminta on jaettu viiteen eri alueeseen: palveluihin, virtauksensäätöön, automaatiojärjestelmiin, selluun ja energiaan sekä paperiin. Liiketoiminta on jaettu maantieteellisesti viiteen alueeseen: Pohjois-Amerikka, Etelä-Amerikka, EMEA, Kiina sekä Aasia ja Tyynenmeren alue. Kukin alue vastaa omalla alueellaan myynnistä, palvelujen tarjoamisesta asiakkaille sekä projektitoimitusten tukemisesta. (Valmet lyhyesti. N.d.)

1.2 Tutkimusongelma

Työn punaisena lankana oli tarkoitus lähteä kehittämään esipuristuksen toimintaperiaatetta, jolla paperi- ja kartonkikoneen kuiva-ainepitoisuutta saadaan nostettua merkittävästi nykyiseltä tasolta viiraosalla. Työssä tutkittiin, millä tekniikalla viiraosalla olevaa märempää rataa voidaan puristaa ilman, että se liian äkkinäisen puristamisen seurauksena hajoaa eli kuraa. Työn tarkoituksena oli selvittää, minkälaisen laitteiston avulla esipuristus voidaan mahdollistaa. Työssä ratkaisua kutsutaan esipuristimeksi. Esipuristamisella tähdätään kuiva-ainepitoisuuden nousuun ja sen myötä yhden puristinnipin poistamiseen puristinosalta.

Työn tarkoituksena oli tutkia olemassa olevia ratkaisuja ja niiden pohjalta kehittää uusi ratkaisu. Työn tuloksena syntyi toimintaperiaate, jonka pohjalta toimeksiantajan on tarkoitus jatkaa suunnittelutyötä ja toteuttaa prototyyppi koekoneelle testauksia varten. Työn on tarkoitus tukea meillä olevaa esipuristimen tuotekehitysprojektia.

Toimintaperiaatteen ratkaisun hahmottelu edellytti tutustumisen pääpiirteittäin vedenpoistoprosessiin niin viira- kuin puristinosalla. Sen lisäksi työssä perehdyttiin puristinosan toimintaperiaateeseen. Ongelman ytimen ymmärtämiseksi asiaa lähestyttiin työn aluksi teemahaastatteluiden ja kahvipöytäkeskusteluiden avulla. Näiden lisäksi perehdyttiin aikaisempien esipuristuskokeiden tuloksiin, mitkä asiat ovat onnistuneet ja missä on ollut haasteita. Tuloksien yksityiskohtia ei kuitenkaan sisällytetty työhön niiden salassapidettävyyden vuoksi. Työn läpiviemiseksi työkaluna käytettiin Cooperin Stage-Gate-tuotekehitysmallia.

1.3 Työn rajaus

Työ rajattiin käsittelemään mekaanista vedenpoistoa ja paperin valmistuksen peruseriaatteita. Todellisuudessa lopputuotteen laatuominaisuuksien kannalta uutta konseptia suunniteltaessa tulee ensisijaisesti huomioida lopputuotteen laatuominaisuuksiin vaikuttavat tekijät, mutta työlle varatun rajallisen ajan ja työn laajuuden puitteissa tuotekehitysprosessin läpiviemisessä ei keskitytty kyseisiin tekijöihin. Laatuominaisuuksiin vaikuttavien tekijöiden rajaus tehtiin myös sen vuoksi, että niitä ei voida täysin tietää ennen ensimmäisen prototyypin testausta ja tulosten analysointia. Prototyypin nimenomainen tehtävä on testata näitä laatuominaisuuksia. Prototyypin avulla on myös tarkoitus testata esipuristinkonseptin ajettavuutta eri koneen nopeuksilla ja massalajeilla. Jotta työ ei ylittäisi sille annettua laajuusvaatimusta, työssä esitetään vain välttämättömät teoriat ja yksityiskohdat.

Konseptia kehitettäessä ei myöskään otettu kantaa eri paperi- ja kartonkilajien valmistamiseen liittyviin erityispiirteisiin, vaan ratkaisusta kehitettiin yleispätevä malli. Työssä kehitettiin ja vertailtiin muutamia konsepteja, joiden pohjalta esitettiin potentiaalisin vaihtoehto jatkokehitykseen. Työ painottui huolelliseen pohjatyön tekoon, ideoiden tuottamiseen sekä ideoiden arviointiin. Työ rajattiin ulottuvan karkeaan layout-suunnitteluun, ja varsinainen detaljisuunnittelu rajautui työn ulkopuolelle. Rajauksen tarkoituksena oli keskittyä toimintaperiaatteen luomiseen, jolloin työssä ei

keskitytty mitoittamaan esimerkiksi pääkomponentteja. Rajallisen ajan puitteissa työssä keskityttiin ratkaisemaan työn kannalta olennaiset haasteet, minkä vuoksi vaatimuslistalla mainitut toivomukset rajattiin työstä pois. Työn rajausta on tehty tarkemmin myös kolmannessa luvussa tietope- rustan yhteydessä.

2 Tutkimusasetelma

Työ oli luonteeltaan kehittämistyötä, jossa pyrittiin kehittämään uutta ratkaisua. Tämän vuoksi työssä käytettiin laadullista tutkimusta ja tarkemmin tapaustutkimusmenetelmää. Kehittämiskohde vaati alkuun huolellisen pohjatyön, jotta kohteesta saatiin mahdollisimman täydellinen kokonaiskuva ja läpileikkaus. Koska tutkimuskohteesta ei ollut kehitetty vielä toimivaa ratkaisua, tietoa tai vastauksia ei ollut saatavilla suoraan kirjoista tai opuksista. Aiemmista testeistä havaitut asiat ja tulokset oli ripoteltuna moniin eri lähteisiin, joista tietoa lähdettiin etsimään. Lähteinä toimi muun muassa sähköpostikeskustelut, yrityksen sisäiset tietokannat sekä teemahaastattelut.

Koska tapaustutkimus menetelmänä on ikään kuin lähestymisstrategia, soveltuu se hyvin lähtötilanteen kartoittamiseen sekä jatkotutkimuksia edeltävien hypoteesien luomiseen (Mannila, 2021). Menetelmä sopi tapaukseen erinomaisesti myös sen vuoksi, että tie ratkaisun luokse ei välttämättä etene suoraviivaisesti ja eri vaiheisiin voidaan palata useampaan otteeseen (Eriksson & Koistinen, 2005).

2.1 Tutkimuskysymykset

Työn päätutkimuskysymykseksi muodostui kysymys siitä, ”Miten rainan kuiva-ainepitoisuutta voidaan nostaa viiraosalla 10 %-yksikköä nykyisestä?”. Päätutkimuskysymyksen rinnalle syntyi myös tarkentavia tutkimuskysymyksiä, joiden avulla haluttiin saada selville, ”Mistä pääkomponenteista konsepti koostuu?”, ”Miten vedenpoistokapasiteetti huomioidaan ratkaisussa?” sekä ”Millä mekaanisella ratkaisulla haluttua painekäyrää (ks. liite 1) lähdetään tavoittelemaan?”.

2.2 Tapaustutkimus

Case eli tapaustutkimus on tutkimusstrategia, jonka avulla kehitys- ja tutkimustyö voidaan toteuttaa. Tapaustutkimukselle on tunnusomaista, että suoraviivaisen etenemisen sijaan prosessi muo-
vautuu ja tarkentuu työskentelyn myötä. Prosessille luonteenomaista on monivaiheisuus ja eri työ-
vaiheiden välillä voidaan palata edellisiin vaiheisiin useampaan otteeseen. Tämän tuloksena
tietoperustan sekä empiiristen löytöjen välille syntyy keskusteluyhteys, minkä seurauksen tutki-
muskysymysten muotoiluun voidaan joutua vielä palaamaan. (Eriksson & Koistinen, 2005.)

Tapaukselle tulee rakentaa vankka teoreettinen pohja kirjallisuuskatsauksella. Sen tarkoituksena
on tunnistaa aiheen kannalta keskeisiä käsitteitä ja teorioita, joiden pohjalta analyysia ja tulkintaa
tehdään. Tapaustutkimuksessa tiedonkeruu keskittyy yleensä laadullisten menetelmien käyttöön,
kuten henkilöhaastatteluihin, havainnointiin tai toissijaisten lähteiden, kuten valokuvien tai sano-
malehtiartikkeleiden analysointiin. (McComber, 2023.)

Tapaustutkimuksen tavoitteena ei ole tuottaa yleistettäviä tutkimustuloksia yksittäisten tapausten
pohjalta (Eriksson & Koistinen, 2005), vaan tavoitteena on tapauksen syvälinen tutkiminen ja tar-
kemman tiedon esittäminen tapauksesta (Tapaustutkimus, n.d.). Tutkittavaa asiaa on tarkoitus lä-
hestyä monelta eri kantilta eri tutkimusmenetelmien avulla (Mannila, 2021).

2.2.1 Työvaiheet

Tapaustutkimuksen käyttöön ei ole kirjoitettuna yhtä selkeää kaavaa, mutta jokaisessa tutkimuk-
sessa tulisi käydä läpi seuraavat vaiheet:

- Tutkimuskysymysten muotoilu ja keskeisten muuttujien määrittäminen kirjallisuuden avulla.
- Tutkimusasetelman jäsentäminen.
- Tapauksen valinta ja määrittely, eli aiheen huolellinen rajaus.
- Käsitteiden ja teoreettisten näkökulmien määrittely.
- Tutkimuskysymysten ja aineiston välisen yhteyden selvittäminen.
- Aineiston analysoinnin ja tulkinnan päättäminen.

(Eriksson & Koistinen, 2005).

2.2.2 Tapausten valinta

Tapaustutkimuksen tärkein vaihe on tapauksen määrittely. Valinnassa tulee kiinnittää huomiota siihen, että tapaus on jo lähtötilanteessa ainutlaatuinen sekä poikkeava. Lisäksi valintaa tehtäessä tulee pohtia, ”Mitä tapauksesta voidaan oppia?”. Tapauksen voi määrittellä joko ennen aineiston keruuta tai sen jälkeen. (Eriksson & Koistinen, 2005.) Tapaus voi muodostua yksittäisestä tai useammasta asiasta, kuten ilmiöistä tai prosesseista, joita on tarkoitus tutkia tarkemmin (Mannila, 2021). Tapaukseksi voidaan asettaa myös projektin kautta tavoiteltu muutos. Ennen tapauksen rajausta ilmiöön tulee perehtyä lähdekirjallisuuden avulla. Lopputulemana on tarkoitus saavuttaa tapauksesta luotettava kokonaiskuva eri aineistojen pohjalta. (Kallinen & Kinnunen, n.d.)

2.2.3 Tutkimuskysymysten määrittely

Tutkimuskysymysten määrittelyyn on tärkeä paneutua, sillä ne toimivat tutkimuksen runkona ohjaten koko prosessia. Huolella määritetyt kysymykset ohjaavat aineistonkeruuta, analyysien muodostamista sekä johtopäätöksiä. Huolimattomasti laaditut kysymykset vaikeuttavat merkittävästi prosessin etenemistä. (Eriksson & Koistinen, 2005.)

Tutkimuskysymyksiä on kahdenlaisia, informaatio- sekä asiakysymyksiä. Erona näiden kysymysten välillä on se, että kuka tahansa tutkimukseen osallistuva henkilö kykenee antamaan vastauksen informaatiokysymyksiin, kun taas asiakysymyksiin vastaus rakentuu tutkimuksen edetessä. Informaatiokysymykset eivät toimi tutkimuskysymyksinä, mutta niiden avulla voidaan kuvailla tapausta ja selvittää tapahtumaketjuja. Asiakysymysten avulla voidaan tutkia tapauksen luonnetta sekä selvittää siihen liittyviä ongelmia. Asiakysymykset ovat säilyttäneet ongelmakeskeisiä, minkä vuoksi niiden pohjalta voi muovautua uusia tutkimuskysymyksiä. (Eriksson & Koistinen, 2005.)

2.2.4 Tutkimusasetelman valinta

Tutkimusasetelma on kokonaisuus, jonka muodostavat tutkimusongelma, käytettävä empiirinen aineisto sekä analyysimenetelmät. Tutkimusasetelman valinnassa voidaan käyttää joko yhtä tai useampaa seuraavasta jaottelusta:

- Poikkileikkaustutkimus. Yksityiskohtainen tapauksen tarkastelu, joka rajataan tiettyyn ajankaksoon.
- Pitkittäistutkimus. Tarkasteltavan kohteen kehittymisen tutkiminen pidemmällä aikavälillä.
- Ennen ja jälkeen -tutkimus. Ilmiön tutkiminen kriittisen tapahtuman jakaman kahden eri ajankohdan välillä.
- Tilkkutäkkitutkimus. Tapauksen kokonaisvaltaisen käsityksen luominen yhdistämällä edellä mainittuja tutkimuksia.
- Vertaileva tutkimus. Useiden eri tapausten vertailu systemaattisesti kvalitatiivisten sekä kvantitatiivisten aineistojen pohjalta.

(Eriksson & Koistinen, 2005.)

2.3 Tutkimus- ja analyysimenetelmät

Vaikka tapauksen tutkiminen keskittyykin tapauksen ymmärtämiseen monelta eri kantilta, tutkimuksesta tulisi löytyä myös yhteys alan teoriaan. Näin tapaus ei jää irralliseksi, kun se on sidottu teoreettiseen viitekehukseensä. Tutkimuksessa voidaan esimerkiksi haastaa teoriaa tutkimalla poikkeavaa tapausta ja murtaa vakiintuneita oletuksia. (McComber, 2023.)

Analysoinnissa ja aineiston tulkitsemisessä voidaan hyödyntää esimerkiksi triangulaatiota tai etsiä aineistosta säännönmukaisuutta. Triangulaatiota käytetään tutkimuksen luotettavuuden edistämiseksi yhdistämällä aineistoa luokittelun, kategorisoinnin tai teemoittamisen avulla. Tapaustutkimuksessa tulee olla varovainen, ettei kerättyä aineistoa yksinkertaista liikaa erillisiksi tekijöiksi tai irrota sitä kontekstistaan. (Eriksson & Koistinen 2005.) Tapaustutkimuksesta saadun aineiston tulkitsemisessä ei pyritä aineiston yleistämiseen, vaan tutkintaan ja analysointiin etsimällä aineistosta poikkeavuuksia tutkimusympäristön kontekstissa (Mannila, 2021).

3 Tietoperusta

Työn tähtäimessä oli energian säästäminen veden poiston tehostamisen avulla. Tavoitteen saavuttamiseksi, tuli ensin ymmärtää paperinvalmistuksen peruseriaatteet, jotta tietoperustasta saatiin riittävän laaja yhtenäinen kokonaisuus. Paperin valmistuksessa yksittäisiä prosessin vaiheita ei tule liikaa erottaa toisistaan muun muassa koneen ajettavuusominaisuuksien kannalta (Paperiprosessin asiantuntija 1, 2023).

Työn tietoperusta muodostuu paperiprosessin perusteista rajauksen puitteissa sekä tuotekehitystoiminnan esittelystä yleisellä tasolla sekä Valmetilla. Työn selkeyttämiseksi työssä käytetään lopputuotteelle termiä ”paperi”, vaikka kyseistä laitetta suunnitellaan paperi- ja kartonkikoneille. Työn sisällön kannalta ei ole merkityksellistä, käytetäänkö lopputuotteesta termiä ”kartonki” vai ”paperi”.

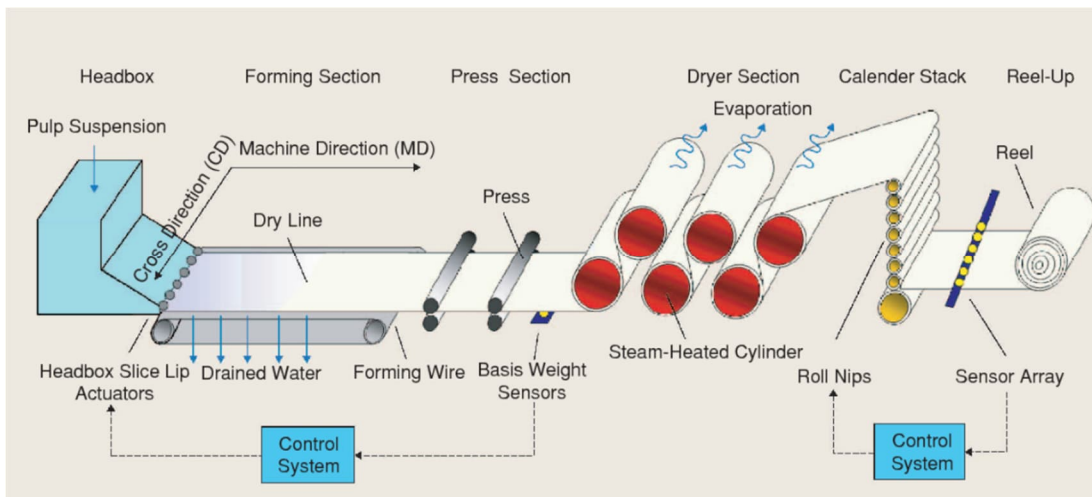
Tietoperustan rakentamisessa käytettiin lähteinä kirjallisuutta, verkkolähteitä, yrityksen sisäisiä tietokantoja, teemahaastatteluita sekä kahvipöytäkeskusteluja. Kirjallisuuden ja verkkolähteiden osalta käytettiin tuoreimpia lähteitä. Teemahaastatteluiden pohjalta koottua tietoperustaa voidaan pitää luotettavana, sillä haastateltavien työsuhde Valmetilla on pitkä ja haastateltavat olivat hyvin motivoituneita ja kiinnostuneita aiheesta.

Tärkeimpiä aiheita ja tutkittavia ilmiöitä olivat radan muodostuminen viiraosalla, radan puristaminen sekä radan kuraaminen puristettaessa. Tarkoitus oli selvittää, miten vettä poistetaan radasta eri koneen osissa, sillä veden poistuminen radasta on paperikoneen yksi tärkeimmistä tehtävistä (Paperin ja kartongin valmistus – tiivistelmä, 2023). Näiden lisäksi tarkasteltiin radan KAP:n muutosta prosessin edetessä. Rajaukseen kuului radan eteneminen perälaatikolta puristinosalle.

3.1 Paperin valmistuksen vedenpoistoteoria

Paperin valmistamisen punainen lanka on veden poistaminen. Vedenpoisto radasta tapahtuu suoutumalla, puristamalla sekä haihduttamalla (Paperin ja kartongin valmistus – tiivistelmä, 2023). Vedenpoisto alkaa viiraosalta (ks. kuviossa 1 Forming Section). Perälaatikolta (ks. kuviossa 1 Headbox) syötettävästä massasulpusta vettä poistuu viiraosalla alipaineen sekä maan veto- ja keskipakovoiman avulla (Paperin ja kartongin valmistus – tiivistelmä, 2023; Kartonkikoneet 1997, 83).

Massasulpulla tarkoitetaan paperin ja kartongin raaka-aineseosta, joka koostuu kuiduista ja vedestä. **Kuiva-ainepitoisuudella** tarkoitetaan ”kuivan näytteen massan suhdetta (%) alkuperäisen näytteen massaan” (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 273-274.) Kun rata on saavuttanut 20 %:n KAP:n, veden imeminen radasta alipaineen avulla muuttuu hankalaksi ja energiatehokkuuden kannalta kalliiksi. Tämän vuoksi rataa ryhdytään puristamaan. Puristinosalla (ks. kuviossa 1 Press Section) rataa puristetaan huopien sekä telojen välissä. Puristamisen energiatehokkuuden raja kulkee noin 50 %:n KAP:n tuntumassa, minkä jälkeen vedenpoisto on edullisempaa haihduttamalla. Teoriassa puristamalla ei ole mahdollista saavuttaa 100 %:n KAP:a, sillä radassa olevat kuidut eivät kestä määräänsä enempää puristamista. (Paperiprosessin asiantuntija 1, 2023.) Kuivaosalla (ks. kuviossa 1 Dryer Section) paperirataan tuodaan energiaa kontaktilla kuumiin sylintereihin, jolloin vesi haihtuu pois radasta (Paperin ja kartongin valmistus – tiivistelmä, 2023).



Kuvio 1. Paperinvalmistusprosessi (Mercangoz & Doyle, 2006).

3.2 Esipuristimen toimintaperiaatteen rajaus

Paperiprosessin käsittelyn osalta radan muodostus rajattiin perälaatikolta puristimelle. Radan muodostumista käsiteltiin vain mekaanisen vedenpoiston sekä KAP:n muutosten osalta. Ajan rajallisuuden vuoksi työssä ei keskitytty radan muodostusvaiheessa kuitujen orientoitumiseen tai lopputuotteen laatuominaisuuksiin, vaikka lopputuotteen laadun kannalta erityisesti viiraosalla on siinä hyvin tärkeä tehtävä (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 131). Pääpaino paperiprosessin vedenpoistoteoriassa oli radan puristamisessa, sillä työssä kehitettävä konsepti painottui radan

puristamiseen. Tämän vuoksi tietoperustassa esitetään puristinosan pääkomponentit ja niiden tehtävät.

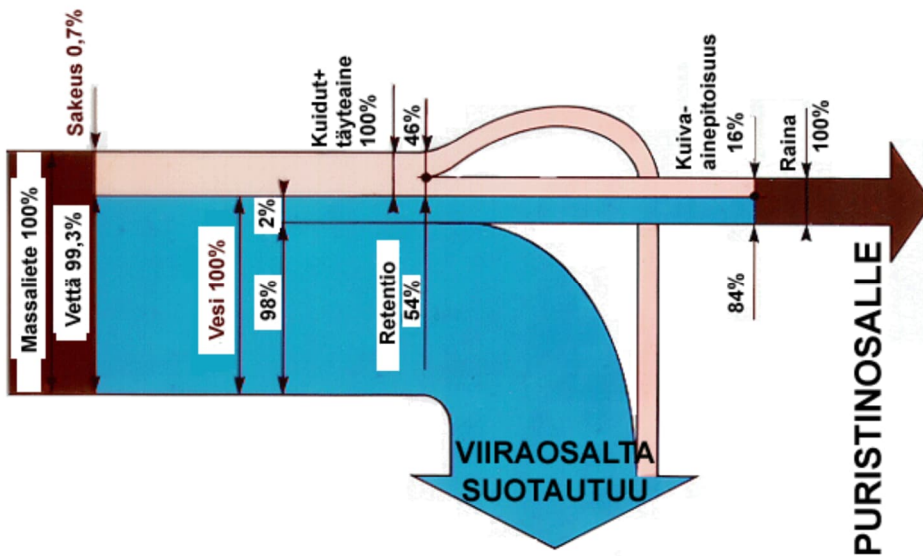
Esipuristinkonseptin suunnittelussa tähdättiin yleispätevän toimintamallin kehittämiseen, minkä vuoksi työssä keskityttiin konseptin kannalta vain keskeisimpien tekijöiden huomiointiin. Näitä tekijöitä olivat muun muassa vedenpoistokapasiteetin huomiointi, joustavan painekäyrän toteuttaminen, riittävän nipin pituuden toteuttaminen sekä laahaavien elementtien minimointi. Todellisuudessa puristamiseen vaikuttavia tekijöitä ovat koneen ajonopeus, kudostyytit, radan neliöpaino, massalaji, prosessin lämpötila, radan viipymäaika nipissä sekä massan käsittely (Koeajojen vetäjä 1, 2023; Häggblom-Ahnger & Komulainen 2003, 156–161). Rajaus tehtiin sen vuoksi, että työn tekemiseen varattu aika ei riittänyt perehtymään syvällisesti kaikkiin yksittäisiin paperiprosessiin vaikuttaviin tekijöihin.

3.3 Rainanmuodostus perälaatikolta viiraosalle

Rainanmuodostuksella tarkoitetaan perälaatikon syöttöputkien, perälaatikon sekä viiraosan muodostamaa kokonaisuutta koneen alkupuolella. **Perälaatikon** tehtävänä on poistaa virtausta aiheuttavia häiriöitä ja tuottaa massasulppuun oikeanlaista turbulenssia. Perälaatikolta massasulppu suihkutetaan viiralle 0,2-1,2 % sakeudessa. (Häggblom-Ahnger & Komulainen 2003, 131.) Lähteestä riippuen prosentit vaihtelevat hieman, sillä esimerkiksi Knowpaperin verkkomateriaalissa puhutaan 0,5-1,0 % sakeudesta (Yleistä rainanmuodostuksesta, 2023).

Viiralla tarkoitetaan kudosta, jonka tehtävä on toimia sihtinä vedenpoistossa ja kuljettaa muodostunut rata puristinosalle. Viiran läpi vettä imetään alipaineella massasulppusta. (Paulapuro 2007, 310.) Massasulpun sisältämästä vedestä suurin osa suodattuu viiran läpi, kuten kuvio 2 havainnollistaa. (Yleistä rainanmuodostuksesta, 2023).

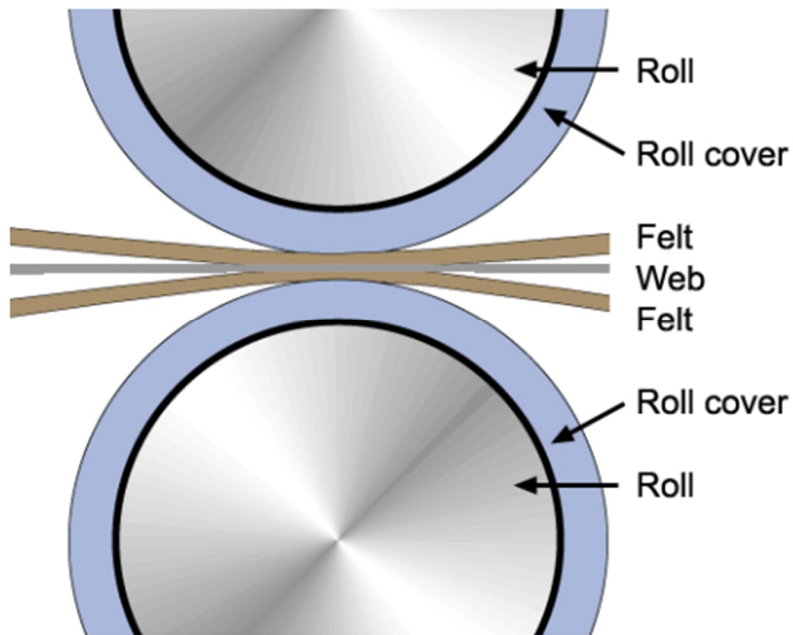
Eri lähteiden välillä viiraosan yhteydessä puhutaan paperirainasta ja -radasta, mutta molemmilla termeillä tarkoitetaan viiraosalla muodostuvaa paperia, jonka kuiva-ainepitoisuus (KAP) viiraosan päätteeksi on noin 15-20 % (Häggblom-Ahnger & Komulainen 2003, 155). Lähteestä riippuen KAP voi vaihdella 17-20 %:n (Paperin ja kartongin valmistus – tiivistelmä, 2023) ja 14-22 %:n (Ahonen & Cecchini n.d. a, 1) välillä. Viiraosa on rainanmuodostuksen viimeinen vaihe ennen puristinosaa. Viiraosalla vettä poistuu radasta 98 %. (Ahonen & Cecchini n.d. a, 1).



Kuvio 2. Vedenpoisto rainasta viiraosalla (Viiraosan vedenpoisto. N.d).

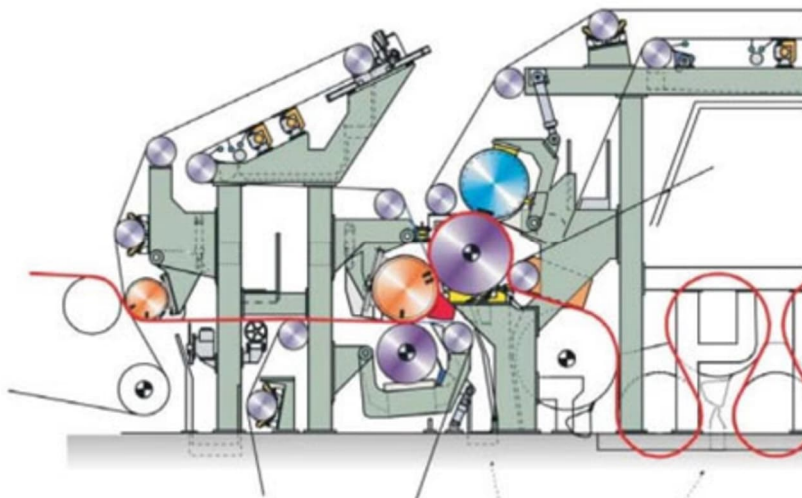
3.4 Puristinosaa

Rataa puristetaan puristinhuopien välissä joko kahden toisiaan vasten kuormitetun telan (ks. kuvio 3) tai kenkä-tela -parin avulla kuviossa 7 esitetyllä tavalla (Pulp and Paper/Board Basics, n.d.). Puristinnipissä muodostuvan hydraulisen paineen vaikutuksesta vesi poistuu radasta puristinhuovan huokosiin (Paulapuro 2007, 404). Vesi poistuu huovan kautta telan pinnalla oleviin uriin (Ahonen & Cecchini n.d. b, 3). Huovan tehtävänä on toimia joustavana ja vettä läpäisevänä tukena radalle. (Paulapuro 2007, 344-347).



Kuvio 3. Radan puristaminen teloilla (Ahonen & Cecchini, n.d., b, 9).

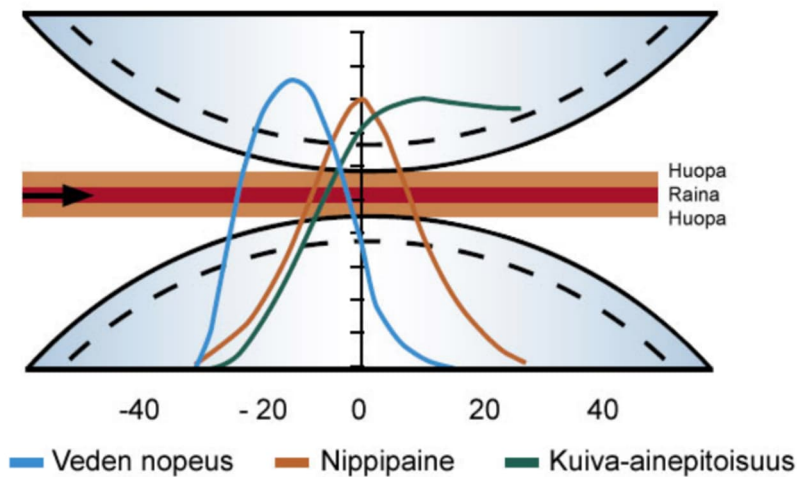
Puristinnippejä on tavallisesti 2-4 peräkkäin puristinosalla. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 155-156). Kuviossa 4 on esimerkki puristinosasta, joka on toteutettu neljällä nipillä.



Kuvio 4. Nelinippinen puristinosana. (Kartonkikoneen puristinosana – yleistä, 2023.)

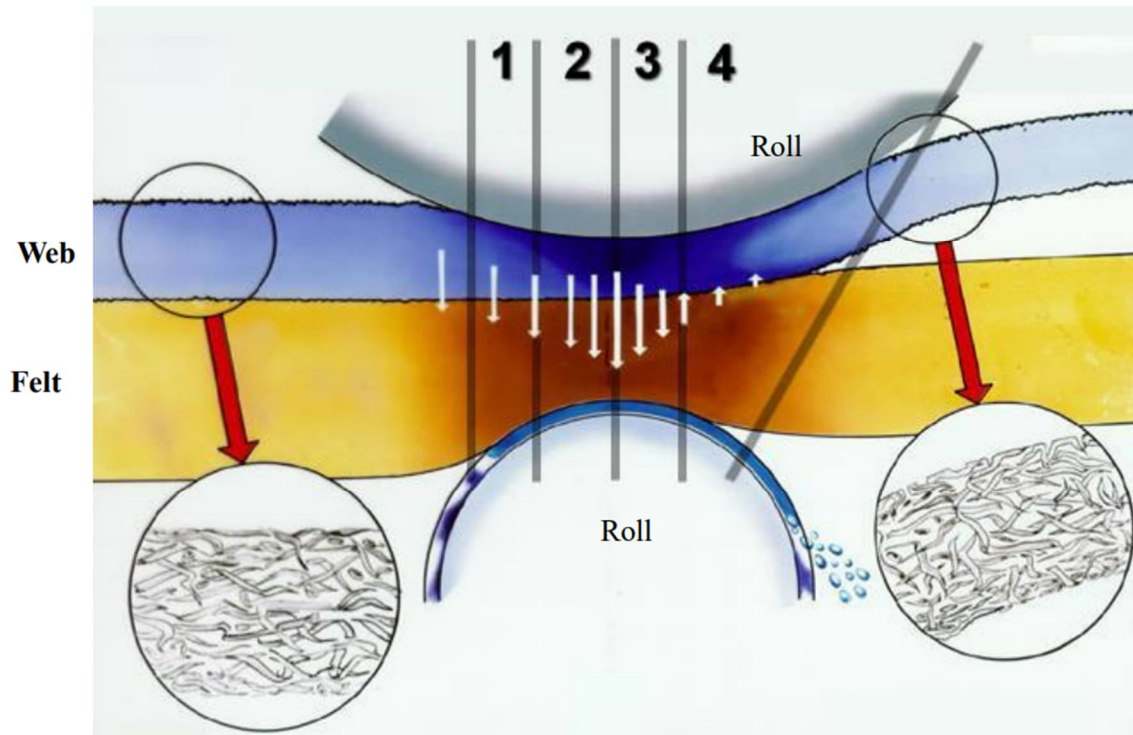
3.4.1 Puristinnippi

Nipillä (ks. kuvio 5) tarkoitetaan kuormitusaluetta, jossa rataa puristetaan (Ahonen & Cecchini n.d. b, 3). Radan viipymäaika nipissä on suoraan yhteydessä poistuvan veden määrään. Radan viipymäaikaan nipissä voidaan vaikuttaa koneen ajonopeudella sekä kengän pituudella. Tuotantokoneissa ajonopeutta ei yleensä muuteta, joten ainut vaihtoehto nipin viipymäajan pidentämiseksi on muuttaa nipin pituutta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 155-156.)



Kuvio 5. Vedenpoistumisen ja KAP:n muutokset nipissä. (Märkäpuristus, 2023.)

Paineen vaikutus alkaa kasvaa rainan edetessä sulkeutuvaan kitaan (ks. kuvio 6). Voimat välittyvät rataa huovan ja kuitujen välisten kimmoisten voimien avulla. Hydrauliset voimat poistavat radasta ensin ilmaa, minkä jälkeen voimat alkavat työntää vettä huopaan, jossa hydraulinen paine on pienempi. Huovasta vesi siirtyy telan pinnalla oleviin uriin. Kokonaispaine saavuttaa huippunsa ennen telojen geometrista keskikohtaa, minkä jälkeen paine alkaa laskea ja alkaa tapahtua radan jälleen kastumista. Tällöin puhutaan pesusieniefektistä, sillä rata alkaa imeä vettä itseensä kapillaarivoimien seurauksena (Paperiprosessin asiantuntija 1, 2023; Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 155-156.)

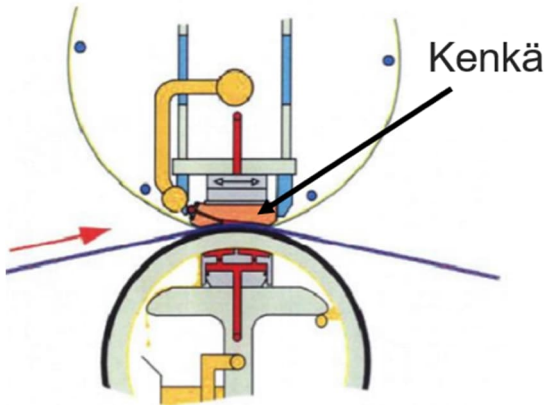


Kuvio 6. Vedenpoisto puristinnipissä. (Ahonen & Cecchini, n.d., b, 5).

Mitä enemmän vettä saadaan poistettua radasta ennen kuivatusosaa, sitä energiaystävällisempää paperin valmistuksesta tulee. On energiatehokkaampaa puristaa rataa 50 %:n kuiva-ainepitoisuu- teen asti, kuin haihduttaa siitä vettä pois (Paulapuro 2007, 404.) Puristimella yhden prosenttiyksikön KAP:n nousu tarkoittaa höyryn kulutuksen alenemaa 3-4 %:a kuivatusosalla (Paperin ja kartongin valmistus – tiivistelmä, 2023). Suuren KAP:n tason saavuttamisesta on myös etua ajettavuuden kannalta (Paperiprosessin asiantuntija 1, 2023). Veden poistamista puristamalla rajoittaa kuitenkin lopputuotteen laatuominaisuudet. Liiallinen puristaminen tuhoaa kuidun ominaisuuksia. (Rikkinen, 2023.) Puristinosan lopussa radan KAP-taso vaihtelee 35-55 %:n välillä (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 155; Paperin ja kartongin valmistus – tiivistelmä, 2023).

3.4.2 Puristimen kenkä

Kenkä on geometrialtaan kovera elementti, jota painatetaan kovaa telaa vasten (ks. kuvio 7). Kenkän etu tavallisen telanipin viivakuormaan verrattuna on 150-300 millimetrin pituinen puristus- alue. Kenkäpuristimen avulla saavutetaan 3-8 %-yksikköä suurempi KAP:n nousu kuin perinteisellä ratkaisulla. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 159-161.)



Kuvio 7. Kengän rakenne (Ahonen & Cecchini, n.d., b, 17, muokattu)

Tavallisen nipin kuormitus on viivakuorma (Paperin ja kartongin valmistus – tiivistelmä, 2023). Lisää viivakuorman määrittelystä kappaleessa 3.8. Kengästä puhuttaessa käytetään termiä ”pitkä nippi”, sillä viivakuorman sijasta rataa saadaan puristettua pidemmällä alueella, jolloin radan viipymäaika nipissä pitenee (Paulapuro 2007, 371). Kengän kulmaa eli tilttiä voidaan säätää uusimmissa versioissa, jonka ansiosta painekäyrän muotoa voidaan muuttaa koneen suunnassa (Paulapuro 2007, 371).

Kenkätelassa kuormitettu kenkärakenne pysyy paikoillaan. Telan vaipan muodostava hihna tai nahka on kiinnitetty pyöriin päätyelementteihin, jotka pyörivät kengän ympärillä. Kengän tehtävä on muodostaa puristusalue, ja vyöhykesäädettävän vastatelan tehtävä on tukea puristusta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 156-161.)

3.4.3 Ei-toivotut ilmiöt paperiprosessissa

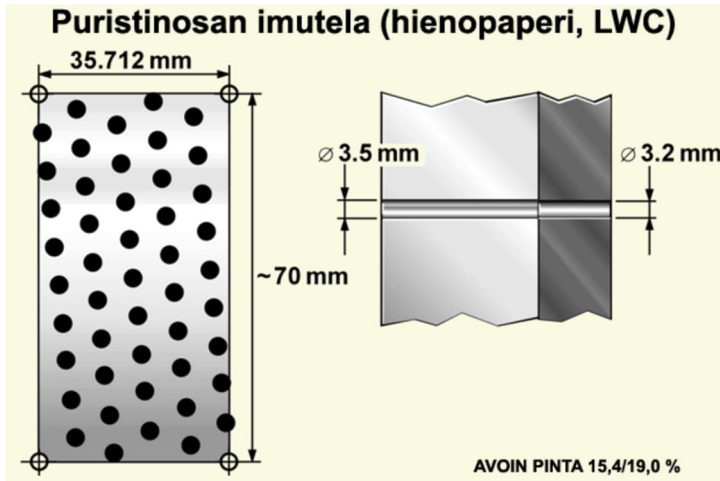
Tuotantonopeudet ovat kasvaneet vuosien saatossa, mikä on tuonut mukanaan haasteita vedenpoistoon. Suurten vesimäärien poistaminen on haasteellista kuraamisen vuoksi, sillä vedelle ei jää riittävästi aikaa poistua radasta, jolloin sen rakenne hajoaa (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 159-161.) **Kuraamisella** tarkoitetaan radan hajoamista liian voimakkaan ja yhtäkkisen puristuksen seurauksena. Kuraaminen aiheutuu siitä, että puristustapahtumassa poistuvalla vedelle ei

ole riittävästi tilaa poistua ja tämän seurauksena paperirata rikkoutuu. (Rikkinen, 2023.) Tähän ainoastaan tapa vaikuttaa on pidentää nipin pituutta käyttämällä suurempihalkaisijaisi teloja tai kenkää, minkä avulla voidaan pidentää radan viipymäaika nipissä (Paulapuro, 2007, 358; Rikkinen, 2023). Puristusajan ollessa pidempi, vedellä on enemmän aikaa poistua radasta, ja tällöin voidaan käyttää myös suurempia viivakuormia. Puristamiseen liittyviin haasteisiin liittyy myös markkeeraus. **Markkeeraus** tarkoittaa ei-toivottua lopputuotteessa näkyvää jälkeä, jonka kuormituselementit ja kudokset jättävät (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 156-157). **Pin holella** eli neularei'illä tarkoitetaan viiraosan alkuvaiheessa syntyviä pieniä reikiä, jotka aiheutuvat liian voimakkaan alipaineen käytöstä. Reiät vaikuttavat muun muassa paperin painettavuuteen. Viiraosan alkupuolella alipaineen suuruusluokka on noin 2-5 kPa ja viiraosan loppupuolella noin 50 kPa. Rata kestää kovempaa käsittelyä, kun kriittinen vaihe kuitujen orientaatioissa ja formaatioissa on saavutettu. (Paperiprosessin asiantuntija 1, 2023.)

3.5 Puristinosalla käytettävä laitteisto

Puristinosan keskiössä on teloilla muodostettavat telanipit. Nippi muodostuu telasta ja sen vastatelasta. Vastatelana voidaan käyttää esimerkiksi imu- tai uratelaa. (Tuotekehitysasiantuntija 1, 2023.)

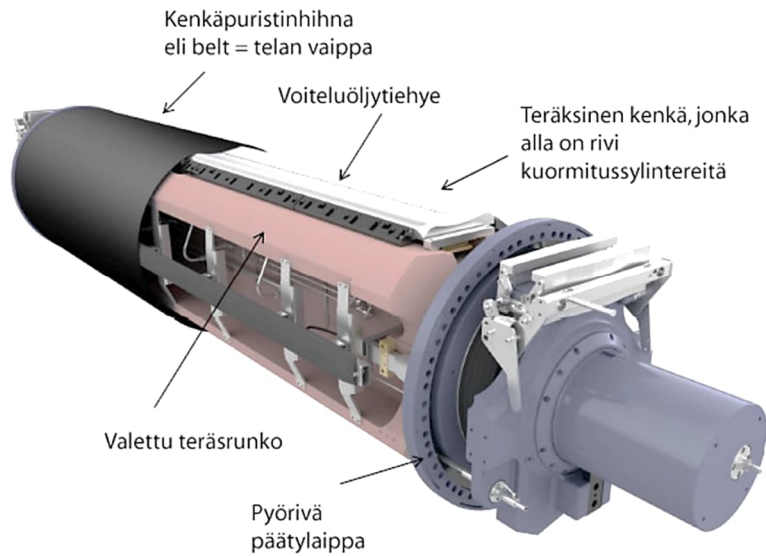
Telan vaipan kuviointi vaikuttaa merkittävästi vedenpoistoon ja radan laatuun. Uritettu vaippa parantaa veden poistoa, sillä sileä pintaiset telat eivät poista vettä. (Paulapuro 2007, 372.) Telan pinnalla voi olla myös sokeaporauksia (ks. kuvio 8) eli vaipan läpäisemättömiä koloja, joiden halkaisija on noin 2,5 mm ja syvyys 9-13 mm (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 156-157).



Kuvio 8. Telan vaipan porauskuvionti (Nippirakenteet, 2023)

3.5.1 Kenkätela

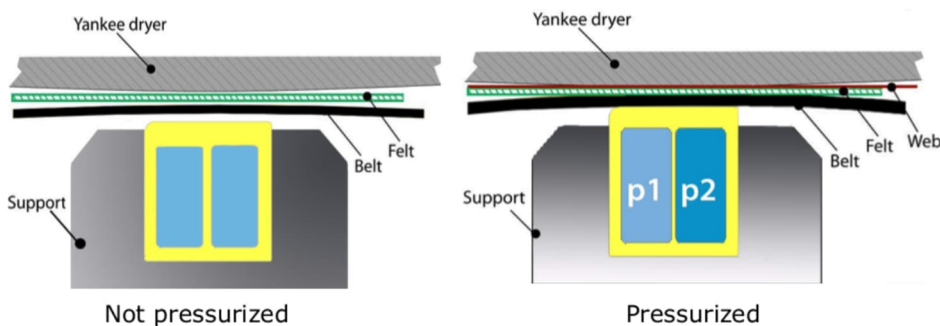
Kenkä- eli belttitelaa käytetään pitkän nippipuristusalueen saavuttamiseksi. Kuviossa 9 on esitettyä belttitelan rakenne. Beltin runko muodostuu paikallaan pysyvistä akselista, hydraulikuormituksesta kengästä sekä beltistä eli puristinhihnasta. Levyrakenteisen akselin ympäri pyörivä beltti on valetusta polyuretaanista valmistettu kudos, joka on kiinnitetty akselin päädyssä oleviin pyöriin päätylaippoihin. Beltin alla on kuormituskenkä, jota kuormitetaan hydraulisylintereiden avulla vastatelan vaippaa vasten. Kengän ja vaipan väliin johdetaan kapillaariporausten kautta öljykalvo, joka ottaa vastaan puristuksesta aiheutuvan kuorman. (Telatyyppit ja rakenteet, 2023.)



Kuvio 9. Belttitelan rakenne (Telatyypit ja rakenteet, 2023)

3.5.2 Visco Nip

Visco Nipillä (ks. kuvio 10) tarkoitetaan nesteen paineella säädettävä kuormituselementti, joka mukautuu vastatelaan vasten. Nippialue on jaettu kammioihin, ja jokaisen kammion painetta voidaan säätää erikseen. Tekniikka mahdollistaa laajan säätöalueen, jota voidaan säätää helposti ajon aikana. (Visco Nip, 2017.)



Kuvio 10. Visco Nipin rakenne. (Visco Nip, 2017.)

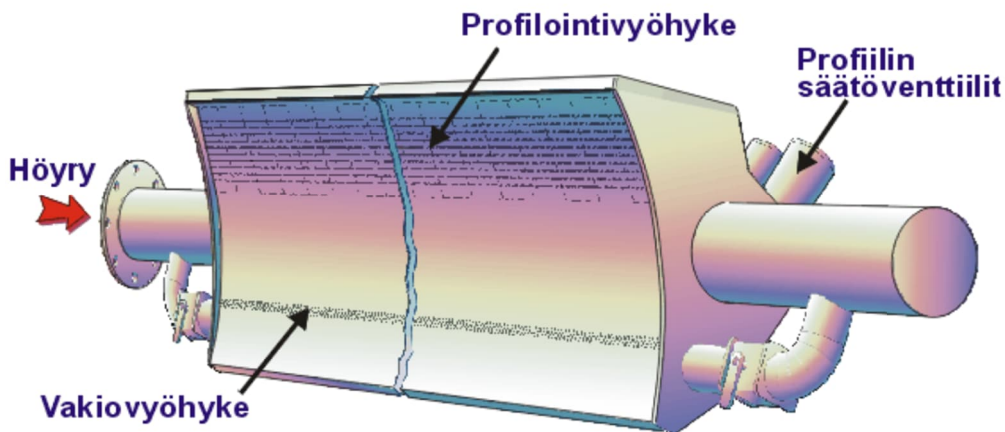
3.5.3 Imutela

Imuteloja käytetään vastateloina (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 156-161). Alipaineen avulla rata saadaan kiinnitettyä tukevasti huopaan ennen puristusta. Alipaine tehostaa vedenpoistoa, mutta on puristukseen verrattuna vähäistä. Alipainetta käytetään myös radan siirtämisessä nipistä seuraavaan. Vesi ei siirry telan sisään, vaan alipaineen avulla vesi varastoidaan telan vai-passa oleviin uriin. Pyörivän telan keskipakovoima on alipainetta suurempi, minkä seurauksena vesi linkoutuu pois urista. Alipaineen suuruusluokka on 60-70 kPa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 156-157.)

3.5.4 Höyrylaatikko

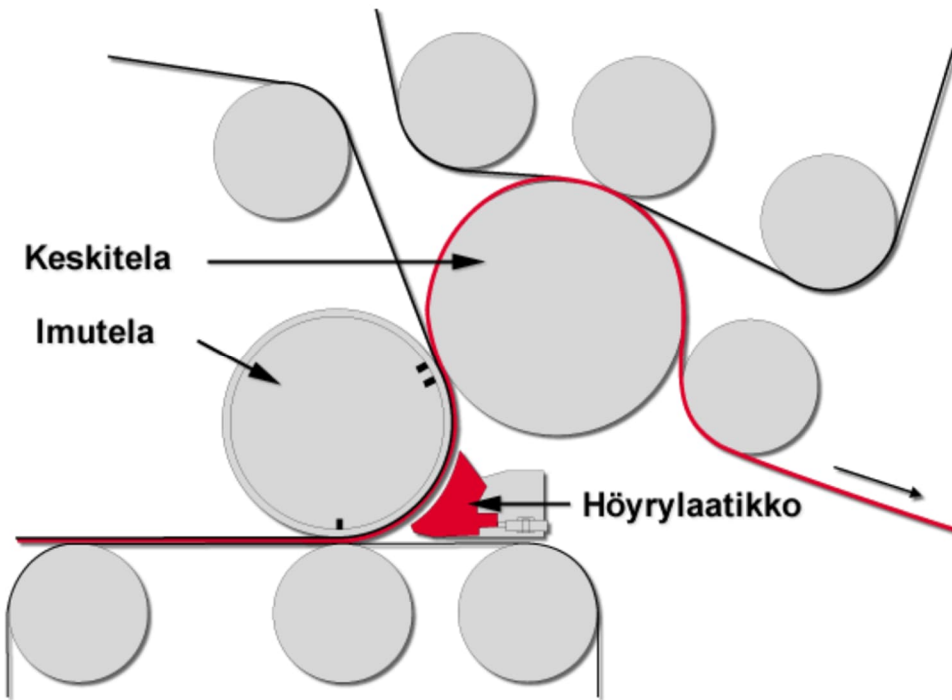
Höyrylaatikkoa (ks. kuvio 11) käytetään puristinosalla KAP:n nostoon. Höyryn avulla rataa lämmitetään poistuvan veden viskositeetin alentamiseksi, jotta vesi poistuisi radasta helpommin. Radan lämpötila nousee höyryn vaikutuksesta 10-15 astetta. Höyryn paineen suuruusluokka on 50-100 kPa. Höyrylaatikot ovat vyöhykkeissäätöisiä, jolloin jokaisen lohkon höyryventtiiliä voidaan säätää erikseen. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 156-161.)

Höyryn avulla saavutettuja etuja ovat muun muassa mahdollisuudet koneen ajonopeuden nostoon, ajettavuuden paraneminen sekä energian kulutuksen lasku. (Höyrylaatikko, 2023.) Rajoitteita höyrylaatikon käyttämiselle asettavat tietyt massalajit. Hartsipitoiset massat muodostavat liimaa kuumetessaan, joka tarttuu tiukasti telan pintaan aiheuttaen ajettavuushäiriöitä. Paljon pihkaa sisältävät massat ovat myös ongelmallisia, sillä lämmin pihka tukkii puristinhuovat. (Höyrylaatikko, 2023.)



Kuvio 11. Höyrylaatikon rakenne. (Höyrylaatikko, 2023.)

Höyrylaatikko sijoitetaan yleensä imutelaan vasten (ks. kuvio 12), sillä alipaine auttaa höyryn imeytymisessä rataan. Taloudellisin sijoituspaikka höyrylaatikolle on 1. ja 2. puristimen välissä, jolloin lämmitettävä vesimäärä on pienempi ja lämpö edesauttaa veden poistumista seuraavassa nipissä. (Höyrylaatikko, 2023.)



Kuvio 12. Hörylaatikon sijoittelu puristinosalla. (Hörylaatikko, 2023)

3.6 Fysikaalinen lähestymistapa

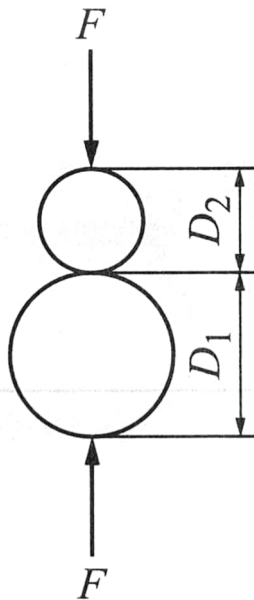
Sekä Suvanto (2003) että Hautala ja Peltonen (2002) selittävät **paineen** tarkoitettavan kohtisuoran voiman jakautumista pinta-alayksikköä kohden. Paineen kaava on

$$p = \frac{F}{A} = \frac{[N]}{[m^2]} = [Pa]$$

missä p on paine, F kosketusvoima ja A ala, johon voima vaikuttaa (Suvanto 2003, 309; Hautala & Peltonen 2002, 104-106).

Kun esine upotetaan nesteeseen, puhutaan **hydrostaattisesta paineesta**. Hydrostaattisella paineella tarkoitetaan nesteen omasta painosta aiheutuvaa painetta. (Hautala & Peltonen 2002, 106.)

Viivakuormasta puhuttaessa paperikoneissa tarkoitetaan kahden telan väliin muodostuvaa puristusaluetta. Vaikutusalue on viivamainen (ks. kuvio 13) ja voiman vaikutusalasta puhutaan yksikössä kN/m eli voiman vaikutuksesta telan akselin suuntaiseen pituuteen nähden. (Telatyypit ja rakenteet, 2023.)



Kuvio 13. Viivakuorma (Valtanen 2022, 366)

Viskositeetti kuvastaa virtaavan nesteen virtausvastusta, joka pienenee nesteen lämpötilan kohotessa (Suvanto 2003, 327-373). Hautala & Peltonen (2002, 121) puolestaan määrittelevät viskositeetin kuvastavan nesteen juoksevuutta. Viskositeetin laskemisella on vaikutusta paperikoneen vedenpoistoprosessissa. Höyryn sisältämän lämpöenergian avulla voidaan vaikuttaa veden viskositeettiin alentavasti ja pienentää hydraulista kuormaa, jotta vesi poistuu helpommin seuraavissa nipeissä. (Paulapuro 2007, 359-360.)

3.7 Tuotekehitys

Tuotekehitystoiminta on projektiluontoista, sillä toiminnalla on sekä alku että loppu ja se sisältää resurssit, aikataulun ja tavoitteet (Björk ym. 2014, 9; Hietikko 2015, 45). Tuotekehitysprojekti on ainutlaatuinen ja kertaluontoinen toiminto ja sen tarkoituksena on saattaa idea valmiiksi tuot-

teeksi (Björk ym. 2014, 9). Huipputuotteiden syntyminen edellyttää visiointia, tehokkaita ideointimenetelmien käyttöä sekä toiminnan huolellista suunnittelua alkuvaiheessa. Björk ja muut (2014, 9) kuvaavat tiivistetysti tuotekehitysprosessin tavoitteeksi tuottaa hinnaltaan sekä ominaisuuksiltaan kilpailukykyinen tuote innovatiivisia ratkaisuja yhdistelemällä.

Tuotekehitysprosesseista on olemassa monia eri versiota, joista tässä työssä on esitetty Ulrichin ja muiden (2020) teoria sekä Cooperin Stage-Gate -tuotekehitysmalli. Vaikka teorioita on monia, kaikissa yhdistävinä tekijöinä ovat asiakastarve, luovatyöskentely sekä detaljisuunnittelu (Hietikko 2015, 45).

3.7.1 Tuotekehitysprosessin vaiheet, Ulrich, Eppinger & Yang

Hietikko (2015) esittelee neljä eri prosessimallia, joiden pohjalta tuotekehitysprojekti voi saada alkunsa:

- Markkinavetoisessa prosessissa markkinoilta tunnistetaan tarve, johon lähdetään kehittämään ratkaisua.
- Paranteluprosessin kautta olemassa olevaa tuotetta lähdetään parantelemaan.
- Räätelöintiprosessilla tuotetta lähdetään räätelöimään asiakkaan tilauksesta kertaluontoisesti.
- Teknologiatyöntöprosessilla uudelle innovaatiolle lähdetään etsimään markkinoita.

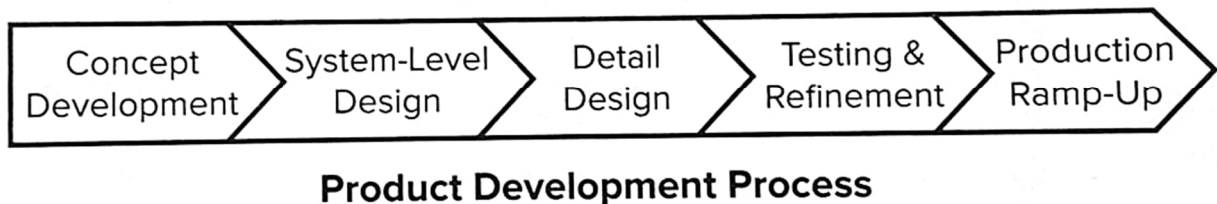
Tästä työstä ei ole selkeästi erotettavissa vain yhtä prosessimallia, vaan työssä on ripaus markkinavetoisuutta, parantelua sekä uuden teknologian kehittämistä. Työn lähtökohtana on energiatehokkaampi ratkaisu ja vedenpoiston tehostaminen paperiradasta prosessin alkuvaiheessa. Lähtökohteisesti asiakkaat ovat kiinnostuneita energiaa säästävistä ratkaisuista, jolloin tuotteelle on kysyntää. Työssä vahvana osana on uuden teknologian kehittäminen, jota paperi- ja kartonkikoneissa ei aiemmin ole käytetty. Parantelevaa prosessia työssä on vahvasti, sillä työssä tähdätään nykyisen ratkaisun paranteluun viiraosan vedenpoiston tehostamiseksi rainasta.

Ulrich ja muut (2020) jakavat tuotekehitysprosessin viiteen vaiheeseen, jotka on esitetty kuviossa 14. Konseptisuunnittelu sisältää merkittävän osan koko tuotekehitysprosessista, minkä vuoksi vaihetta on avattu enemmän kuviossa 15. Vaakasuuntaiset nuolet kuviossa 15 kuvastavat seuraavaan

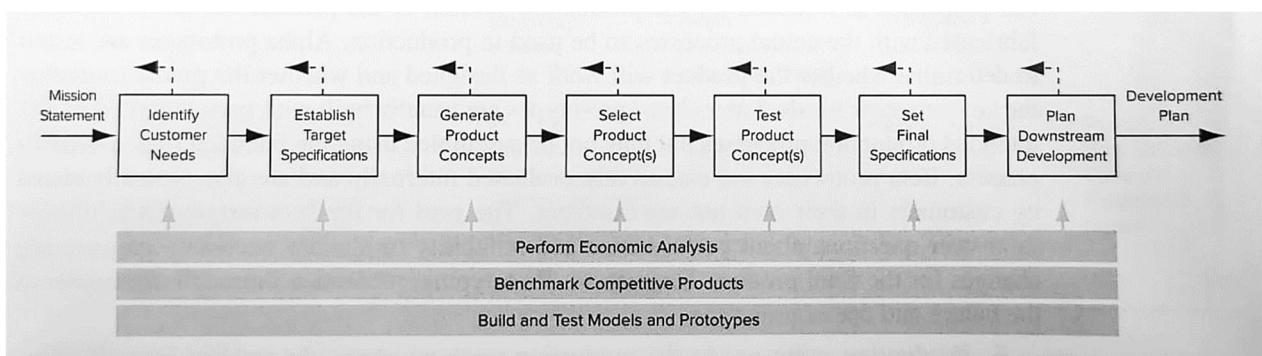
vaiheeseen siirtymistä ja katkoviivalla merkityt aikaisempaan vaiheeseen palaamista. Seuraavassa on pilkkottu konseptisuunnittelu tarkempiin vaiheisiin:

- Asiakastarpeen tunnistaminen.
- Tuotteen vaatimusten määrittely.
- Konseptien runsas tuottaminen aivoriihen avulla.
- Potentiaalisten konseptien valinta sisältäen useita iterointikiertoja.
- Konseptien testaus, puutteiden tunnistaminen ja vikojen korjaaminen.
- Tuotteen vaatimusten uudelleen tarkastaminen.
- Tarkan aikataulun luominen.
- Benchmarking kilpailijatuotteiden selvitys.

(Ulrich ym. 2020, 16-18, 131.)

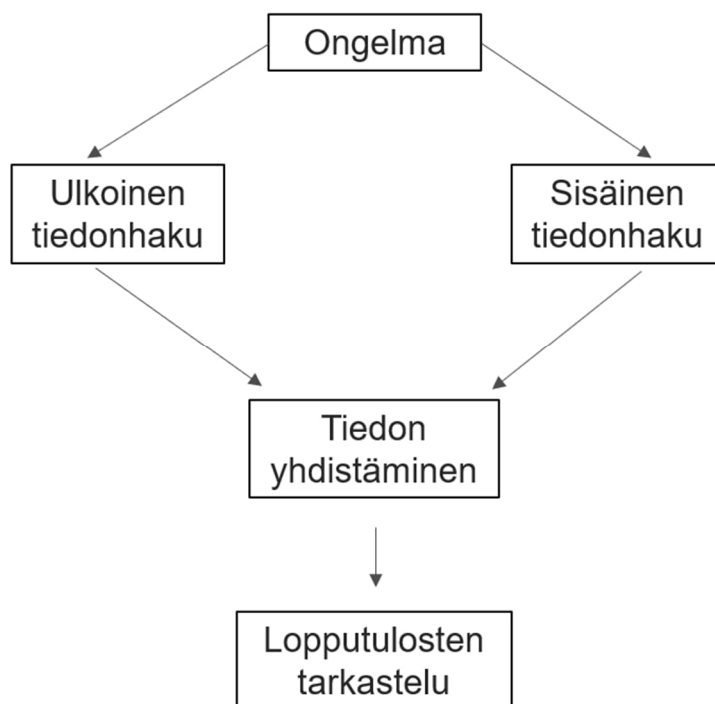


Kuvio 14. Tuotekehitysprosessin vaiheet (Ulrich ym. 2020, 39)



Kuvio 15. Tuotekehitysprosessin alkuvaiheet (Ulrich ym. 2020, 16)

Konseptin luonnosteluprosessi lähtee liikkeelle ideoinnista. Hahmoteltujen ideoiden perusteella muodostetaan alustavia konsepteja. Konseptit eivät voi olla täysin tuulesta temmattuja, vaan niiden tulee pohjautua olemassa olevaan tietoon. Konseptin tarkoituksena on helpottaa kommunikointia eri osastojen välillä sekä jäsentää suunnitteluprosessin edistymistä. Konseptiin liitetään suunnittelun tueksi sanallista kuvausta, jotta tärkeät asiat eivät unohdu suunnittelun edetessä. (Hietikko 2015, 101-103.) Kuviossa 16 esitetään viiden askeleen Ulrich-Eppinger –malli luonnosteluprosessille.



Kuvio 16. Luonnosteluprosessin eteneminen (Hietikko 2015, 103)

Kuvion 16 mukaan luonnosteluprosessi alkaa siitä, että ongelma jaetaan osaongelmiin, joihin lähdetään etsimään ratkaisua sisäisen ja ulkoisen tiedonhaun kautta. Ulkoisen haun kautta tutkitaan jo olemassa olevia konsepteja esimerkiksi verkkolähteistä ja patenttireksitereistä. Sisäisessä

haussa tarkoitus on kehittää täysin uusia konsepteja hyödyntämällä luovan työskentelyn tekniikoita yrityksen sisällä. Ideoita on tarkoitus tuottaa mahdollisimman paljon, minkä jälkeen niitä yhdistellään ratkaisun löytymiseksi. (Ulrich ym. 2020, 123-125.) Konseptisuunnittelun päätteeksi valitaan selkeästi parhaat konseptit jatkokehitykseen. Konseptilla kuvataan tuotteen muotoa, toimintaa sekä ominaisuuksia. (Ulrich ym. 2020, 16-18.)

Systemisuunnittelussa valitulle konseptille lähdetään suunnittelemaan tuotteelle alustavaa rakennetta sekä modulointia. Tässä vaiheessa tuotteelle valitaan myös pääkomponentit. Tuotoksena vaiheesta syntyy geometrinen layout. (Ulrich ym. 2020, 15-16.)

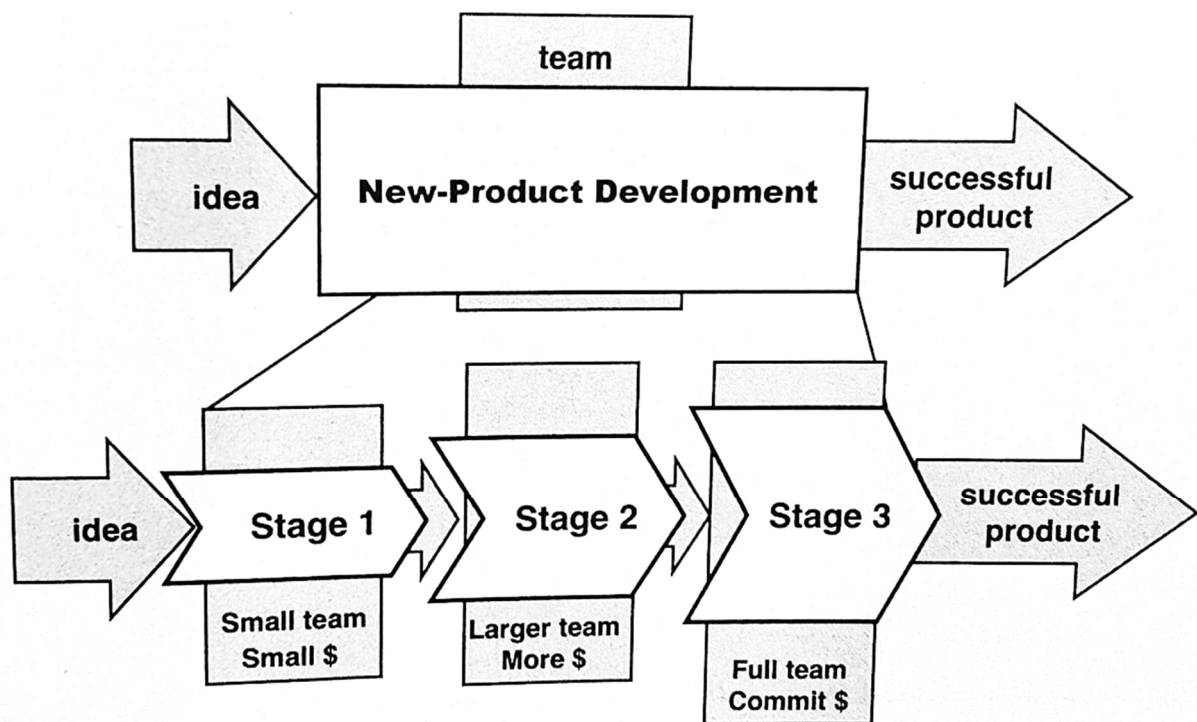
Detaljisuunnittelussa tuotteen yksityiskohtia ryhdytään suunnittelemaan ja tuotteen rakenne lyödään lukkoon. Vaiheeseen kuuluu materiaalien valinta, valmistusvaiheiden määrittäminen sekä kaikkien dokumenttien laatiminen, joita tuotteen valmistaminen ja käyttöönotto edellyttävät. Vaiheen päätteeksi tuotteelle on määritetty tarkka geometria toleransseineen ja tuote on valmistettavissa. (Ulrich ym. 2020, 15-16.)

Testaus vaiheessa tuotteesta rakennetaan prototyyppi. Tällä on tarkoitus varmistaa laitteen toiminta halutulla tavalla. Prototyypistä tehdään kaksi versiota, alfa ja beta. Alfa-versio rakennetaan tuotantotarkoitusta mielessä toimintaperiaatteen testaamiseksi. Beta-version tarkoituksena on testata tuotteen suorituskykyä, luotettavuutta sekä tunnistaa välttämättömien teknisten muutosten tarpeet lopputuotetta varten. (Ulrich ym. 2020, 15-16.)

Viimeisenä vaiheena on tuotannon käynnistäminen. Tuotteesta tehdään ennen varsinaisen tuotannon käynnistämistä 0-sarja eli niin sanottu koesarja. Tämän tarkoituksena on poistaa jäljelle jääneet ongelmakohdat, kouluttaa työntekijät sekä koeajaa tuotteen valmistusprosessi läpi kokonaisuudessaan. Vaiheen päätteeksi lopputuotteen tuotantojärjestelmä vahvistetaan ja tuotanto käynnistetään. (Ulrich ym. 2020, 15-16.)

3.7.2 Stage-Gate-tuotekehitysmalli

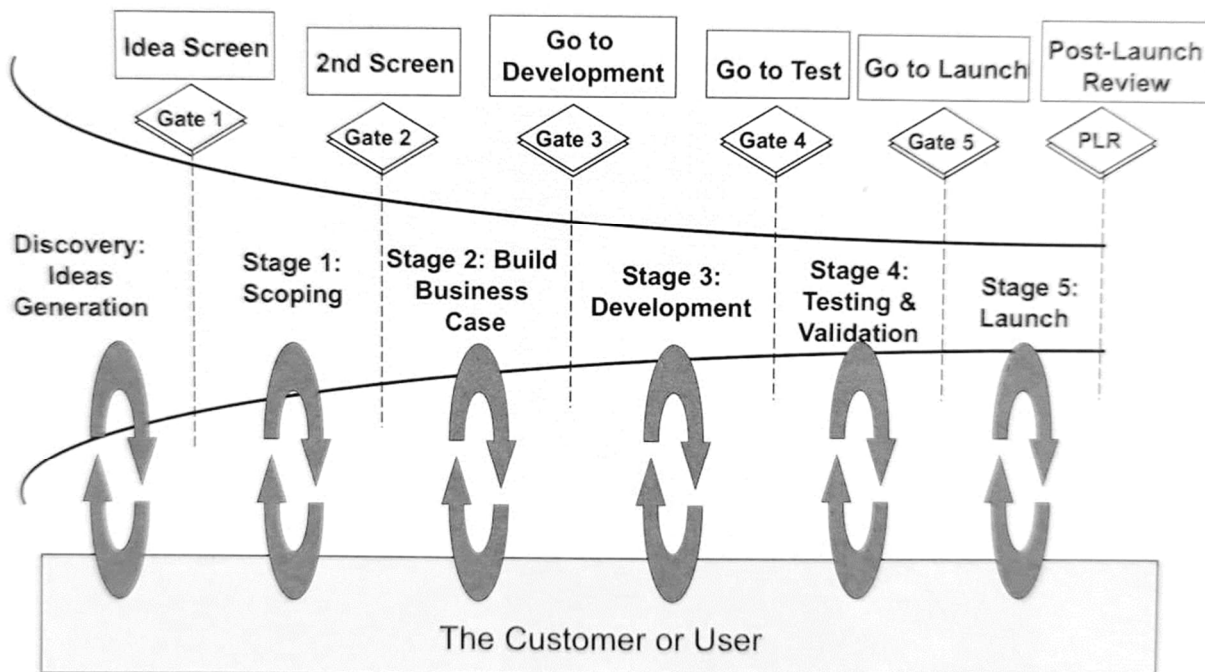
Tohtori Robert G. Cooperin Stage-Gate-tuotekehitysmalli syntyi kymmenien menestystarinoiden dokumentoinnin myötä. Dokumentoidessaan tohtori Cooper huomasi, että samat elementit yhdistivät menestystarinoita. Yhdistämällä nämä elementit, hän sai luotua yhden toimivan mallin tuotekehitysprojektille. (Planisware 2015 b, 1:13-4:23.) Stage-Gate-menetelmän ideana on pilkkoa suurempi projekti pienempiin vaiheisiin (Stage), joiden välillä on portteja (Gate). Vaiheet ovat muutamista viikoista kuukausiin kestäviä aikaikkunoita, joiden päätteeksi syntyy jokin tulos (Planisware 2015 a, 6:00-6:48.) Vaiheen päätteeksi on Gate-käsittely, jossa tehdään päätös projektin jatkamisesta ja siihen liittyvistä investoinneista. (Planisware 2015 b, 0:05-0:27.) Mitä pidemmälle prosessissa edetään, sitä enemmän aikaa, rahaa ja työntekijöitä prosessiin sitoutuu (ks. kuvio 17).



Kuvio 17. Tuotekehitysprosessin sitomat resurssit prosessin edetessä. (Cooper 2011, 99)

Stage-Gate-mallissa on kuusi vaihetta (ks. kuvio 18): Ideointi (Discovery), ideoiden tarkastelu (Stage 1 - Scoping), liiketoimintamallin rakentaminen (Stage 2 - Build the Business Case), kehitys (Stage 3 - Development), testaus ja arviointi (Stage 4 - Testing and Validation) sekä tuotannon käynnistäminen (Stage 5 - Launch) (Cooper 2011, 100-101). Prosessi lähtee liikkeelle ideavirtojen

käynnistämisestä. Runsaan ideoinnin päätteeksi on ensimmäinen Gate 1-käsittely, jossa parhaat ideat valitaan vietäväksi Stage 1:lle. Loput ideat varastoidaan ideapankkiin. (Cooper 2011, 159.) Stage 1:llä parhaat ideat käydään läpi ja arvioidaan nopeasti pienillä resursseilla jatkoinvestointien kannalta. Ideoille tehdään alustavaa markkinaselvitystä sekä teknisten etujen tarkastelua. Ensimmäisen vaiheen päätteeksi on Gate 2-käsittely, jossa parhaat ideat valitaan jatkokon. (Cooper 193-195.)



Kuvio 18. Stage-Gate-mallin vaiheet. (Cooper 2011, 101)

Stage 2 käsittää parhaiden ideoiden laajemman tarkastelun, johon on sidottu enemmän resursseja tiedon keräämiseen. Kerätyn datan avulla ideoita voidaan arvioida ja käydä läpi systemaattisesti. Stage 2:n päätteeksi syntyy liiketoimintasuunnitelma, joka viedään Gate 3-käsittelyyn. Ideasta rakennetaan valmis toimintamalli, jossa tuote määritellään tarkasti, sille tehdään perusteellinen lähtöselvitys jatkokehitystä varten ja prosessille määritellään selkeä suunta. Lopputulemana Stage 2:lta syntyy liiketoimintasuunnitelma, jossa esitetään, mitkä ovat projektin tavoitteet, tuotteen konsepti ja kohdemarkkinat. Gate 3-käsittelyssä johtavat henkilöt päättävät idean eteenpäin viemisestä Stage 3:lle. Päätöksenteon tukena voidaan käyttää pisteytettyä mallia parhaan konseptin valintaan. (Cooper 2011, 193-228.)

Gate 3:lta valittu konsepti jatkaa Stage 3:lle varsinaiseen tuotekehitysprosessiin. Tästä alkaa suunnitelman täytäntöönpano, joka laaditaan edellisessä vaiheessa. Stage 3 tuloksena syntyy tuotanto-suunnitelma, toimiva prototyyppi testaussuunnitelmien Stage 4:ää varten, sekä päivitetty talouslaskelmat. (Cooper 2011, 298-299.)

Gate 4-käsittelyssä tarkastetaan, että tuotteen prototyyppi on valmis testattavaksi ja että se vastaa tuotteelle asetettuja vaatimuksia. Stage 4:ssä tuotteesta rakennetaan koesarja ja laaditaan taloussuunnitelma. Gate 5:llä tehdään vielä huolellinen tarkastus onko tuote valmis lanseerattavaksi markkinoille, ja viimeisessä vaiheessa Stage 5:ssä tuote toimitetaan markkinoille (Cooper 2011, 308-317.)

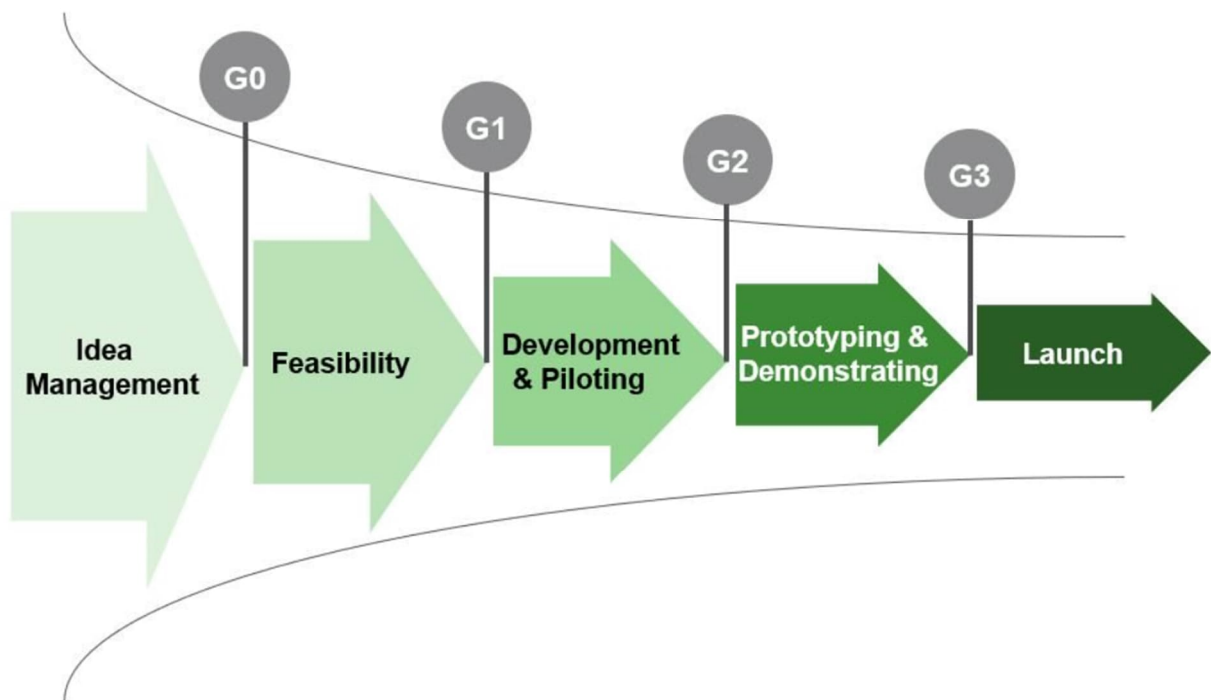
Haastattelussaan tohtori Cooper painottaa, että tuotekehitysprosessissa on tärkeää tuoda tuotteesta jotain konkreettista asiakkaalle nähtäväksi mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, mahdollisimman usein, edullisesti ja nopeasti, jotta projekti säilyttäisi oikean suunnan. Tämän ajatuksen tueksi hän käyttää kolmen A:n sääntöä tuotekehitysprosessin kuvaamisesta: Mukautuva (Adaptive), ketterä (Agile) ja kiihtyvä (Acceleration). Tuotteen havainnollistamisessa voidaan käyttää esimerkiksi pahvista rakennettua mallia. Tällaisen edullisen mallin avulla tuotetta on helppo esitellä ja siitä on helpompi antaa palautetta. Malli on helposti revisioitavissa eli tuotteen tiedot ovat helposti muokattavissa ja tarkennettavissa. (Planisware 2015 a, 4:05-7:36.)

Cooperin teoriassa tuotekehitysprosessissa toistuu spiraalimaisia kokonaisuuksia. Yksi spiraalimainen kierros pitää sisällään rakennus, testaus, palaute ja revisiointi vaiheet, jotka on esitetty kuviossa 18 kahden ympyrää kiertävän nuolen avulla. Tuotteen kiertäessä tällaista spiraalimaista iteroivaa kehää koko tuotekehitysprosessin ajan, tuotteesta tulee halutunlainen pienemmillä investoinneilla, ja projektilla on pienempi riski epäonnistua. (Planisware 2015 a, 4:33-5:17.)

3.7.3 Tuotekehitys Valmetilla

Valmetin tuotekehityksen pohjana on Cooperin Stage-Gate -malli. Valmetin tuotekehitysorganisaatiossa puhutaan RD, Research and Development, Gate-käsittelistä. Esimerkkinä kuviossa 19 G0:aa vastaavaa porttia nimitetään RD0:si tuotekehityksen piirissä. Prosessi lähtee liikkeelle keksinnön teosta ja keksintöilmoituksen jättämisestä. Jätettyjä keksintöilmoituksia arvioidaan aluksi osasto-

kohtaisesti, ja vain parhaat ideat läpäisevät RD0 Gate-käsittelyn. Osastokohtaisesti parhaiksi tunnistettuja ideoita ehdotetaan suuremmalle raadille RD1 Gate-käsittelyssä, jossa rahoitusta haetaan tulevan vuoden projekteille. Rahoituksen saaneita keksintöjä ryhdytään suunnittelemaan ja kehittämään. Kun tuote on testattu toimivaksi esimerkiksi koelaitoksella tai muissa laboratorioolosuhteissa, tuote käsitellään RD2 Gate-käsittelyssä. RD2 läpäisseelle tuotteelle myönnetään rajoitettu myyntilupa, missä tuotetta testataan yhdessä asiakkaan kanssa ja sille tehdään tarvittavat parannustoimenpiteet. RD3 Gate:n läpäissyt tuote on täysin valmis. Tuote on huolella testattu, tarvittavat dokumentit on luotu ja tuotteelle on myönnetty lupa vapaaseen myyntiin. (Tuotepäällikkö, 2023.) Tämän työn aloitus hetkellä esipuristin tuotekonsepti oli saanut rahoituksen RD1 Gate-käsittelyssä.



Kuvio 19. Tuotekehitysprosessin kuvaus Valmetilla (Pynnönen, 2023)

3.7.4 Tuotekehitysprosessin rajaaminen opinnäytetyössä

Työ käsitti konseptisuunnittelun sekä osittaisen systeemisuunnittelun, jossa tuotteelle valittiin pääkomponentit. Tässä työssä pääkomponenttivalinnoilla tarkoitetaan valinnan tekoa esimerkiksi eri telatyyppeiden ja kudosten välillä. Cooperin Stage-Gate -mallin osalta työ rajautui Stage 2:een liitteen 16 mukaan. Opinnäytetyön tulokset ja valittu konsepti tähtäsivät nimenomaan tuotantokoneeseen tulevan tuotteen suunnitteluun sekä Ulrichin ja muiden (2020) esittämän beta-prototyypin rakentamiseen. Opinnäytetyön rinnalla Wet Endin tuotekehitystiimi suunnitteli alfa-prototyyppiä, jolla haettiin radan puristamiseen liittyviä rajoja.

3.8 Aivoriihi

Aivoriihi on Alex Osbornin kehittämä ideointimenetelmä 1940-luvulla. Hän kehitteli menetelmän mainostoimiston ideointityön tueksi sekä mainonnan laadun parantamiseksi. Aivoriiehen perusajatuksena on tehostaa luovaa ideointityötä ja tuottaa lyhyessä ajassa systemaattisesti paljon erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja. (Harisalo 2011, 78-79). Tehokas ja luova ideoiden tuottaminen ei synny itsestään, vaan vaatii pohjalle syvällisen perehtymisen ongelman ytimeen. Tämän vuoksi ratkaisujen keksiminen lähtee liikkeelle vasta sitten, kun ongelman syvin luonne on saatu selville. (Harisalo 2011, 61.)

3.8.1 Aivoriiehen valmistelu

Aivoriihi tarvitsee toimiakseen puheenjohtajan, jonka tärkeimpiä tehtäviä ovat ajankäytön valvonta sekä ongelman selkeä asettelu, jotta jokaisella osallistujalla on samat edellytykset tehokkaan työskentelyyn. Puheenjohtaja osallistuu myös ideoiden tuottamiseen ja valvoo, että työskentelyssä noudatetaan ideointimenetelmän peruspelisääntöjä. (Harisalo 2011, 80.) Aivoriiehen aikana ei ole sallittua esittää kritiikkiä tai arvioida muiden ideoita, vaan työskentelyn aikana tulee edistää rentoa ja hyvää ilmapiiriä (Halme, 2018). Työskentelyn aikana osallistujia tulee rohkaista nauruun, villien ja hullunkuristenkin ideoiden ehdottamiseen sekä ideoiden kehittämiseen (Harisalo 2011, 90).

Taitavan puheenjohtajan lisäksi aivoriihi tarvitsee toimiakseen sellaisen ympäristön, joka edistää luovaa työskentelyä ja josta häiriötekijät on poistettu. Työskentelytilasta tulisi löytyä myös Post-it -lappuja, kyniä sekä valkotalu, johon ratkaisuvaihtoehdot kerätään. (Halme, 2018). Eri lähteiden välillä on eroja aivoriiehen osallistuvan ryhmän koosta. Halme (2018) suosittelee ryhmän kooksi 3-8 henkilöä, kun taas Harisalon (2011) mukaan sopiva ryhmän koko on 8-15 henkilöä. Gregersen (2018) ei suoraan kerro sopivaa ryhmän kokoa, mutta hän on vahvasti sitä mieltä, että liian suuri ryhmä voi estää luovan ja tehokkaan työskentelyn. Edellä mainitut henkilöt ovat yhtä mieltä siitä, että aivoriiehen tulisi osallistua muutama ulkopuolinen asiantuntija, jotka katsovat asiaa tuorein silmin eri näkökulmista. Gregersen (2018) korostaa, että ulkopuoliset asiantuntijat antavat aivoriihelle mahdollisuuden lähestyä asiaa laajemman tietopohjan avulla. Hän nostaa esille myös sen, että ulkopuolisilla osallistujilla on taipumus nostaa esiin ongelmakohtia, sillä se on heille luonnollinen tapa lähestyä asiaa. Tämä puoltaa hyvin Harisalon (2011) aiemmin esittämää ajatusta siitä, että ongelma tulee kiteyttää ennen kuin sitä voidaan lähteä ratkaisemaan.

3.8.2 Ideointimenetelmän läpivienti

Harisalo (2011) toteaa aivoriiehen lähtevän liikkeelle ongelman asettelusta. Tärkeintä on saada ryhmä samalle viivalle lähtötietojen osalta, jotta ongelmaa voidaan lähetä ratkomaan. Yksityiskoh- tien käsittelyä tulee välttää ja käsiteltävästä asiasta tulee esittää vain minimi määrä tietoa, jotta ideointi ei rajaudu liikaa. Kun ongelma on kiteytetty, voidaan alkuun pitää lämmittelykierros, jotta jokainen osallistuja pääsee kiinni ideoinnista. Tähän voidaan käyttää muutaman minuutin mittaista harjoitusta, jossa esimerkiksi paperiliittimelle keksitään uusia käyttökohteita, kuten solmioneula tai ongenkoukku. Tämän harjoituksen tarkoituksena on huumorin avulla murtaa jää ja luoda ren- toa ilmapiiriä varsinaista ideointia varten. Lämmittelyn jälkeen pidetään varsinainen aivoriihi. Osal- listujien tehtävänä on keksiä mahdollisimman monta ideaa ja kirjoittaa yksi aihe aina yhdelle Post- it -lapulle tai valkotaululle. (Harisalo 2011, 80-90.)

Edellä esitetyn lisäksi Gregersen (2018) tuo esiin erilaisen näkökulman ja lähestymistavan aivorii- hen tehostamiseksi. Erään aivoriihi session aikana hän teki havainnon siitä, miten nuutuneet opis- kelijat saivat uutta virettä aivoriiehen lähestymällä ratkaisua kysymysten avulla. Kysymysten tuli olla riittävän lyhyitä ja yksinkertaisia, mutta toisaalta riittävän avoimia, jotta kysymykset eivät oh- janneet liikaa osallistujien ajattelua. Lopputulemana syntyi innostunutta keskustelua, joka mahdol- lisesti oli avannut odottamattomia väyliä ratkaisun löytymiseksi. (Gregersen, 2018.)

Lopuksi, kun ideointi on saatu päätökseen Harisalo (2011, 80-90) neuvoo tunnistamaan ideoinnin tuotoksena syntyneistä ideoista potentiaalisimmat sekä hullunkurisimmat vaihtoehdot. Myös Ulrich ja muut (2020) korostavat vastaanottavaa mieltä myös mahdottomalta tuntuvien ideoiden kohdalla, sillä nämä auttavat venyttämään mahdollisia rajoja ja esteitä ratkaisun löytymiseksi. Runsa ideoiden hahmottelu paperille sekä ideoiden konkreettinen rakentaminen esimerkiksi pahvista tai 3D-ohjelmistolla auttavat myös hahmottamaan sekä jatkokehittämään ideaa. (Ulrich ym. 2020, 132.)

3.9 Vaatimuslista

Vaatimuslistaan kirjataan projektin alussa lähtötietovaatimukset, joiden pohjalta suunnittelua lähdetään tekemään. Vaatimuslistaan kirjataan laitteelle asetetut kiinteät vaatimukset (KV), vähimmäisvaatimukset (VV) sekä toivomukset (T). Kiinteät vaatimukset tulee täytyä jokaisessa tilanteessa laitteen käytön yhteydessä, kun taas vähimmäisvaatimukset kuvastavat minimi tai maksimi raja-arvoja, jotka on joko saavutettava tai ylitettävä. Toivomukset eivät itsessään ole välttämättömiä ratkaisun toiminnan kannalta, mutta asettavat esimerkiksi laitteelle väri tai materiaali toiveita ja saattavat aiheuttaa projektille lisäkustannuksia. (Jokinen 1999, 30.)

3.10 Teemahaastattelu

Teemahaastattelulla tietoa kerätään teemoittain ilman tarkkoja ja ennalta suunniteltuja kysymyksiä. Väljempien teemojen avulla on tarkoitus keskustella vapaamuotoisesti ja antaa puheelle tilaa. Teemahaastattelu sopii hyvin tiedonkeruumenetelmäksi silloin, kun tuntemattomampaan ilmiöön tai asiaan halutaan perehtyä. Haastattelun tueksi haastateltava voi kerätä itselleen avainsanoja tai apukysymyksiä. Teemahaastattelut eri henkilöiden kanssa voivat poiketa toisistaan merkittävästi, eikä kaikkien haastateltavien henkilöiden kanssa keskustella välttämättä samoista asioista. Teemahaastattelua varten käsiteltävään aihepiiriin tulee valmistautua huolellisesti, jotta keskustelu voidaan kohdentaa oikeisiin asioihin. (Saaranen-Kauppinen & Puusiekkä, 2006.)

3.11 Lähteiden luotettavuuden arviointi

Paperiprosessista tietoa haettaessa KnowPap lähteenä on luotettava, sillä tieto on ajantasaista ja materiaalia päivitetään säännöllisesti. KnowPap:a käytetään Valmetilla uusien työntekijöiden perehdytyksen tukena. Materiaali toimii myös tukena koekoneille perehdytettävien työntekijöiden koulutuksessa. Valmetin sisäiset arkistot ovat luotettavia, sillä tieto on ajantasaista ja kullekin aihealueelle on nimetty omat vastuuhenkilöt vastaamaan tuotetietojen päivityksistä.

Työtä tehdessä uusin tieto löytyi yrityksen sisäisistä tietokannoista, sillä yrityksellä on kirjallisuuden verrattuna päivittyntä osaamista. Kirjallisuudesta löytyvä tieto voi osittain olla jo vanhentunut tai tekniikaltaan vanhanaikaista, vaikka itsessään paperiprosessi ei ole muuttunut

Työssä sovellettaviin teorioihin käytettiin lähteinä teorioiden laatijoiden kirjoittamia kansainvälisiä teoksia. Ulrichin ja muiden (2020) teoksen tukena käytettiin lisäksi Hietikon (2015) suomennosta kansainvälisen käännöksen rinnalla. Tämä pienensi virheellisen tulkinnan mahdollisuutta. Kirjallisuuden lisäksi Stage-Gate -mallin lähteenä käytettiin tohtori Robert Cooperin videoitua haastattelua, jossa hän kertoo itse kehittämänsä teorian synnystä ja sen soveltamisesta. Lähteet pohjautuvat vankasti alkuperäisteoksiin, minkä vuoksi niitä voitiin pitää luotettavina.

Aivoriihessä käytettyjen lähteiden osalta Harisalon (2011) teosta voidaan pitää luotettavana, sillä se pohjautuu ideointimenetelmän kehittäjän luomaan teoriaan. Kaikki aivoriihestä esitetyt lähteet ovat suhteellisen tuoreita. Lähteiden välillä on pieniä vivahde-eroja, mutta kaikkia yhdistää sama perusrunko ideointimenetelmän läpiviemisestä. Lähteitä on monipuolisesti ja puolet niistä ovat kansainvälisiä. Lisäarvoa aivoriihen luotettavuudelle tuo Gregersenin (2018) pienimuotoinen tutkimus aivoriihimenetelmän kehittämisestä.

Teemahaastatteluiden osalta kerätty tieto oli luotettavaa, sillä haastatteluihin valittiin vain kunkin osa-alueen kokeneimpia asiantuntijoita. Asiantuntijoiden haastattelu oli tärkeä osa teoriapohjaa, sillä kaikkea tietoa ei löydy kirjoista, ja osa tiedosta pohjautuu vuosikymmenien kokemukseen. Asiantuntija lähteitä voi pitää luotettavana, sillä asiantuntijoiden kertoman pohjalta pystyi muodostamaan selkeän ja yhtenevän kokonaiskuvan, sillä tiedot eivät olleet ristiriitaisia.

4 Työn toteutus

Työn aluksi oli määritettävä työn lähtökohdat sekä tapaukseen liittyvät ongelmat, joiden pohjalta tietoa lähdettiin etsimään. Tietopohjan rakentamisen jälkeen lähdettiin tuottamaan ideoita ja rakennettiin konsepteja, joista paras valittiin jatkokehitykseen. Konseptien luonnosteluprosessia lähdettiin soveltamaan kuvion 16 mukaista mallia liitteessä 17 esitetyllä tavalla. Seuraavassa esitetään tarkemmin työn toteutuksen vaiheet.

4.1 Kilpailijaselvitys

Ulrichin ja muiden (2020) teoriaan pohjaten, ennen projektin varsinaista käynnistämistä Valmetin patentointiorganisaatio teki selvityksen kilpailijoiden tilanteesta. Selvityksen avulla tarkistettiin, ettei vastaavanlaisia patentoituja ratkaisuja ole tehty jo aiemmin KAP:n nostoon viiraosalla. Selvityksen perusteella viimeisen 15 vuoden ajalta ei ole patenttisteitä tai -suoja, jotka estäisivät projektin eteenpäin viemisen (Patenttitiimi, 2023). Patentointitarkastelun ja kilpailijatilanteen selvittämättä jättäminen olisi voinut vesittää koko työn tarkoituksen ja teettää turhaa työtä. Ajan rajallisuuden vuoksi ja tulosten laadun varmistamiseksi selvityksen teki työhön perehtyneet alan ammattilaiset. Patentointitarkastelu ei ollut työn tärkein painopiste, mutta tärkeä edellytys työn aloittamiselle, jotta tuotekehitysprojektia ei käynnistetty turhaan. Työn varsinaiset resurssit priorisoitiin ilmiön ymmärtämiseen, ideointiin sekä konseptien kehitykseen ja arviointiin.

4.2 Vaatimuslistan laatiminen

Työn alkuvaiheessa toimintamallille laadittiin Ulrichin ja muiden (2020) teorian mukaan vaatimuslista (ks. liite 2), joka toimi työn runkona. Pääpaino vaatimuslistan täytäntöönpanossa olivat kiinteät ja vähimmäisvaatimukset. Toiveet kirjattiin myös ylös pohjustamaan jatkotutkimuksia. Toiveet rajattiin työn käsittelystä pois, sillä ne eivät ole välttämättömiä ratkaisun toiminnan kannalta. Lisää päivitettiin projektin edetessä.

4.3 Tapauksen ymmärtäminen

Tapaustutkimuksen luonteeseen pohjaten tapauksesta lähdettiin aluksi hahmottelemaan kokonaiskuvaa. Työskentely lähti liikkeelle kuraamisilmiön tutkimisesta. Tapausta lähestyttiin monesta

eri näkökulmasta, minkä avulla selkeytyi myös tarvittavan teoreettisen viitekehyksen rakentaminen.

Teemahaastatteluiden avulla lähdettiin pureutumaan syvälle ongelman ytimeen. Haastatteluiden pohjalta selvisi, että haasteena esipuristimen kehittämiseksi nähdään viira- ja puristinosan sulauttaminen yhteen. Tähän mennessä vedenpoistoprosessi on eritelty selkeästi siten, että viiraosalla vesi on poistettu suotauttamalla ja puristinosalla puristamalla. Tämän lisäksi tärkeäksi huomioksi nousi esiin lopputuotteen laatuominaisuudet, kuten formaatio ja lujuusominaisuudet. Esipuristimen toiminta ei saa vaikuttaa lopputuotteen laatuominaisuuksiin heikentävästi. Esipuristimen käytön myötä näiden ominaisuuksien tulisi joko pysyä samana tai parantua. (Koeajojen vetäjä 1, 2023.)

4.4 Tietoperustan rakentaminen

Tietoperustan rakentaminen alkoi tutustumalla tutkimusmenetelmiin sekä tuotekehitysprosessin teoriaan. Liitteessä 16 on esitetty tietoperustan rakentaminen suhteessa koko projektiin. Tämän jälkeen tietoa paperiprosessista ja nykyisestä laitteistosta lähdettiin etsimään kirjallisuuden, yrityksen sisäisten tietokantojen sekä teemahaastatteluiden avulla. Teoriapohjan sisällön punainen lanka kulki paperin valmistuksen perusteissa ja prosessiin liittyvien ilmiöiden ymmärtämisessä. Teoriapohja rakentui limittäin teemahaastatteluiden ja pienempien aivoriihitapaamisten kanssa.

4.5 Ideointivaiheesta Stage 2:lle

Cooperin menetelmän ideointivaiheessa (ks. kuvio 18) syntyneitä ideoita ei lähdetty karsimaan vielä Gate 1:llä liikaa, sillä tietoperusta ei ollut siihen mennessä rakentunut vielä riittävästi. Ideat selkeytyivät ja karsiutuivat myöhemmin Stage 1:llä yhteisissä pienemmissä aivoriihitapaamisissa. Stage 1:llä ideoita arvioitiin rakennettua teoriapohjaa vasten nopealla vilkaisulla Cooperin menetelmän mukaisesti. Asiantuntijoiden kanssa pidettyjen aivoriihiä avulla tehtiin iterointikierron ideointivaiheen ideoille, jonka seurauksena toteuttamiskelvottomat ideat hylättiin jo Gate 1:llä (ks. liite 16). Ideat arvioitiin ja seulottiin karkealla seulalla taulukon 1 mukaisesti vaatimuslistaan kirjattujen vaatimusten perusteella. Jotta idea hyväksyttiin jatkoon, tuli idean vastata jokaiseen kysymykseen myöntävästi, jonka merkintä taulukossa 1 on merkitty +-merkillä. Konsepteja lähdettiin

rakentamaan ideoiden numero 3, 4 ja 12 pohjalta (ks. liitteet 4-7). Karsittuja ideoita ei suoraan hylätty, sillä niissäkin oli potentiaalisia idean poikasia, joita hyödynnettiin kehitystyössä. Kaikki ideat talletettiin ideapankkiin yrityksen sisäiseen tietokantaan myöhempää käyttöä varten.

Taulukko 1. Ideoiden karkea seulonta.

Vaatuslistan tarkastelu	Idean numero												
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
1. Onko ratkaisu kustannustehokas?	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-
2. Onko riittävä vedenpoistokapasiteetti huomioitu?	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-
3. Onko ratkaisun avulla mahdollista toteuttaa säädettävää painekäyrää?	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-
4. Onko nipin pituus riittävä?	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+
5. Onko ratkaisu riittävän kitkaton?	+	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-

Ideoissa 2, 3 ja 6 radan kuormittamista ilmanpaineella tai höyryllä ei tunneta riittävästi, minkä vuoksi ideoita pitäisi testata ensin. On mahdollista, että rata hajoaa, formaatioon syntyy muutoksia tai paineilman teho ei riitä veden poistamiseksi kahden viiran ja radan läpi. Komponentit pitäisi tiivistää huolella viiraa vasten, mikä aiheuttaa kitkaa ja viirojen kulumista. On myös mahdollista, että painekammioista kehkeytyy ajan myötä tikittäviä aikapommeja. Prosessista irtoava massa voi kertyä rakenteisiin aiheuttaen tukkeaman, ajettavuushäiriöitä, jälkiä lopputuotteeseen tai pahimmillaan saada aikaan kammion räjähtämisen. Paineilman käytössä ongelmaksi nousee myös kalliit käyttökustannukset. Vaikka ratkaisu toimisi prosessimielessä, sei ei välttämättä ole energiatehokas ratkaisu, sillä paineilman käyttö on teollisuuden yksi merkittävimmistä kustannuksista (Paineilman tuotannon kustannukset, 2023).

Työn alkupuolella ideointivaiheessa opinnäytetyöntekijä edusti Gregersenin (2018) esittämää ulkopuolista asiantuntijaa, joka katsoo asioita tuoreista näkökulmista. Tällä mahdollistettiin täysin uusien ideoiden ehdottaminen ilman käytännön asettamia rajoitteita. Vaikka teoriapohja ei vielä ideointivaiheessa ollut rakentunut riittäväksi, työntekijän kahden vuoden työkokemus Valmetin koelaitoksella antoi pohjaa ja erilaista näkökulmaa asioiden tarkastelulle muun muassa koeajojen näkökulmasta.

Stage 1:llä tietoperustaa vahvistettiin, ilmiöön perehdyttiin syvällisemmin ja ideointia toteutettiin asiantuntijoiden kanssa (ks. liite 16). Syntyneistä ideoista kasattiin yhteenveto Gate 2 -käsittelyä varten, jossa ideoita tutkittiin luvussa 4.6 esitetyn isomman aivorihipalaverin mukaisesti. Palaverin päätteeksi valittiin parhaat ideat jatkokehitykseen.

Ennen kuin jatkokehitykseen valituista ideoista lähdettiin rakentamaan erilaisia konsepteja, kaikki Gate 2 -käsittelyyn kerätyt ideat analysoitiin vielä tarkemmin liitteessä 8 esitetyn taulukon mukaan. Kategorisoimalla ja vertailemalla ideoita luotiin hyvä pohja potentiaalisten konseptien rakentamiselle.

Stage 2:lla analysoitujen ideoiden pohjalta rakennettiin liitteissä 9-15 esitetyt seitsemän konseptia, joita lähdettiin vertailemaan keskenään. Cooperin menetelmän mukaisesti Stage 2:een sidottiin enemmän resursseja konseptien tutkimiseen ja arviointiin työskentelemällä monien asiantuntijoiden kanssa. Konseptien arviointiin oli tarkoitus käyttää systemaattista menetelmää painotetun pistematriisin avulla, mutta tämä osoittautui mahdottomaksi. Vertailua oli mahdoton tehdä numeraalisesti, sillä konsepteihin liittyviin avoimiin kysymyksiin ainoa keino saada vastauksia tapahtuu käytännön testaamiseen kautta. Konseptit itsessään rakennettiin parhaiden ideoiden pohjalta ja olivat potentiaalisia, mutta parhaan konseptin valinta systemaattisin keinoin oli väärä lähestymistapa. Tästä johtuen tapaustutkimuksen luonteen puitteissa otettiin muutama askel taakse päin ja lähdettiin etsimään toista tapaa lähestyä konseptien arviointia.

Konseptien arvioinnin työkaluksi valittiin yksityiskohtainen ideoiden vertailu, jonka avulla käytiin läpi eri ideoiden hyviä ja huonoja puolia erikseen ja toisiinsa nähden. Yksityiskohtainen ideoiden vertailu työskentelymuotona on vapaamuotoista keskustelua ja huolellista dokumentointia. Osallistujilta odotetaan innovatiivista asennetta ja halua kehittää ideoita eteenpäin. (Niemi, 2016.)

Kaikkia Stage 2 vaiheita ei käyty läpi, sillä työn tärkeimmäksi painopisteeksi nähtiin teknologiakeskeisyys. Työn lähtökohdaksi oli, että markkinoilla riittää kysyntää energiaa säästäville ratkaisuille. Tämän vuoksi työssä keskityttiin kehittämään toimintaperiaatetta, ja sen vuoksi muun muassa kohdemarkkinoiden tutkinta rajattiin pois Stage 2:sta.

4.6 Aivoriihen organisointi

Aivoriihi-ideointimenetelmää sovellettiin Stage 1:llä sekä Gate 2:lla (ks. kuvio 18). Aivoriiheä käytettiin ideavirtojen käynnistämiseksi ja potentiaalisimpien ratkaisujen löytämiseksi. Ideointivaiheessa syntyneitä ideoita jatkojalostettiin Stage 1:llä pienemmissä aivoriihi tapaamisissa. Pienempien aivoriihipalaverien pohjalta syntyneistä ideoista kasattiin yhteenveto, joka käytiin läpi Gate 2:lla isommassa aivoriihipalaverissa.

Stage 1:llä aivoriihipalavereja pidettiin erilaisilla kokoonpanoilla neljä kappaletta. Tunnin mittaiset ideointipalaverit pidettiin 3-5 henkilön kokoonpanoilla. Osallistujiin kuului muun muassa telasuunnittelijoita, koeajojen vetäjiä, tuotepäälliköitä sekä tuotekehitysinsinöörejä. Harisalon (2011) ideointimenetelmää mukaillen aivoriihet aloitettiin ensin tavoitteen määrittelyllä. Tavoitetta lähestyttiin työtä ohjaavan päätutkimuskysymyksen avulla KAP:n nostamisella viiraosalla 10 %-yksiköllä nykyisestä. Kysymyksen tarkoituksen oli tarjota ratkaisun löytämiselle mahdollisimman avara tila, jota yksityiskohtiin juuttuminen ei jarruttaisi.

Tämän jälkeen pidettiin muutaman minuutin mittainen lämmittelykierros. Lämmittelykierroksella kehitettiin uusia käyttökohteita olemassa olevalle esineelle (ks. kuvio 20). Uusia käyttökohteita löytyi muun muassa sulkapallomailan- ja polkupyöräpumpuntelineenä sekä grillimakkaran pidikkeenä. Lämmittelykierroksen pitämisessä havaittiin hieman haasteellisena saada luotua rentoa ilmapiiriä muutamassa minuutissa. Vapautuneen ilmapiirin aikaan saamiseksi kahvitarjoilu sekä hieman väljempi aikataulu olisivat voineet edistää asiaa.



Kuvio 20. Lämmittelykierroksella käytetty kappale.

Lämmittelykierroksen jälkeen pidettiin varsinainen aivoriihi, jossa ideoita kirjattiin post-it -lapuille. Ideoinnin jälkeen ajatuksia käytiin läpi ja parhaita ideoita jatkokehitettiin. Harisalon (2011) menetelmää mukaillen ideoita pyrittiin venyttämään rajojen rikkomiseksi, mutta tähän olisi voinut keskittyä enemmänkin. Tunnin mittaiset aivoriihat pienemmällä porukoilla olivat täysin toimivia, mutta puoleltoista tunnin mittaisen palaverin tuloksena olisi voinut olla rennompimpi ilmapiiri ja mahdollisesti rohkeampaa ideointia.

Stage 1:llä syntyneistä ajatuksista ja ideoista koottiin yhteenveto, joka vietiin Gate 2:lle. Jokainen idea numeroitiin ja piirrettiin puhtaaksi PowerPointiin. Gate 2-käsitteelyyn osallistui 10 henkilöä ja palaverin kesto oli 1,5 tuntia.

Gate 2:n aivorihipalaverin aluksi esitettiin palaverin tavoite ja vaatimuslista (ks. liite 2). Tavoitteena oli käydä läpi jo aiemmin pidetyissä pienemmissä aivorihipalavereissa syntyneet ideat ja valita parhaat ideat jatkokehitykseen. Ideat esiteltiin aluksi lyhyesti ilman kommentointia, minkä jälkeen osallistujat jaettiin 3 hengen ryhmiin tutustumaan tarkemmin muiden ryhmien ideoihin. Jokaiselle ryhmälle jaettiin tulostetut yhteenvedot. Ryhmät saivat 20 minuuttia aikaa kirjoittaa post-it -lapuille kommentteja ja jatkokehitysideoita jokaiseen ideaan. Tämän jälkeen jokainen osallistuja pisteytti kolme parasta ideaa eri värisillä post-it -lapuilla. Pisteet laskettiin yhteen, minkä jälkeen voittajat julkaistiin (ks. liitteet 4-7). Loput ajasta käytettiin parhaiden ideoiden osalta vapaaseen kommentointiin. Palaverin lopputulemana valikoitui liitteiden 4-7 mukaiset ideat jatkokehitykseen. Liitteen 3 palaverimuistiossa on kuvattuna tarkemmin palaverin kulun tapahtumat.

Gate 2 aivorihipalaveria varten 1,5 tuntia oli juuri sopivan pituinen aika. Palaverin kulku ja ajankäyttö oli hyvin suunniteltu. Palaverin tavoite määritettiin selkeästi. Osallistujia oli hyvä otanta, mutta eri näkökulman omaavia ulkopuolisia asiantuntijoita olisi voinut olla muutama.

4.7 Konseptien rakentaminen ja analysointi

Ulrichin ja muiden (2020) mallin mukaan konsepteja tuotettiin runsaasti ideoinnin pohjalta. Konseptien rakennusvaiheessa konsepteja hahmoteltiin ajatuksen tasolla Rautpohjan koekoneilla. Konseptien rakennusvaiheen yhteydessä teoriapohjaa syvennettiin ja konsepti-ideoita esitettiin ja

haastettiin koekoneiden parissa työskentelevillä asiantuntijoilla. Rautpohjan koekoneilla suoritetun kenttätyöskentelyn tarkoituksena oli kerätä mahdollisimman paljon ajatuksia eri työntekijöiltä, jotta kehitystyössä otettaisiin huomioon mahdollisimman monta näkökulmaa. Työskentely pohjautui ilmiöiden ymmärtämiseen, käytännön kokemusten kuulemiseen sekä ymmärryksen kartuttamiseen koneen käyttökustannusten muodostumisesta. Kenttätyöskentelyn yhteydessä kirjoitettiin myös epävirallista hahmotelmaa kenttäpäiväkirjasta, johon kirjattiin ylös syntyneitä ideoita ja luonnoksia, kehitystyössä huomioon otettavia kriittisiä tekijöitä sekä opittuja asioita paperiprosessista. Kriittisen pohdiskelun ja ajatusten kyseenalaistamisen pohjalta ratkaisu potentiaalisimmasta konseptista lähti muovautumaan.

Syntyneitä konsepteja muodostui seitsemän kappaletta, joista parhaita konsepteja lähdettiin selomaan taulukon 2 mukaan. Konseptien arviointi perustui muutaman skenaarion tutkimiseen, sillä kaikkia reunaehtoja ei ollut mahdollista ottaa huomioon. Konseptien arvioinnissa käytettiin Nieminen (2016) esittämää mallia ideoiden yksityiskohtaisesta arvioinnista. Koska konsepteja ei ollut mahdollista arvioida numeraalisesti, konseptien vertailussa käytettiin asteikkona plus- ja miinusmerkkejä taulukon 2 alareunassa olevien selitysten mukaan. Lopuksi taulukon vasempaan reunaan kerättiin kunkin konseptin keräämät plus- ja miinusmerkit, joiden pohjalta kolme parasta konseptia valittiin jatkokon.

Taulukossa 2 -/+ -merkillä täydennetty kenttä ilmaisee, että arviointikohteesta ei ole aiempaa tulosta, jonka pohjalta kohdetta on hankala arvioida. Muut konseptit ovat toteutettavissa leveydestä riippumatta, mutta konseptinumero 4:lle leveysrajoitteen asettaa Visco Nipin valmistukseen liittyvät rajoitteet. (Tela-asiantuntija 1, 2023.)

Taulukko 2. Konseptien yksityiskohtainen arviointi.

+	-	Konseptin numero	Painetaso saavutettaissa	Eipuristimen rakenteen kuorman kesto	Vedenpoistokapasiteetin riittävyys	Säädettävien parametrin määrä	Leveysrajoite	Nipin pituus	Kitkattomuus	Painealueen säädettävyys
16	0	1	+++	+++	++	+	+	++	+	++
9	4	2	-/+	+++	+	-	++	+++	-	-
9	5	3	-/+	+++	+	--	++	+++	-	-
17	0	4	+++	+++	++	++	+	++	+	++
18	0	5	+++	+++	++	++	++	++	+	++
11	3	6	-/+	++	-	++	++	+++	-	++
7	10	7	---	++	-	--	++	+++	-	--

+++	Erittäin hyvä
++	Hyvä
+	Riittävä
-	Kohtuullinen
--	Huono
---	Toimimaton ratkaisu

Taulukossa 2 esitetyn vertailun avulla potentiaalisimmat konseptit erottuivat muista. Vertailun pohjalta valittiin konseptit 1, 4 ja 5 (ks. liitteet 9, 12 ja 13) vielä viimeiseen tarkasteluun. Vertailussa parhaaksi konseptiksi nousi numero 5 ja heikoimmaksi numero 1.

Numeroiden 5 ja 4 välisessä vertailussa konseptien toimintaperiaate ja komponenttien asettelu ovat hyvin samankaltaisia, mutta konsepti 5:ssä olevan lämpöelementin avulla voidaan vaikuttaa veden viskositeettiin, mikä antaa konseptille etulyöntiaseman 4:ään verrattuna.

Numeroiden 4 ja 1 välisessä vertailussa konsepti 4 on potentiaalisempi, sillä konseptissa on enemmän säädettäviä parametreja. Muun muassa telan sielua ja imualuetta saadaan säädettyä, mikä antaa enemmän pelivaraa ajon aikana.

5 Tulokset

Työn päätutkimuskysymyksenä oli selvittää, ”Miten rainan kuiva-ainepitoisuus voidaan nostaa puristamalla jo viiraosalla 10 %-yksikköä nykyisestä?”. Tässä kappaleessa esitetään työn tulokset ja vastataan apukysymyksiin, joiden avulla ratkaisua lähdettiin kehittämään. Työn tulosten pohjalta konseptia numero 5 suositellaan eteenpäin vietäväksi jatkokehitykseen (ks. liite 13).

5.1 Työssä selvitettyt asiat

Työn aikana rakentui ymmärrys siitä, kuinka haastavaa on suunnitella paperikoneeseen laitteistoa, jolla saavutetaan radikaaleja muutoksia radan kuiva-ainepitoisuudessa. Uusia laitteistoja suunniteltaessa on aina pidettävä mielessä kaikki paperiprosessin vaiheet, sillä ne ovat vahvasti yhteydessä toisiinsa. Lopputuotteen laatu on aina pidettävä ensimmäisellä sijalla, ja laitteistojen paikka on olla tukemassa prosessia. Tämän vuoksi paperiprosessin tunteminen on ensiarvoisen tärkeää, sillä toimivia laitteita ei voida käsitellä irrallaan prosessista.

Työn aikana syntyi paljon ideoita ja konsepteja, joiden pohjalta potentiaalisin konsepti valikoitui jatkokehitystä varten (ks. liite 13). Liitteessä 13 on esitettyä vastausta sille, ”Mistä pääkomponenteista konsepti koostuu?” sekä ”Millä mekaanisella ratkaisulla haluttua painekäyrää lähdetään tavoittelemaan?”. Konsepti koostuu pitkänippisestä telaparista, jossa hyödynnetään höyryä veden viskositeetin pienentämiseksi. Nipin kengässä on vyöhykesäädettävä kuormitusmekanismi, jonka avulla liitteen 1 mukainen painekäyrä on mahdollista saavuttaa. Vastatelan sisällä olevat höyry- ja imualueet ovat säädettävissä viiran peittokulmaan nähden. Rata kulkee yläpuolisen huovan ja alapuolisen viiran välissä. Tällaisella kudosten yhdistelmällä haetaan pehmeämpää nippiä sekä tilaa poistuvalla vedelle verrattuna siihen, että rata kulkisi kahden viiran välissä. Radan yläpuolella oleva joustava huopa vaimentaa hieman äkkinäistä pulssia. Radan kiinnittymiseksi alaviiraan ei tarvita kitaimuria, sillä rata kiinnittyy viiraan nipin jälkeen vastatelassa olevan alipaineen avulla. Vedenpoistolaitteistoon kuuluu alkuvedenpoisto alipaineella, yläallas, keruukaukalo sekä vastatelan rei’itetty vaippa ja imukammio.

Kysymykseen siitä, ”Miten vedenpoistokapasiteetti huomioidaan ratkaisussa?” on kiinnitetty ratkaisussa huomiota monella tavalla. Veden poistumista radasta edesautetaan lämmön, säädettävän kuormituselementin sekä alipaineen avulla. Kudosten osalta viira on sijoitettuna radan alapuolelle, jotta vesi poistuisi mahdollisimman tehokkaasti alaspäin ja huopa yläpuolelle imemään vettä radasta kapillaarisesti sen huokosiin. Huovan valinta yläpuolisena kudoksena on perusteltu sillä, että puristetulle vedelle mahdollistetaan riittävän suuri tila poistua nipistä siististi ja oikeaan suuntaan. Huopa on suunniteltu siten, että se pystyy imemään itseensä vettä ja kuljettamaan sen pois nipistä. Alapuolelle valittu viira on perusteltu sillä, että sen tehtävänä on suotauttaa mahdollisimman helposti vettä alaspäin. Kudospariksi ei valittu viiraparia, sillä viiraa ei ole suunniteltu puristamista varten eikä viira pysty kuljettamaan vettä itsessään pois puristinnipistä. Vastatelan sielu on

säädettävissä ajon aikana, jolloin höyryntuonnille ja alipaineelle voidaan lajikohtaisesti optimoida oikeat parametrit. Keruukaukalon ja yläaltaan avulla roiskuva vesi ohjataan pois, jotta vältetään radan uudelleen kastuminen. Poistuva vesi imetään vastatelan vaipan reikiin alipaineen avulla ja keskipakovoiman avulla se lingotaan pois rei'istä.

5.2 Selvittämättä jääneet asiat

Työ oli vain pintaraapaisu paperiprosessiin ja paljon asioita jäi selvittämättä rajallisen ajan vuoksi. Tämän vuoksi työn tuloksiin tulee suhtautua kriittisesti. Ratkaisun hahmottelu keskittyi pelkästään prosessin fysikaalisiin puoliin, mutta on muistettava, että paperiprosessissa tapahtuu paljon reaktioita myös kemiallisella tasolla (Paperiprosessin asiantuntija 2, 2023).

Työssä ei saatu vastausta siihen, saadaanko laitteiston avulla KAP-taso nousemaan 10 %-yksiköllä. Konseptin toimivuudesta todellisuudessa ei saatu aivan tarkkaa käsitystä, sillä laitteiston simulointiin liittyy paljon haasteita. Myös konseptin kustannuksiin oli lähes mahdotonta ottaa kantaa vielä tässä vaiheessa, sillä komponenttien mitoitukset rajattiin työn ulkopuolelle. Vaikka konseptin rakentaminen ja käyttö veisivät paljon resursseja, syntyisikö säästöjä kuitenkin koneen kokonaisenergian kulutuksessa pidemmällä aikavälillä?

Koska konseptia ei pystytty testaamaan tai simuloimaan, kaikkiin kysymyksiin ja erityisesti lopputuotteen laatuominaisuuksiin liittyviin kysymyksiin ei tutkimustyön aikana löydetty vastauksia. Tämän vuoksi huolellisella pohjatyöllä on erittäin suuri merkitys. Vastauksia lopputuotteeseen liittyviin kysymyksiin voidaan hakea ensimmäisen prototyypin avulla, josta kerrotaan enemmän kappaleessa 5.5.

5.3 Tulosten peilaaminen vaatimuslistaan

Vaatimuslistaan peilaten konseptin etuja ovat pitkä nippialue, kitkattomuus sekä mahdollisuus liitteen 1 mukaisen painekäyrän toteuttamiseen. Vaatimuslistaan kirjattujen vaatimusten lisäksi ratkaisuun on lisätty lämmöntuonti, jolla voidaan pienentää veden viskositeettia. Konseptin rakenne on suhteellisen yksinkertainen ja tuttu, mutta vaatii telasuunnittelun puolella kehitystyötä. Vedenpoistokapasiteettiin on kiinnitetty huomiota toimintaperiaatteen suunnittelussa, mutta sen tar-

kempan mitoittamiseen tulee vielä syventyä jatkokehitystyössä. KAP-tason noususta ja kokonaisenergian kulutuksen laskusta on vaikea sanoa tässä vaiheessa, kun komponentteja ei ole vielä mitoitettu eikä prototyyppiä ole päästy testaamaan prosessin yhteydessä.

Laitteen valmistukseen, sen valmistuskustannuksiin, taipumaan sekä asennettavuuteen ei työn alkuvaiheessa otettu kantaa, sillä näiden käsittely kuuluu Stage 3:lle ja detaljisuunnittelun piiriin, jotka oli rajattu työn ulkopuolelle. Koska kyse oli aivan uuden laitteiston ja prosessin vaiheen suunnittelusta paperikoneelle, tuli ensin lähteä teoria tasolla miettimään, kuinka rainaa tulee lähestyä esipuristamalla. Jotta ideointi ei olisi rajautunut liikaa, laitteiston sijoitettavuuteen jo olemassa oleville koneille ei otettu työssä kantaa. Myös erilaisten paperikonekonseptien lukuisan määrän vuoksi niiden tutkiminen rajattiin työn ulkopuolelle, jotta työssä olisi keskitytty ratkaisemaan todellista haastetta, jota ei vuosikymmeniin ole ratkaistu.

5.4 Konseptin edut ja haasteet

Konseptin (ks. liite 13) etuihin lukeutuu useiden parametrien säädettävyys ja hyvä hallittavuus, poistuvan veden hallittavuus sekä laitteiston rakenteen hyvä kuorman kesto. Näiden lisäksi konseptin etuihin kuuluu sen uusi näkökulma radan puristamisesta. Höyryn tuonnin osalta aiemmissa ratkaisuisissa höyrylaatikko on sijoitettu hieman ennen nippiä kuvion 12 mukaan, kun taas työssä kehitetyllä konseptilla on uusi lähestymistapa höyryn tuonnin, puristamisen sekä alipaineen sijoittelussa. Nämä tapahtuvat miltei yhtä aikaa, minkä vuoksi höyryn tuonnin hyötysuhde on parempi, eikä rata ennätä jäähtyä käytännössä lainkaan ennen puristamista.

Haasteeksi konseptille voi nousta höyryn kondensoituminen eli tiivistyminen nesteeksi vastatelan sisälle. Tämän estämiseksi vastatelan sisälle voidaan rakentaa eristys höyry- ja imulaatikon välille. Vedenpoistokapasiteetin riittävyyden osalta telan vaipan rei'itykseen sekä kudoksilta vaadittavan avotilavuuden laskemiseen on paneuduttava detaljisuunnittelussa.

5.5 Konseptin kehittäminen

Liitteessä 13 esitetty potentiaalinen konsepti itsessään on raaka luonnos ja vaatii tuekseen huolellista jatkokehitystyötä. Jatkotutkimuksissa tulisi lähteä liikkeelle laskentaan pohjautuvasta simuloinnista, jotta saataisiin selville tarvittavan höyryn määrä, lämpötila sekä paine. Simulointi voi

osoittautua haastavaksi, joten laitteesta joudutaan rakentamaan yksinkertainen prototyyppi toimintaperiaatteen testaamiseksi. Ensimmäisestä prototyypistä ei välttämättä tarvitse rakentaa teiloilla, vaan höyryn ja alipaineen suhdetta voidaan testata myös tasossa yksinkertaisten laatikoiden avulla, josta on esitetty havainnekuva liitteessä 18.

Markkeeraukseen ja painekäyrien testaukseen voidaan käyttää Gekko-testiä, jossa erilaisilla kuivoinneilla, kuormitusalueilla ja puristusimpulsseilla kuormitetaan hetkellisesti pientä näytekappaletta. Testi sisältää paljon epävarmuutta, mutta antaa suurpiirteisiä vastauksia edellä mainittuihin asioihin. Testissä näyte kostutetaan ja siihen kohdistetaan hyvin lyhyt puristusimpulssi. Testi voidaan toteuttaa erilaisilla huovilla ja näytteen KAP-tasoilla. (Puristin asiantuntija 1, 2023.)

Kun konseptin toimintaperiaatteesta on saatu alustava käsitys, tulisi lähteä suunnittelemaan seuraavaa prototyypistä, joka muistuttaa jo tuotantokoneelle tulevaa konseptia. Prototyypistä varten tulee selvittää imutelan reikäjako, telan kammiojako, viiran kireydet sekä alipaineen suuruus. Lisäksi laitteistolle tulee mitoittaa riittävä vedenpoistokapasiteetti, perehtyä optimaalisten materiaalien valintaan kengän osalta sekä laatia täsmällinen testauspöytäkirja lopputuotteen laatuominaisuuksien testaamiselle. (Tela-asiantuntija 2, 2023.) Lisäksi tulee valita käytettävät kudokset ja laskea niiden vaatima avotilavuuden tarve. Konseptia suunniteltaessa tulee kiinnittää huomiota kudosten valintaan ja tutkia viirojen kestävyttä puristamisen sekä lämmönkeston osalta. Työn toteutushetkellä viirojen kestävyys puristamisen suhteen on ollut huono (Puristin asiantuntija 1, 2023), joten tulevaisuudessa tarvitaan mahdollisesti tuotekehitystä uudenlaisten kudosten osalta.

Työn rajauksen puitteissa laitteesta hahmoteltiin vain karkea yleiskuva, mutta laitteen suunnittelussa tulisi kuitenkin ottaa huomioon konedirektiiviin 2006/42/EY kirjatut vaatimukset:

- Terveys- ja turvallisuusvaatimukset sekä riskiarvioinnin, konedirektiivin liite 1 osa 3.
- Kunnossapitoon liittyvät vaatimukset, konedirektiivin liite 1 osa 1.6.
- Koneen käyttäjille annettavat tiedot, konedirektiivin liite 1 osa 1.7

(Fraser, 2010.)

Turvallistamisella tähdätään laitteiston turvalliseen käyttöön. Turvallistamisen ensisijaisuusjärjestyksessä ensimmäisenä vaiheena on poistaa vaaratekijät jo suunnittelijan työpöydällä. Mikäli edellä mainittuun ei voida vaikuttaa, estetään käyttäjien tai ulkopuolisten pääsy vaara-alueelle

suojusten, turvatoimien ja -laitteiden avulla. Viimeisenä keinona on käyttää koneeseen kiinnitettäviä varoituskylttejä ja -tekstejä (ks. kuvio 21) ilmaisemaan koneen jäännösriskeistä. (Siirilä 2008, III, 75.)



Kuvio 21. Jäännösriskien ilmoittaminen varoituskylttien avulla. (Varo puristumisvaaraa, n.d.)

5.6 Muut jatkokehitystoimenpiteet

Taulukossa 2 esitetyn puuttuvan tiedon perusteella konseptin 6 osalta olisi mielenkiintoista selvittää ja tuottaa tietoa siitä, miten liitteessä 14 esitetty kuormitustapa paineilmalla vaikuttaa rataan.

Testissä tulisi selvittää seuraavat asiat:

- "Onko paineilmalla mahdollista toteuttaa riittävää painetasoa?"
- "Aiheuttaako paineilma rataan formaatio-ongelmia tai ajettavuushäiriöitä?"
- "Aiheuttaako paineilma leikkaavia voimia rataan?"
- "Saadaanko vesi poistumaan radasta kohtisuoraan viiraan nähden vai hajoaako veden poisto sivuille?"

Jatkotutkimusten tueksi kiinnostaisi tutkia myös paineilman sekä puhaltamisen vaikutusten eroa rataan. Paineilman käytöllä saavutetaan suuri paine, mutta ratkaisu ei ole halvimmasta päästä. Voisiko riittävän paineen saavuttaa puhaltamalla, sillä sen vaatima laitteisto on paljon yksinkertaisempi ja edullisempi? Tällä hetkellä puhaltimia käytetään koneilla muun muassa kosteuden poistoon. Painetta saataisiin kasvatettua suurentamalla puhaltimen roottoria ja pienentämällä painepuolen putkea. (Tekninen operaattori, 2023.)

6 Yhteenveto

Työtä lähdettiin tekemään esipuristintuotekehitysprojektin tueksi. Työn tavoitteena oli tutkia, millä tekniikalla radan esipuristamista lähdetään toteuttamaan ja kuinka viiraosan KAP:a saadaan nostettua merkittävästi nykyiseltä tasolta.

Alkukartoituksen ja tietopohjan rakentamisen perusteella muodostui vahva ymmärrys siitä, että esipuristimen kehitystyössä ei yksinään riitä se, että rata pysyy ehjänä puristuksen jälkeen. Kun konseptia lähdetään tarkemmin suunnittelemaan, tulee samalla myös entistä syvemmin paneutua paperiprosessitekniikkaan, sillä tämä on avain tuotekehitysprojektin menestymiseen.

Työn ideoinnin ja konseptikehityksen tuloksena syntyi seitsemän konseptia, joista konsepti numero 5 (ks. liite 13) valittiin jatkotutkimuksiin. Konseptin suunnittelussa keskityttiin vahvasti yhdistämään konetekniikka sekä paperiprosessitekniikka, mikä näkyy parametrien säädettävyydessä, laitteiston ajonaikaisessa hallittavuudessa, laitteiston rakenteen kuorman kestossa sekä poistuvan veden hallittavuudessa.

Yhteenvetona työ täytti sille asetetut tavoitteet, sillä työssä kehitettiin potentiaalinen konsepti esipuristimen toimintaperiaatteesta. Jatkokehitykseen valitun konseptin kehitysprosessi kulki työn aikana monen seulan ja kriittisen tarkastelun läpi. Kaikkiin tutkimuskysymyksiin löydettiin vastaus, mutta vaatimuslistan osalta kaikkiin vaatimuksiin ei pystytty vielä tässä vaiheessa tuotekehitysprosessia ottamaan kantaa.

7 Pohdinta

Työn ytimessä oli energian säästäminen. Huolellisen pohjatyön tarkoituksena oli saada pienennettyä paperikoneen kokonaisenergian kulutusta sekä minimoida tuotekehitysprojektin kustannuksia. Tämän vuoksi työn pääpainona oli ratkaisun kriittinen ja huolellinen tarkastelu. Työ painottui tuotekehitysprosessin alkuvaiheeseen kuvion 17 mukaan, jolloin prosessiin ei ole vielä sidottuna merkittäviä resursseja. Tarkoituksena oli lähteä luovimaan polkua oikeaan suuntaan tuotekehitysprosessin edellä. Cooperin Stage-Gate -malliin peilaten työssä otettu askel oli vain murto-osa koko prosessista, mutta resurssien kannalta kriittinen askel. Perusteellisen lähtötilanteen kartoituksen taustalla oli ylimääräisten kustannusten välttäminen, jotta projektia ei lähdetä viemään liian kevyin perustein väärään suuntaan.

7.1 Tulosten ja tietopohjan välinen vuoropuhelu

Työn tekoon varatun ajan rajallisuuden vuoksi Stage 2 ei täyttänyt kaikkia sille asetettuja toimia, joita edellytetään Gate 3:lle siirryttäessä. Vaatimuslistan ja ehdotetun konseptin osalta tulisi tehdä vielä yksi iterointi kierros ennen varsinaisen suunnittelun aloittamista.

Tulokset pohjautuivat täysin kerättyyn tietoperustaan, sillä ilman tietoperustan rakentamista kyseistä konseptia olisi ollut mahdotonta lähteä hahmottelemaan. Tuloksissa hyödynnettiin tietoa vedenpoistoteoriasta, viskositeetin alentamisesta sekä pitkän nipin suunnittelusta prosessin näkökulmasta. Työssä huomioitiin vaatimuslistan kriteerit niiltä osin, joihin tässä vaiheessa tuotekehitysprosessia oli mahdollisuus vaikuttaa.

Huolellisen pohjatyön myötä heräsi kysymys siitä, kuinka esipuristinlaitteisto vaikuttaa lopputuotteen laatuominaisuuksiin. Vaikka KAP saataisiin nostettua 10 %-yksiköllä viiraosalla, voi se vaikuttaa merkittävästi esimerkiksi kuitujen orientaatioon, radan formaatioon sekä lopputuotteen päällystämiseen ja painettavuuteen.

Projektin edetessä pidemmälle vastausta haettiin myös siihen, riittääkö 10 %-yksikön KAP:n nosto yhden puristimen poistamiseksi. Tätä kysymystä kannattaa jatkotutkimuksissa lähestyä myös siltä kannalta, ettei yhtään puristinta ryhdytä poistamaan, vaan tavoitellaan KAP-nostoa myös puristin osalla optimoiduilla kudosvalinnoilla. On mahdollista, että tässä tapauksessa puristinosan kuormia

tulee nostaa ja rakenteita vahvistaa. Tällöin konsepti ei täyttäisi enää vaatimuslistan kriteeriä koneen kokonaisenergian kulutuksen laskusta.

7.2 Oman työskentelyn arviointi

Työn tekijänä minulla oli hyvät valmiudet lähteä tekemään opinnäytetyötä kyseisestä aiheesta. Muutaman vuoden työkokemukseni Valmetin koelaitoksen laboratoriossa, kunnossapidossa sekä massanvalmistuksessa loivat työn tekemiselle erinomaiset puitteet. Työskentelyni oli luovaa ja luotettavaa, sillä pyrin tietoisesti välttämään omiin ideoihin juuttumista haastamalla ideoitani asiantuntijoilla, jotta ratkaisun kehittäminen ei jumittaisi omaan rajalliseen ymmärrykseeni.

Työskentelyn osalta kommunikointia olisi voinut parantaa työntekijän ja toimeksiantajan välillä. Tämä näkyy työn osalta siinä, että vaatimuslistasta ei tehty revisioiteja ja kaikkia toimeksiantajan esittämiä vaatimuksia ei työssä pystytty täyttämään.

Mikäli aloittaisin opinnäytetyön kirjoittamisen uudestaan puhtaalta pöydältä, olisin lähtenyt alusta asti rakentamaan huolellisemmin Kanasen (2013, 142) esittämää tutkimuspäiväkirjaa, johon opitut asiat olisi dokumentoitu systemaattisesti. Teemahaastatteluiden osalta oma valmistautumiseni teoreettisen viitekehityksen osalta oli riittävä haastatteluiden tekoon. Haastateltavia henkilöitä oli monipuolisesti ja riittävästi eri osastoilta, ja käsiteltävien teemojen pohjalta esille nousseet asiat tukivat teoriapohjan rakentamista. Teemahaastatteluiden pitäminen oli minulle luonteva tapa hankkia tietoa tapauksesta, sillä keskustelen mielelläni eri työntekijöiden kanssa. Vaikka keskustelutilanteet itsessään ovat erinomaisia oppimistilaisuuksia, tietojen dokumentointi ei ollut itsestään selvyyttä. Haastatteluita pitäessä huomasin haasteeksi tärkeiden asioiden ylös kirjaamisen. Oli vaikea samaan aikaan keskittyä käsiteltävään teemaan ja kirjoittaa ytimekkäitä muistiinpanoja, jotta aikaa ei kuluisi turhaa kirjoittamiseen. Työskentelyä olisi helpottanut selkeän haastattelurungon laatiminen. Oman työskentelyn helpottamiseksi ja työn luotettavuuden kannalta haastattelutilanteet olisi kannattanut nauhoittaa. Tämä olisi varmistanut sen, että kaikki tieto saadaan varmasti talteen, eikä tiedonkeruu siinä vaiheessa olisi ollut sen varassa, mitä haastattelun yhteydessä ennättää poimimaan. Salassapidon ja yksityisyyden suojan nojalla haastatteluiden nauhoittaminen olisi ollut hieman kyseenalaista ja olisi vaatinut tarkan suunnitelman ja lupien selvityksen taustalle. Toinen helpompi mahdollisuus olisi ollut, että kolmas osapuoli olisi keskittynyt dokumentoimaan

haastattelutilannetta. Teemahaastatteluiden luotettavuutta ajatellen pyrin tunnistamaan ja rajaamaan pois mielipiteet ja keskityin poimimaan keskusteluista vain perusteltuja aiheeseen liittyviä näkökulmia.

Työn ideointivaiheessa aivoriihi-ideointipalaveriinkin olisin voinut ottaa enemmän osallistujia eri organisaatioitasoilta, kuten teollisesta muotoilusta ja suunnittelusta. Työssä toteutettu ideointi painottui enimmäkseen tela-asiantuntijoiden sekä tuotekehityksen edustajien näkemyksiin.

Tapaustutkimuksen valinta työn läpi viemiseksi oli oikea. Työ eteni tapaustutkimuksen teorialle tyypillisellä tavalla. Työn alussa tapauksen valintaan kiinnitettiin huomiota tapauksen ainutlaatuisuudesta, jota Eriksson & Koistinen (2005) painottavat. Tapaustutkimuksen mukaan työ ei edennyt kronologisesti, ja välillä vaiheissa palattiin taakse päin. Eriksson ja Koistinen (2005) painottavat tutkimuskysymysten huolellista muotoilua tutkimuksen alkuvaiheessa. Työn ollessa hyvässä vaiheessa tutkimuskysymyksiä jouduttiin muovaamaan ja tarkentamaan, mikä hidasti työn etenemistä. Alussa tutkimuskysymykset olivat muotoiltuna siten, ettei työhön varatussa ajassa olisi ollut minäkäänlaista mahdollisuutta vastata niihin. Lopputulemana teorian ja käytännön välille muodostui keskusteluyhteys ja tapauksesta saatiin eri aineistojen perusteella luotua laaja kokonaiskuva, jota Kallinen & Kinnunen (n.d.) korostavat.

Työ eteni Ulrichin ja muiden (2020) sekä Cooperin Stage-Gate -tuotekehitysmallin mukaisesti. Vaiheet (Stage) ja portit (Gate) toteutettiin hieman sovellettuina mallin mukaan. Konsepteja tuotettiin runsaasti ideoinnin pohjalta, ja systemaattisen arvioinnin pohjalta potentiaalisin konsepti valittiin jatkoon Ulrich ja muiden (2020, 16-18) mukaan.

7.3 Tulosten luotettavuus

Luotettavuuden arviointia tehtiin koko prosessin ajan. Lähteiksi valittiin, mikäli mahdollista, sellaisia artikkeleita ja tietokantoja, joiden kirjoittajista löytyi tietoa. Esimerkiksi aivoriihimenetelmään liittyvän tietoperustan rakentamisessa yhtenä lähteenä käytettiin Gregersenin, Harvardin professorin sekä johtamisen ja innovoinnin vanhemman luennoitsijan, kirjoittamaa artikkelia. Tietoperustan rakentamiseen valitut lähteet valikoituivat sen perusteella, että ne olivat suhteellisen tuoreita tai lähestyivät asiaa kehittävästä näkökulmasta. Aineistoa kerättiin yrityksen sisäisistä arkistoista, aiheeseen liittyvästä koulutusmateriaaleista sekä kirjallisuudesta. Henkilöhaastatteluihin valittiin

monen eri alan asiantuntijoita, joilta löytyi vahvaa ja monipuolista osaamista paperikoneen eri osa-alueilta. Tämän pohjalta työssä rakennettu tietoperusta ei perustunut yksipuolisiin näkemyksiin, sillä tapausta tarkasteltiin tela- ja paperiprosessiasiantuntijoiden sekä tuotekehityksen ja koeajomiestien näkökulmasta. Teemahaastatteluista kerätyt tiedot tarkistutettiin jälkepäin vielä haastateltavilta asiantuntijoilta.

Työlle asetetun rajauksen puitteissa kaikkiin paperiprosessille ominaisiin piirteisiin ei ollut aikaa perehtyä. Tästä johtuen ratkaisu ei välttämättä ota huomioon kaikkia kriittisiä tekijöitä, mutta työn sisällön puitteissa konsepti on potentiaalinen vaihtoehto vietäväksi tarkempiin jatkotutkimuksiin.

7.4 Työn eettisyys

Työn eettisyyden kivijalkana oli itse tuotettu teksti sekä tiedonhaku alkuperäisistä teoksista. Työhön liittyviä eettisiä näkökulmia olivat tietojen salassa pidettävyys, luottamukselliset asiakirjat, tietojen säilyttäminen sekä tekijänoikeuskysymykset. Näiden lisäksi eettisyyden noudattamiseen liittyi plagioinnin tarkastus, johon työntekijä antoi suostumuksensa.

Ennen työn aloittamista työntekijä ja toimeksiantaja allekirjoittavat erillisen salassapitosopimuksen. Arkistoista kerättyjen tietojen säilyttämisen osalta ei syntynyt ongelmaa, sillä työntekijä oli jo aiemmin alkaneen työsuhteen alussa kirjoittanut vaadittavat salassapitosopimukset, ja tietojen säilyttämisen osalta meneteltiin sopimusten mukaan.

Henkilöhaastatteluissa varmistettiin yksityisyyden suoja siten, ettei haastatteluissa kerätty tietoa haastateltavista henkilöistä, vaan heidän osaamisalastaan. Haastateltavia informoitiin aivan aluksi siitä, ettei heidän nimiään tulla julkaisemaan työssä. Haastateltaville kerrottiin, kuinka heidän kertomaansa viitattaisiin työssä, esimerkiksi Tela-asiantuntija 1 ja Koeajojen vetäjä 1. Haastateltavilta kysyttiin heidän ammattinsa ja työkokemuksensa alalta vain lähteen luotettavuuden arvioimiseksi.

8 Loppusanat

Tahdon osoittaa suuret kiitokset Valmetille työn toimeksiannosta sekä erityiset kiitokset kaikille yhteistyöhön osallistuneille henkilöille, jotka mahdollistivat työn toteuttamisen. Työn aihe oli erittäin mielenkiintoinen ja haastava. Oli hienoa päästä hyödyntämään työssä aiempaa työkokemustani Valmetilla. Opinnäytetyötä varten oli kuitenkin välttämätöntä sukeltaa syvemmälle paperiprosessiin. Opinnäytetyön kirjoitusprosessin kautta sain käyttööni paljon uusia hyviä työkaluja tulevaa varten. Sain positiivisen kokemuksen isomman palaverin vetämisestä ja opin työn ohessa paljon uutta Valmetin tuotekehitystoiminnasta sekä -prosessin läpiviemisestä. Lisäksi pääsin kartuttamaan tietoperustaani telojen ja eri paperiprosessin ilmiöiden osalta. Yhteenvetona työ oli kokoava teos entuudestaan tutuista sekä uusista asioista, joiden pohjalta työskentelyä Valmetilla on hyvä lähteä jatkamaan. On mielenkiintoista jäädä seuraamaan, kuinka projekti edistyy ideasta tuotteeksi.

Lähteet

- Ahonen, P. & Cecchini, J. N.d.a. Paper Machine Technology - 4 Forming&Hbx PapTech JC&PA. PDF-muodossa oleva koulutusmateriaali paperikonetekniikasta. Vain sisäiseen käyttöön. Viitattu 29.6.2023.
- Ahonen, P. & Cecchini, J. N.d.b. Paper Machine Technology - 5 Wet Pressing PapTech JC&PA. PDF-muodossa oleva koulutusmateriaali paperikonetekniikasta. Vain sisäiseen käyttöön. Viitattu 29.6.2023.
- Björk, T., Hautala, P., Huhtala, K. ym. 2014. Koneenosien suunnittelu. 6.p. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Cooper, R. G. 2011. Winning At New Products – Creating value through innovation. 4.p. New York: Basic Books.
- Eriksson, P. & Koistinen, K. 2005. Monenlainen tapaustutkimus. Kuluttajatutkimuskeskuksen julkaisu tapaustutkimuksesta pdf-muodossa. Viitattu 13.6.2023. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/152279/Monenlainen_tapaustutkimus.pdf.
- Fraser, I. 2010. Konedirektiivin 2006/42/EY soveltamisopas. 2. p. Viitattu 7.8.2023. https://www.dio.fi/wp-content/uploads/2014/10/Konedirektiivin_soveltamisopas.pdf
- Gregersen, H. 2018. Better Brainstorming. Article about more effective use of brainstorming published in Harvard Business Review Magazine in March-April, 64-71. Viitattu 6.6.2023. <https://hbr.org/2018/03/better-brainstorming>.
- Halme, J. 2018. Aivoriihi - toteutus ja peruseriaatteet. Innovaatiojohtamisen ohjelmistoyritys Orchidea Innovations verkkosivuilla julkaistu blogikirjoitus aivoriihimenetelmästä. Viitattu 6.6.2023. <https://info.orchidea.dev/innovaatio-blogi/aivoriihi>.
- Harisalo, R. 2011. Luovuuden teknologia. Ideointimenetelmät organisaatioiden luovuuden vahvistajina. Tampere University Press.
- Hautala, M. & Peltonen, H. 2002. Insinöörin (AMK) fysiikka osa 1. 6.p. Lahden Teho-opetus Oy.
- Hietikko, E. 2015. Tuotekehitystoiminta. 3.p. Helsinki: Books on Demand.
- Hägglom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2003. Paperin ja kartongin valmistus. 5.p. Opetushallitus.
- Höyrylaatikko. 2023. Tietoa höyrylaatikon toiminnasta Know Papin verkkomateriaaleissa. Viitattu 29.6.2023. http://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_technology/paper_machine/press_section/7_steam_box/frame.htm?zoom_highlightsub=h%F6vrylaatikko.
- Jokinen, T. 1999. Tuotekehitys. 4. tark. ja korj. jatkop. Otatieto Oy. Helsinki: Valopaino Oy.
- Kaasalainen, H. N.d. Esipuristuskokeet 1993-2003. PowerPoint-yhteenvedomateriaali esipuristuskokeista vuosilta 1993-2003. Vain sisäiseen käyttöön. Viitattu 15.6.2023.

Kallinen, T. & Kinnunen, T. N.d. Tapaustutkimus. Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Teoksessa Jaana Vuori (toim.) Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Viitattu 13.6.2023. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/tutkimusasetelma/tapaustutkimus/>.

Kananen, J. 2013. Case-tutkimus opinnäytetyönä. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja -sarja.

Kartonkikoneen puristinosa – yleistä. 2023. Tietoa paperin valmistuksesta Know Pap:n verkkomateriaalissa. Viitattu 24.7.2023. http://www.knowpap.com/extranet/suomi/paperboard technology/8_press_section/0_bm_general/frame.htm?zoom_highlightsub=puristinosa.

Kartonkikoneet. 1997. 2. muunn. p. Sepsilva.

Koeajojen vetäjä 1. 2023. Wet Endin tuotekehitysinsinööri ja koeajojen vetäjä. Jyväskylä Valmet Rautpohja. Haastattelu 14.6.2023.

Koekonemiehistö 1. 2023. Koekoneiden ajaja. Jyväskylä Valmet Rautpohja. Haastattelu 31.7.2023.

Laki yksityisyyden suojasta työelämässä 759/2004. Laki yksityisyyden suojan turvaamisesta työelämässä. Annettu 13.4.2004. Viim. muutos 30.12.2021. Viitattu 25.7.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2004/20040759#a759-2004>

Liiketoimintamme edistää kestäväää kehitystä. 2023. Valmetin arvojen esittely yrityksen omilla verkkosivuilla. Viitattu 15.6.2023. <https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/kestava-kehitys/kestava-kehitys-valmetissa/>.

Mannila, M. 2021. Tapaustutkimus eli Case Study. Artikkelitapaustutkimuksesta Vaasan ammattikorkeakoulun verkkolehdeissä. Viitattu 13.6.2023. <https://energiaa.vamk.fi/osaaminen/tapaustutkimus-eli-case-study/>.

McComber. 2023. What Is a Case Study? Definition, Examples & Methods. Article about the case study at the Scribbr website. Viitattu 14.6.2023. <https://www.scribbr.com/methodology/case-study/>.

Mercangoz, M & Doyle, F. 2006. Model-based control in the pulp and paper industry. Educational material on papermaking published by IEEE Control Systems on the Semantic Scholar website. Viitattu 3.8.2023. <https://www.semanticscholar.org/paper/Model-based-control-in-the-pulp-and-paper-industry-Mercangoz-Doyle/2cb79a71965ca00c4cbea56b0f3ec92b93abe1d0>.

Muut toimialat. N.d. Muiden toimialojen esittely Valmetin verkkosivuilla. Viitattu 12.9.2023. <https://www.valmet.com/fi/muut-toimialat/>.

Märkäpuristus. 2023. Tietoa paperikoneen puristinosa Know Pap:n verkkomateriaaleissa. Viitattu 29.6.2023. http://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper technology/paper machine/press_section/2_operational_principles/frame.htm.

Niemi, P. 2016. Yksityiskohtainen ideoiden vertailu. Työkalu ideoiden vertailuun Eduunin verkkosivuilla. Viitattu 6.7.2023. <https://wiki.eduuni.fi/display/tutSuunnittelijanSalkku/Yksityiskohtainen+ideoiden+vertailu>.

Nippirakenteet. 2023. Tietoa puristuskoneista Know Pap:n verkkomateriaaleissa. Viitattu 24.7.2023. http://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_technology/paper_machine/press_section/3_nip_types/frame.htm.

Paineilman tuotannon kustannukset. 2023. Paineilman käytöstä aiheutuvien kustannusten selvitys Atlas Copcon verkkosivuilla. Viitattu 15.8.2023. <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/greenproduction/cost-of-air-generation>.

Paperin ja kartongin valmistus – tiivistelmä. 2023. Tietoa paperin valmistamisesta Know Pap:n verkkomateriaalissa. Viitattu 13.6.2023. https://www.knowpap.com/www_demo_version/suomi/paper_technology/general/5_papermaking/frame.htm.

Paperiprosessin asiantuntija 1. 2023. Koelaitoksen paperiprosessin asiantuntija. Jyväskylä Valmet Rautpohja. Haastattelu 1.8.2023.

Paperiprosessin asiantuntija 2. 2023. Paperiprosessin asiantuntija ja koeajojen vetäjä. Jyväskylä Valmet Rautpohja. Haastattelu 10.8.2023.

Patenttitimi. 2023. Esipuristus. Yksityinen sähköpostiviesti 16.6.2023. Vastaanottaja: Sonja Taskinen. Vastaus Valmetin patenttitiimiltä patenti- ja kilpailijaselvityksen tuloksista.

Paulapuro, H. 2007. Papermaking Part1, Stock Preparation and Wet End. Helsinki: Paperi ja Puu Oy.

Planisware. 2015. a. Dr Robert Cooper on Innovation and the Future of Stage-Gate. Video interview with Dr. Robert Cooper. YouTube video service. Julkaistu 5.6.2015. Viitattu 8.6.2023. https://www.youtube.com/watch?v=VCWM4ZI_iHo.

Planisware. 2015. b. Stage-Gate in a nutshell. Video interview with Dr. Robert Cooper. YouTube video service. Julkaistu 11.6.2015. Viitattu 8.6.2023. <https://www.youtube.com/watch?v=FNIja0mplDI>.

Pulp and Paper/Board Basics. N.d. Training material about basics of paper. PDF-file. Vain sisäiseen käyttöön. Viitattu 29.6.2023.

Puristinasiantuntija 1. 2023. Tuotekehityksen puristinasiantuntija. Jyväskylä Valmet Rautpohja. Haastattelu 4.7.2023.

Pynnönen, J. 2023. Valmet R&D Process. Tuotekehitysprosessin kuvaus Valmetin sisäisellä viestintäkanavalla. Viitattu 13.6.2023.

Rikkinen, S. 2023. Paperi ja kartonki koulutus 9.6.2023. Kouluttaja Fiber-X:n edustaja. Jyväskylä. Vain sisäiseen käyttöön. Viitattu 15.7.2023.

Saaranen-Kauppinen, A. & Puusiekkä, A. 2006. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto. Tampereen yhteiskuntatieteellisen tietoarkiston julkaisema verkkojulkaisu. Viitattu 28.6.2023. https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L6_3_2.html.

Siirilä, T. 2008. Koneturvallisuus III. Ohjausjärjestelmät ja turvalaitteet. Uudistettu painos. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

Suvanto, K. 2003. Tekniikan fysiikka 1. 1.-8.p. Helsinki: Edita Publishing.

Tapaustutkimus. N.d. Opiskelumateriaalia Jyväskylän avoimen yliopiston sivuilla Koppa-palvelussa. Viitattu 9.2.2023. <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/tapaustutkimus>.

Tekninen operaattori. 2023. Koelaitoksen tekninen operaattori. Jyväskylä Valmet Rautpohja. Haastattelu 4.8.2023.

Tela-asiantuntija 2. 2023. Imutelojen asiantuntija. Jyväskylä Valmet Rautpohja. Haastattelu 14.8.2023.

Telatyypit ja rakenteet. 2023. Tietoa eri telatyypeistä Know Pap:n verkkomateriaaleissa. Viitattu 28.6.2023. [http://www.knowpap.com/extranet/suomi/maintenance/3_equipment/11_rolls/1_ty pes_structure/frame.htm?zoom_highlightsub=viivakuorma](http://www.knowpap.com/extranet/suomi/maintenance/3_equipment/11_rolls/1_types_structure/frame.htm?zoom_highlightsub=viivakuorma).

Tuotekehitysasiantuntija 1. 2023. Wet Endin tuotekehitysasiantuntija. Jyväskylä Valmet Rautpohja. Haastattelu 27.6.2023.

Tuotepäällikkö. 2023. Wet Endin tuotepäällikkö. Jyväskylä Valmet Rautpohja. Haastattelu 12.6.2023.

Ulrich, K. T., Eppinger, S. D. & Yang, M. C. 2020. Product Design and Development Seventh Edition. New York: Mc Graw Hill.

Valmet lyhyesti. N.d. Valmetin toimialan esittely yrityksen verkkosivuilla. Viitattu 12.9.2023. <https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/>.

Valmetin toimialat. N.d. Valmetin suurimpien toimialojen esittely yrityksen verkkosivuilla. Viitattu 12.9.2023. <https://www.valmet.com/fi/>

Valtanen, E. 2022. Tekniikan taulukkokirja. 23.p. Genesis-Kirjat Oy.

Varo puristumisvaara. N.d. Varoituskylltien valikoiman esittely Turvamerkki.fi verkkosivuilla. Viitattu 7.8.2023. <https://www.turvamerkki.fi/varo-puristumisvaara.html>.

Viiraosan vedenpoisto. N.d. Kaavio viiraosan vedenpoistosta KnowPap:n verkkomateriaaleissa. Viitattu 20.6. http://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_technology/2_stock_system/3_short_circulation/16_white_water/viiran_h2opoisto_img.htm?zoom_highlightsub=viiraosan+vedenpoisto.

Visco Nip. 2017. Visco Nipin esitysmateriaali pptx-tiedostossa. Vain sisäiseen käyttöön. Viitattu 7.7.2023.

Yleistä rainanmuodostuksesta. 2023. Tietoa paperin valmistamisesta Know Pap:n verkkomateriaalissa. Viitattu 20.6.2023. http://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_technology/paper_machine/forming/1_forming/frame.htm.

Liitteet

Liite 1. Tavoiteltu painekäyrä (salassa pidettävä).

Liite 2. Vaatimuslista (salassa pidettävä).

Liite 3. Palaverimuistio aivoriihipalaverista.



Palaverimuistio	1/2
Esipuristimen aivoriihipalaveri 22.6. klo 8.30-10.00	INTERNAL Sonja Taskinen 26/06/2023

Esipuristimen aivoriihipalaveri

Osallistujat: Salattu yksityisyyden suojan nojalla. Muistio tulee liitteeksi oppinäytetyöhön. (Laki yksityisyyden suojasta työelämässä 759/2004.)

Palaverin tavoitteen esittely. Tavoitteena oli käydä läpi jo aiemmin pidetyissä pienemmissä aivoriihipalavereissa syntyneet ideat ja valita parhaat ideat jatkokehitykseen. Tavoitteen lisäksi esiteltiin vaatimuslista, jonka pohjalta ideoiden arviointi toteutettiin.

Ideoiden esittely. Kaikki 12 ideaa käytiin aluksi läpi. Aikaa ideoiden esittelyyn varattiin noin 30 min eli n. 3 min / esitys.

Ideoiden jatkokehitys. Osallistujat jaettiin pienempiin ryhmiin tutkimaan ideoita tarkemmin. Ryhmät kirjoittivat kommentteja ja jatkokehitysehdotuksia ideoita post-it lapuille. Aikaa kyseiseen toimintaan varattiin 20 min.

Äänestäminen. Jokainen osallistuja pisteytti kolme parasta ideaa eri värisillä post-it -lapuilla. Keltainen 3 p. Sininen 2p. Punainen 1p. Äänet laskettiin yhteen ja voittajat julkaistiin:

- 1. sijalla idea nro 4 ja 12, 10p.
- 2. sijalla idea nro 6, 8p.
- 3. sijalla idea nro 8, 6p.

Kommenttikierros. Loput ajasta käytettiin parhaiden ideoiden vapaaseen kommentointiin. Tärkeät havainnot ja huomiot kirjattiin ylös ideoiden jatkokehitystä varten.

Seuraava tapaaminen. Tarpeen mukaan kesälomien jälkeen järjestetään vielä yksi iso tai muutama pienempi palaveri eri osallistujien kesken ideoiden tarkempaa läpikäyntiä varten.

Liitteet: Vaatimuslista

Liite 4. Idea numero 8 (salassa pidettävä).

Liite 5. Idea numero 3 (salassa pidettävä).

Liite 6. Idea numero 12 (salassa pidettävä).

Liite 7. Idea numero 4 (salassa pidettävä).

Liite 8. Ideoiden analysointi.

Tulosten analysointi													
Idean pisteytys	2p.	-	3p.	10p.	5p.	8p.	-	6p.	-	2p.	-	10p.	3p.
Idean numero	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
KAP:n toteutuminen ei riittävä	x	x								x			
Riittävän korkean vedenpoistopaineen saavuttaminen haaste	x	x											
Alkuvedenpoisto tarvitaan								x					
Tiivistämisen haasteet	x				x	x							
Likaantumisen haasteena					x								
Huono hyötysuhde					x								
Riittävä puristusaine KAP nousuun			x	x					x				
Kitka		x									x		
Viipymäaika liian lyhyt									x				
Säädettävä painekäyrä			x										
Vesi jää nippiin							x		x				
Suuri peittokulma							x						
Veden poisto huomioitu, suuri avotilavuus vastatelalla			x			x							
Tuttu tekniikka				x									
Uudenlainen lähestymistapa						x							x
Lämpötilan noston hyödyntäminen				x		x							
Viiran kireyden haasteet					x								
Kaksoisviiran käyttö					x	x							
Hyvä hyötysuhde						x							
Tila-ahtaus tuotantokoneella							x						
Metalliviiran käyttö						x	x						
Vastatelalla ei riittävä avotilavuutta									x		x		
Markkeeraako?						x				x			
Joustava kenkä tarvitaan			x									x	
	= Haasteet, joihin tulee kiinnittää huomiota												
	= Neutraali asia, otetaan suunnittelussa huomioon												
	= Etu, joka saavutetaan kyseisellä menetelmällä												

Liite 9. Konsepti-idea 1 (salassa pidettävä).

Liite 10. Konsepti-idea 2 (salassa pidettävä).

Liite 11. Konsepti-idea 3 (salassa pidettävä).

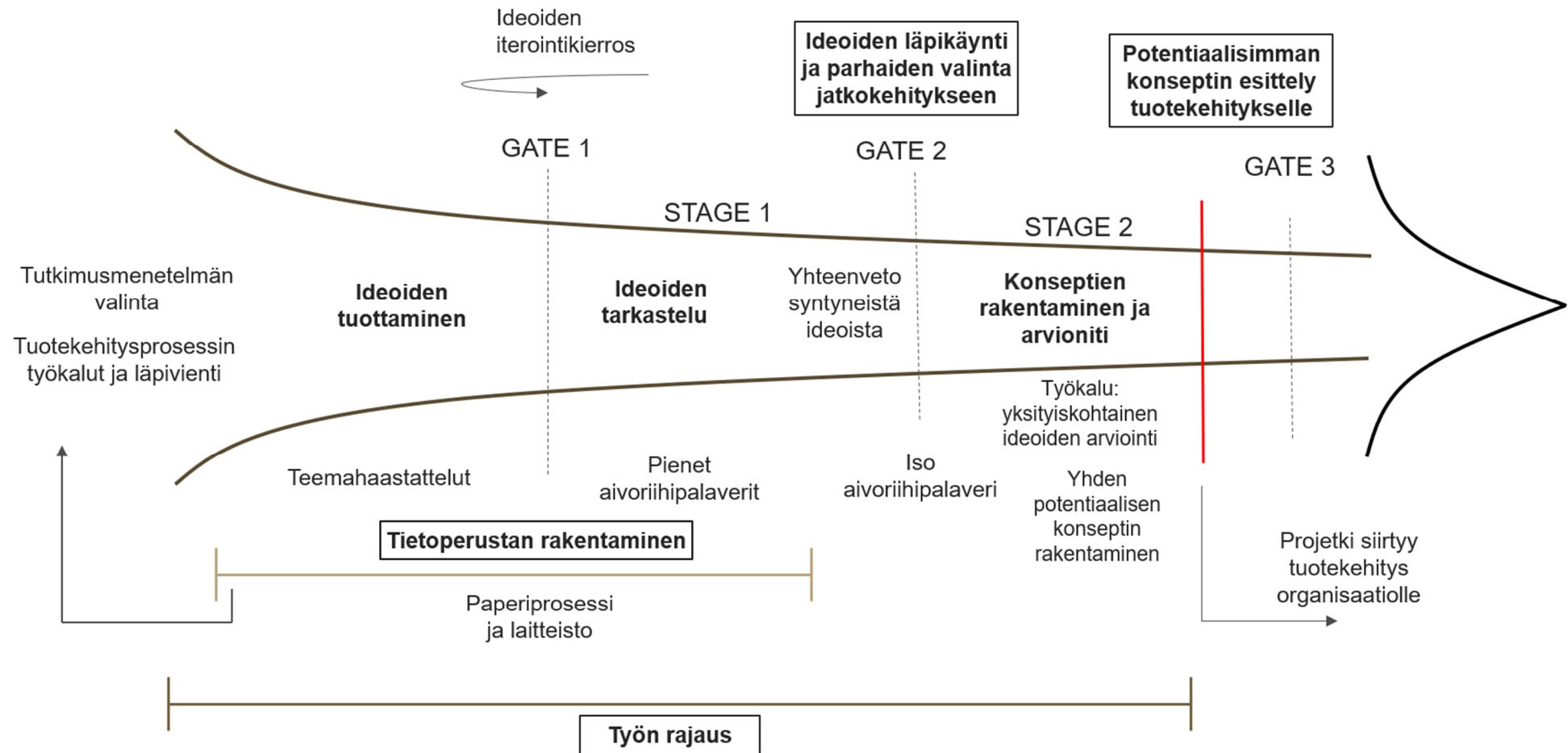
Liite 12. Konsepti-idea 4 (salassa pidettävä).

Liite 13. Konsepti-idea 5 (salassa pidettävä).

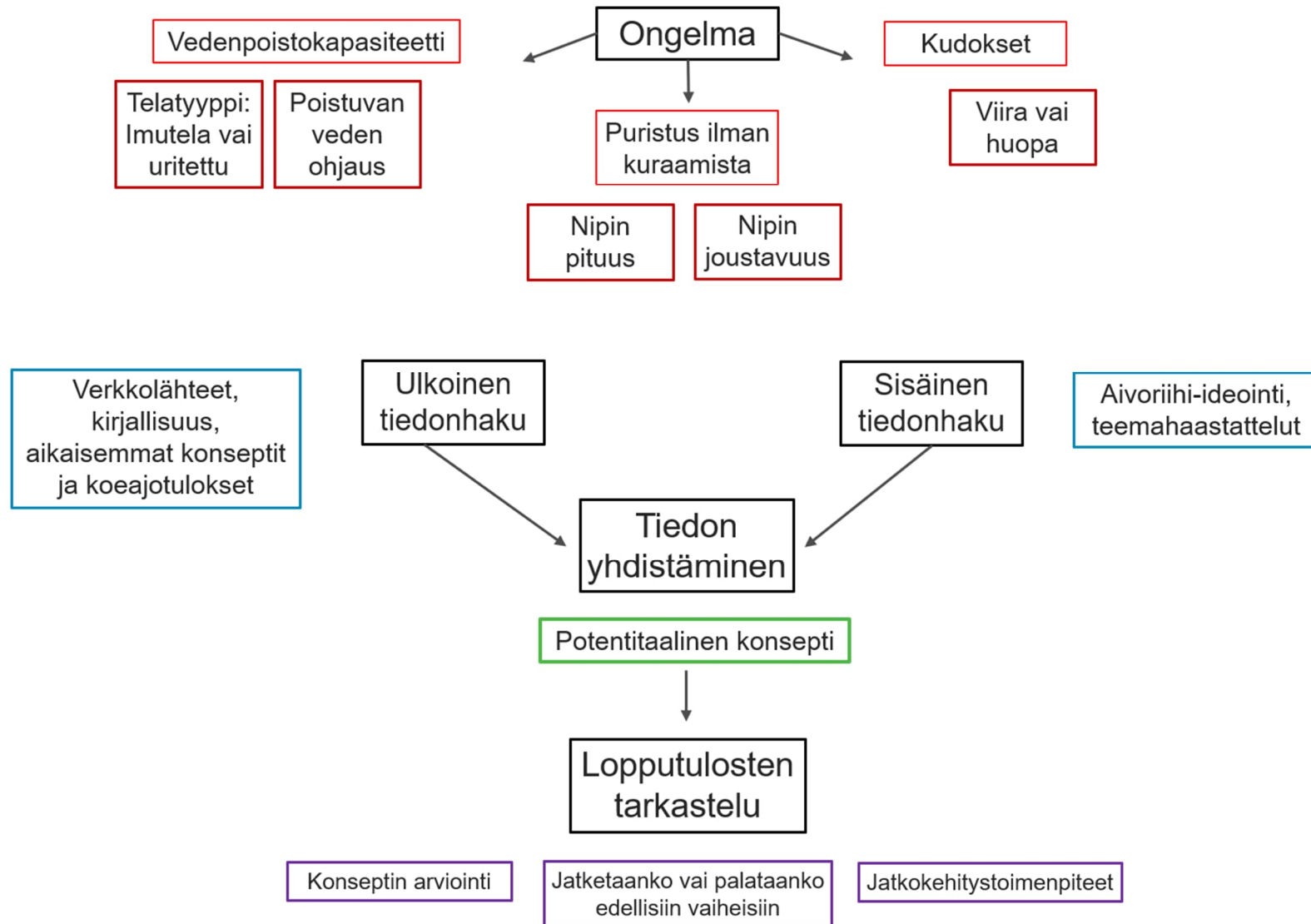
Liite 14. Konsepti-idea 6 (salassa pidettävä).

Liite 15. Konsepti-idea 7 (salassa pidettävä).

Liite 16. Työn eteneminen Stage-Gate -mallin mukaan.



Liite 17. Luonnosteluprosessin eteneminen.



Liite 18. Toimintaperiaatteen testaus (salassa pidettävä).