

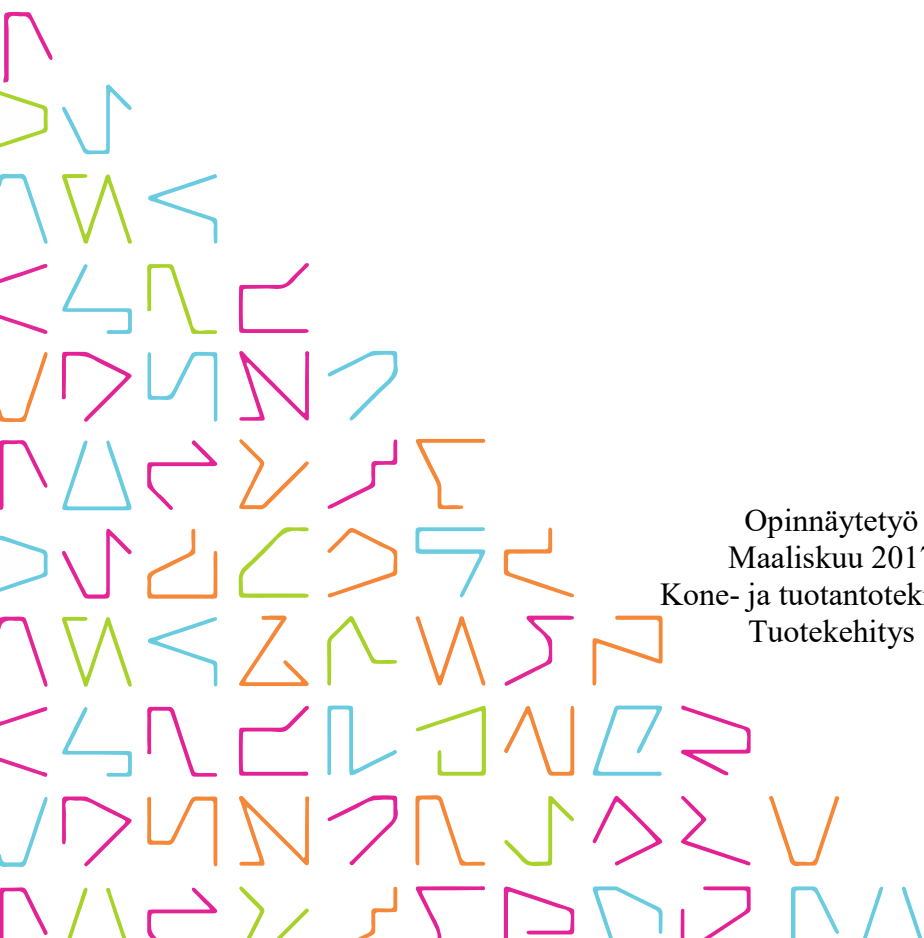


TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# PAPERIKONEKUDOSTEN TEOLLISEN INTERNETIN KEHITTÄMINEN

Lasse Janhunen

Opinnäytetyö  
Maaliskuu 2017  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotekehitys



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotekehitys

JANHUNEN, LASSE:  
Paperikonekudosten teollisen internetin kehittäminen

Opinnäytetyö 40 sivua  
Maaliskuu 2017

---

Teollisen internetin suosio on kasvanut huomattavasti muutaman viime vuoden aikana. Yrityksen, jolla on käytössään teollisen internetin työkaluja, asiakassuhde muuttuu täysin. Tulevaisuudessa menestyksekkäin yritys on se, joka pystyy parhaiten auttamaan asiakastaan parantamaan prosessejaan. Valmetilla teollisen internetin osaaminen kasvoi huomattavasti vuonna 2015, kun automaatio-liiketoimintalinja liittyi yritystön jälkeen osaksi yritystä. Nykyään teollisen internetin mahdollisuuksien hyödyntäminen on osa Valmetin strategiaa.

Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää Valmet Technologies Oy:n paperikonekudosityksikön teollisen internetin tarjontaa. Yksiköllä on useita etäseurantatyökaluja asiakkailta saatavan datan käsittelemiseen, mutta niiden pohjalta paperikonekudosten benchmarkkaus on työlästä. Tavoitteena opinnäytetyössä on määrittää yritykselle ohjelmisto, jonka avulla voidaan automaattisesti muodostaa etäseurantadatasta raportteja kudosten vertailusta. Raportointiohjelman lisäksi opinnäytetyössä määritellään kohdeyritykselle etäseurantadatan avulla muodostetut suorituskykymittarit kudosten objektiiviseen benchmarkkukseen. Opinnäytetyö on rajattu kudosten osalta merkäviirioihin sekä puristinhuopiin.

Projektin aikana raportointiohjelmistosta saatiin luotua esiversio, joka oli ominaisuuksiltaan vielä melko primitiivinen. Tavoitteena oli luoda helppokäyttöinen sekä nopea benchmarkkaustyökalu ja siinä onnistuttiin. Vaikka ohjelmaa ei annettu vielä muiden Valmetin asiantuntijoiden käyttöön, saatiin asiantuntijoille laaditusta kyselystä arvokasta palautetta paperikonekudosten teolliseen internetiin liittyen. Kysely toi uusia näkökulmia ohjelmistoon vaadittavista ominaisuuksista sekä mahdollisesti etäseurantadatasta luotavien suorituskykymittarien määrittämisen. Sekä energiankulutuksen että toiminnan suorituskykymittarien avulla saatiin järkevää vertailua etäseurantadatasta. Varsinkin energiankulutuksen mittarista saatiin objektiivinen sekä kuvaava benchmarkkauksen apuväline.

Opinnäytetyön liitteet on salattu toimeksiantajan pyynnöstä, ja ne sisältävät Valmetin asiantuntijoiden kommentteja sekä suorituskykymittareilla luotuja asiakastehtaan kudosvertailuja. Molemmat kohdat, sekä varsinkin suorituskykymittareiden laskennan periaatteet, on avattu yleisellä tasolla opinnäytetyössä.

## ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences  
Mechanical Engineering  
Product Development

JANHUNEN, LASSE:  
Developing the Industrial Internet of Fabrics

Bachelor's thesis 40 pages  
March 2017

---

The success of industrial internet has grown remarkably during the last few years. A company that utilizes the tools of the industrial internet will see a complete transformation in their customer relationships. In near future the most successful company will be the one which can help customers to improve their processes the most. The knowhow on industrial internet in Valmet grew remarkably in 2015 when the automation business unit was merged to Valmet as result of company acquisition. Today, utilization of the possibilities offered by industrial internet is part of Valmet's main strategies.

The purpose of this thesis to further develop the industrial internet products that the business unit of Valmet Fabrics offers to customers. The unit has many tools to do remote data analysis for the customers but with them the benchmarking of fabrics is time-consuming. The goal of the was to (design and) develop a program for the company which can automatically generate fabrics benchmarking reports from remote data. In addition to the program, further goal was to define two key performance indicators for fabrics from the remote data. The key performance indicators will be used for objective benchmarking of fabrics. From fabrics perspective the thesis was delimited to forming fabrics and press felts.

During the timeframe of the project, only a preliminary version of the reporting tool was created which had quite primitive attributes. However, the primary goal of creating a user-friendly and efficient benchmarking tool was reached successfully. A survey given to professionals at Valmet gave valuable feedback concerning the industrial internet of fabrics. New viewpoints about the features required for the reporting program were brought up in the survey, and it also made the defining of remote data key performance indicators possible. Remote data was analyzed with performance indicators on energy consumption and overall performance, which made it possible to make effective comparisons. Especially energy consumption's performance indicator turned out to be a surprisingly objective and clear benchmarking tool.

The appendices of the thesis were encrypted because of confidential reasons. Appendixes contain Valmet's professionals' open comments to the survey and also benchmarking of the customer's mill's fabrics using the performance indicators. Both items and especially the basics of key performance indicators' calculation are opened generally in the thesis.

---

Key words: paper machine clothing, key performance indicator, industrial internet, benchmarking

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	VALMET TECHNOLOGIES .....	6
	2.1 Valmet.....	6
	2.2 Paper Machine Clothing .....	7
3	PAPERIKONEKUDOKSET.....	8
	3.1 Märkäviirat.....	8
	3.2 Puristinhuovat .....	11
4	TUTKIMUS ETÄSEURANNAN TUNNUSLUVUISTA.....	15
	4.1 Tutkimuksen määrittely .....	15
	4.2 Tutkimuksen tuottaminen .....	16
	4.3 Tutkimustulokset .....	17
	4.4 Avoimet kehitysehdotukset.....	20
5	PAPERIKONEKUDOSTEN TEOLLINEN INTERNET.....	22
	5.1 Teollinen internet.....	22
	5.2 Teollinen internet Valmetissa .....	22
	5.3 Paperikonekudosten etäseuranta .....	23
	5.3.1 Etäseurantaraportit .....	24
	5.3.2 Raportoinnin kehittäminen.....	25
6	SUORITUSKYKYMITTARIT .....	29
	6.1 Suorituskykymittarit yleisesti .....	29
	6.2 Kudosten suorituskykymittarien määrittely .....	30
	6.2.1 Toiminnan suorituskykymittari.....	30
	6.2.2 Energiankulutuksen suorituskykymittari .....	34
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	37
	LÄHTEET.....	39

## 1 JOHDANTO

Teollisen internetin suosio on kasvanut huomattavasti muutaman viime vuoden aikana. Se määritellään yhdistämällä älykkäät koneet, ihmiset sekä prosessit kokonaisuudeksi. Sijaintiin, tilaan, ominaisuuksiin ja muihin relevantteihin lähteisiin liittyvä data kerätään, lähetetään internetin kautta ja jalostetaan analytiikkatyökaluille. Teollinen internet sisältää lähes aina analytiikkaa sekä usein myös käyttäjän toimien analysointia.

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Valmet Technologies Oy:n teollisen internetin tarjontaa. Projektissa määriteltiin Valmetilla käytössä olevista paperikonekudosten etäseurantaan liittyvistä työkaluista raportointiohjelmisto. Työvaiheen tarkoituksena oli luoda helppokäyttöinen sekä mahdollisimman automaattinen raportointiohjelmisto Valmetin paperikonekudosten toiminnan seuraamiseksi sekä benchmarkkaamiseksi. Raportointiohjelmasta tulevat raportit ovat asiakkaalle suunnattuja, ja niitä voidaan käyttää esimerkiksi myynnin edistämiseen sekä tuotekehitykseen.

Opinnäytetyössä keskityttiin myös etäseurantadatasta rakennettujen kudosten suorituskykymittarien luomiseen. Suorituskykymittarien rakentamisessa käytettiin apuna kvantitatiivista tutkimusta Valmetin asiantuntijoille. Tutkimusta käytettiin apuna työkalujen luomiseen, joilla pystytään etäseurantadatasta suorittamaan paperikonekudosten objektiivista benchmarkkausta.

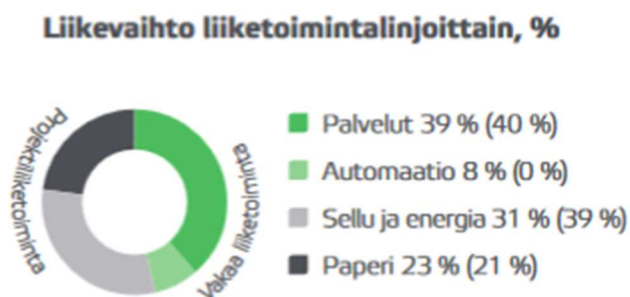
Opinnäytetyö on rajattu raportointiohjelman sekä suorituskykymittarien määrittelyyn. Varsinaisen ohjelmointityön suorittaa Valmetin alihankkija. Paperikonekudoksissa opinnäytetyö on rajattu merkäviiroihin sekä puristinhuopiin.

## 2 VALMET TECHNOLOGIES

### 2.1 Valmet

Valmet Technologies Oy on maailman johtava teknologian, automaation ja palveluiden toimittaja paperi-, sellu- ja energiateollisuudelle. Yli 12 000 Valmetin työntekijää mahdollistavat kattavat palvelut kunnossapidosta voimalaitosten parannuksiin ja varaosiin. Kattavan palvelutarjonnan lisäksi Valmetilta löytyy teknologiatarjonnastaan muun muassa sellutehtaita, kartongin- ja paperinvalmistuslinjoja sekä bioenergiaa tuottavia voimalaitoksia. Näiden lisäksi tuotevalikoimaan kuuluu myös koko tehdasalueen kattavat automaattioratkaisut. (Valmet lyhyesti 2016).

Valmet jakautuu neljään eri liiketoimintalinjaan. Liiketoimintalinjoja ovat palvelut, automaatio, paperi sekä sellu ja energia. Liikevaihto vuonna 2015 oli noin 2,9 miljardia euroa ja sen jakautuminen linjoittain näkyy kuvassa 1. Palveluita ja automaatiota kutsutaan vakaiksi liiketoiminnoiksi, koska niiden vakaat markkinat perustuvat asennetun laitekannan kokoon ja tehtaiden käyttöasteisiin. Paperi-, kartonki- ja pehmopaperikoneita sekä sellutehtaita ja voimakattiloita kutsutaan projektiliiketoiminnaksi. Niiden kysyntää ohjaavat uudet tehdasinvestoinnit, joten projektiliiketoiminta on syklisempää ja epävakaampaa kuin vakaa liiketoiminta. (Vuosikatsaus 2015).



KUVA 1. Liikevaihto liiketoimintalinjoittain (Vuosikatsaus 2015)

## 2.2 Paper Machine Clothing

Tampereen Kaukajärvellä pääosin sijaitseva, paperikonekudoksia valmistava Valmetin yksikkö (entinen Valmet Fabrics, Metso Fabrics, Tamfelt, Tampereen Verkatehdas), on yksi maailman johtavista teknisten tekstiilien valmistajista. Paperikonekudosyksikön tuotevalikoimaan kuuluu paperi-, kartonki- sekä pehmopaperikoneitten märkäviirat, puristinuovat, kuivatusviirat sekä kenkäpuristimen beltit (kuva 2). Yrityksen historiaan mahtuu paljon, sillä se on perustettu jo vuonna 1797. Tehtaita on kuudessa maassa ja henkilöstöä noin 1300. Päämarkkina-alueet ovat Eurooppa, Pohjois-Amerikka, Aasia ja Latinalainen Amerikka. (PMC-yksikön Intranet 2016)



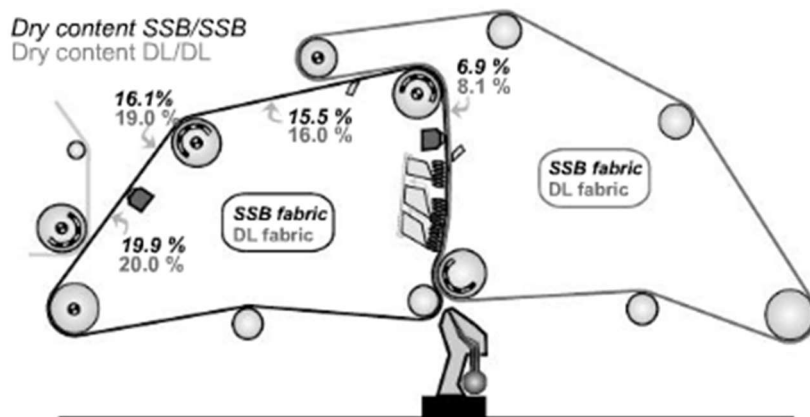
KUVA 2. PMC-yksikön tuotevalikoima (Valmet: Paperikonekudokset 2016)

Paperikonekudosyksikössä on jo pitkään tehty yhteistyötä paperikoneiden valmistajien, suodatinvalmistajien, yliopistojen ja tutkimuskeskusten kanssa. PMC:llä on vahva referenssipohja maailman nopeimmilta paperi- ja kartonkikoneilta. Yksiköllä on myös modernit tekstiili- ja paperilaboratoriot, joissa tehdään raaka-aineiden ja tuotteiden laadunvalvontaa, analysoidaan käytettyjä tuotteita sekä asiakkaiden paperinäytteitä. Tuloksia hyödynnetään mm. tuotekehityksessä, tuotantoprosessien kehityksessä ja tulosten avulla voidaan havaita häiriöitä asiakkaiden tuotantoprosesseissa. Yhteiset kehitysprojektit ja ongelmanratkaisu asiakkaiden kanssa ovat myös merkittävä osa yrityksen toimintaa. (PMC-yksikön Intranet 2016).

### 3 PAPERIKONEKUDOKSET

#### 3.1 Märkäviirat

Märkäviira on kudottu ja loppumaton paperikonekudos, joka siivilöi veden massakoostumuksesta paperi-, kartonki- tai sellunkuivauskoneella. Siivilöinnin pitää kuitenkin tapahtua niin, että kuidut eivät pääse läpi. Näin paperirata eli raina voi syntyä. Siivilöinnin lisäksi viiran tärkeimpänä tehtävänä on kuljettaa sekä tukea rainan kulkua perälaatikolta puristinosalle asti. Märkäviiralle levitettäessä massasta on noin 99 % vettä ja sitä poistuu viiran läpi erilaisten vedenpoistoelementtien avulla. Nykyaikaisessa paperikoneen viiraosassa on yleensä kaksi märkäviiraa ja vedenpoistoelementtien määrä on huomattavasti pienempi kuin vanhoissa paperikoneissa. Kuvassa 3 on esimerkki kuiva-aineen muodostumisesta kahdella eri märkäviiratyypillä nykyaikaisessa viiraosarakaisussa. Paperin perusrakenne määräytyy silti nimenomaan paperikoneen viiraosalla. Märkäviiran vaikutus paperin laatuun on siis merkittävä ja yleisesti puhutaan, että viiraosalla syntynyt paperin laatu pyritään myöhemmissä prosessivaiheissa mahdollisimman hyvin ylläpitämään. (Paulapuro 2007; KnowPap 2016).

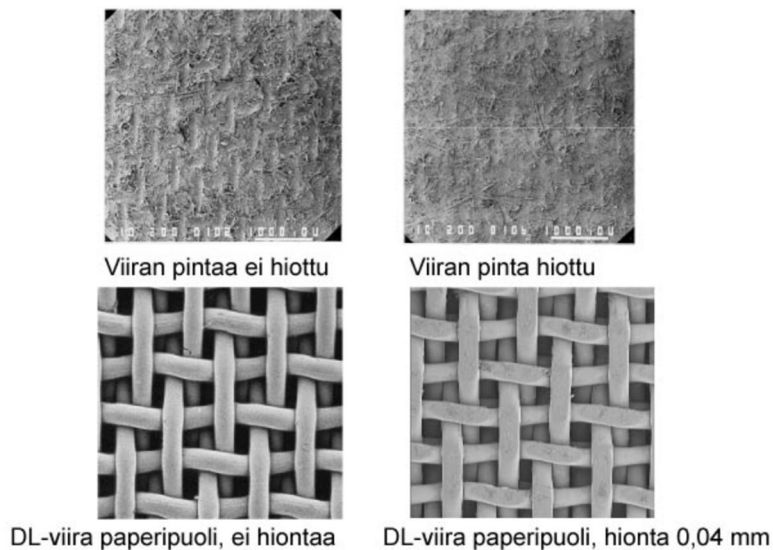


KUVA 3. Kuiva-aineen muodostuminen viiraosalla (Paulapuro 2007)

Märkäviiraja käytetään useissa eri olosuhteissa. Viiranopeudet vaihtelevat koneittain 100 m/min nopeudesta jopa yli 1900 m/min. Viiranopeus ei saa kuitenkaan ajon aikana vaihdella, sillä siitä seuraa paperiin neliömassavaihteluita. Viiratyypin valintaan vaikuttaa koneella tuotettava paperilajike sekä viiraosan rakenne. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että mitä hienompaa paperia valmistetaan, sitä tiheämpi viira valitaan. Märkäviiran vai-



kutus paperin tai kartongin ominaisuuksiin on todella merkittävää, koska suuri osa valmiin tuotteen ominaisuuksista määräytyy viiraosalla. Tärkeimmät märkäviiran ominaisuudet ovat vedenpoisto, stabiilius, kulumisen kesto sekä markkeeraamaton rakenne (kuva 4). Viirarakenteen tasalaatuisuus on myös ensiarvoisen tärkeää viiraosan vakaan toiminnan kannalta. Tasalaatuisuuden lisäksi viirojen reunojen on oltava suorat hyvän ohjattavuuden takaamiseksi eivätkä reunat saa käyristyä kumpaankaan suuntaan eli paperipuolelle tai kulutuspuolelle (ylöspäin tai alaspäin). (Paulapuro 2007; KnowPap 2016).



KUVA 4. Viiramarkkeeraus (KnowPap 2016)

Viirat valmistettiin ennen pronssista, mutta vuodesta 1988 lähtien on siirrytty käyttämään muovista valmistettu viiroja. Muoviviirojen etuna on pidempi käyttöikä sekä huomattavasti helpompi kunnossapito. Viirat valmistetaan pyöreistä polyesteri- (PET) sekä polyamidimonofilamenteista (PA), joiden halkaisija vaihtelee 0,10 mm ja 0,50 mm välillä. Polyesteriä voi käyttää kone- sekä poikkisuunnassa mutta polyamidisäikeitä vain poikkisuunnassa. Syynä tähän on polyesterin huomattavasti parempi vetolujuus sekä vähäinen venymä polyamidiin verrattuna. Pronssiviiraan nähden muoviviiran ongelmana on 3-4 kertaa pienempi venymä verrattuna samalla kuormituksella pinta-alayksikköä kohden. (Paperikoneet, yleistä 1999; Paulapuro 2007).

Märkäviirojen valmistuksessa vaaditaan erittäin suurta tarkkuutta. Jo pienetkin kudonnan lankatiheyserot aiheuttavat paikallisia muutoksia läpäisyyn, mikä taas tarkoittaa muutosta vedenpoistossa ja paperin ominaisuuksissa. Kudonnan jälkeen kudokset lämpökäsitellään

ja leikataan kokoonsa. Leikkauksen jälkeen kudokset saumataan päättömiksi. Myös saumallisia (paperikoneella saumattavia) märkäviiroja on markkinoilla, mutta uusien paperikoneitten kudosten vaihtamista helpottavien ominaisuuksien (kantileveeraus) vuoksi niiden suosio on vähäisempää. Saumauksen jälkeen kudoksesta menee viimeistykseen, jossa voidaan muun muassa kiillottaa viiran paperipuolta sekä vahvistaa viiran reunoja. Viimeistelyn jälkeen kudoksesta on valmis pakattavaksi ja lähetettäväksi asiakkaalle. (Häggblom-Ahnger & Komulainen 2006, Paulapuro 2007).

PCA:n (European Paper Machine Clothing Association) mukaan viirarakenteet on luokiteltu standardityypityksen mukaisesti:

- yksikerrosviira (SL)
- kaksikerrosviira (DL)
- kolmikerrosviira (TL)
- SSB-viira (Self Support Binder)
- monikerrosviira (TW)

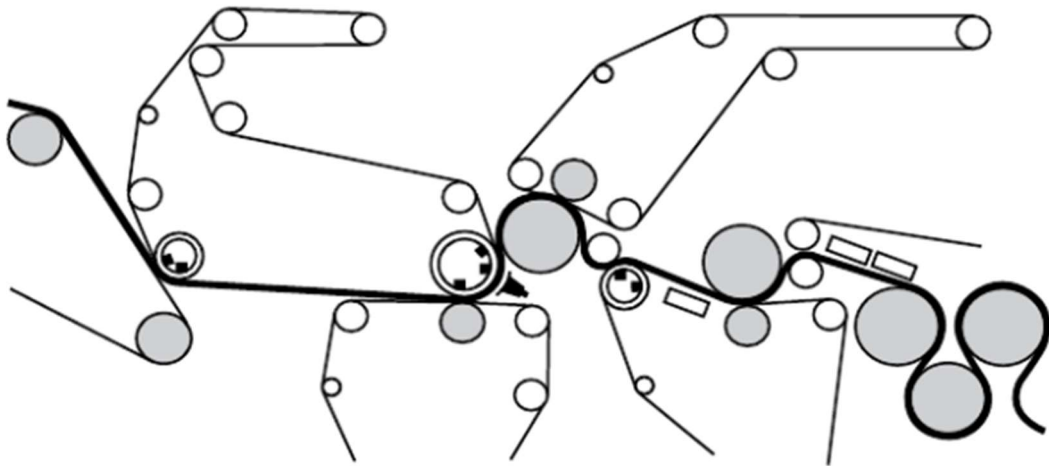
Tyypillisimmät märkäviirarakenteet ovat kaksikerros-, SSB- tai monikerrosviiroja (kuva 5). Kaksikerrosviirassa on yhden konesuuntaisen ja kahden poikkisuuntaisen lankajärjestelmän rakenne. SSB-viira on kolmikerrosviira, missä sidelanka muodostaa osan paperipuolen pinnasta ja samalla sitoo kerrokset yhteen. Kaksikerrosviiroihin verrattuna SSB-rakenteet tarjoavat muun muassa parempaa viiran stabiiliutta sekä pidempää ajoikää. Monikerrosviirat ovat taas yhden konesuuntaisen, kolmen poikkisuuntaisen ja yläpuolisen lisälankajärjestelmän rakenne. Niillä saadaan muita viiratyyppejä tasaisemmat poikittaisprofiilit, koska monikerrosviirat ovat muita viirarakenteita jäykempiä poikittaissuunnassa. TW-viirujen haittapuolena on viiran paksuampi rakenne, mikä kasvattaa viiran kuljettamaa vesimäärää, joka saattaa alentaa viiraosan jälkeistä kuiva-ainepitoisuutta. (KnowPap 2016).



KUVA 5. Tyypillisimmät märkäviirarakenteet (Paulapuro 2007)

### 3.2 Puristihuovat

Puristinosalla vettä poistetaan puristamalla paperirataa kahden telan välisessä nipissä puristihuopaa vasten. Poistuvasta vedestä osa poistuu huovan läpi kaukaloon, jolloin puhutaan nippi- eli kaukalovedenpoistosta, ja taas osa rainasta poistuvasta vedestä jää huopaan, josta vettä poistetaan huopaimulaatikoilla. Imulaatikoilla poistettua vesimäärää kutsutaan imulaatikkovedenpoistoksi. Puristihuopia käytetään paperi- ja kartonkikoneitten puristinosalla, johon ne räätälöidään erikseen jokaiselle eri positiolle. Kuvassa 6 on moderni neljän puristihuovan puristinosaratkaisu yksinkertaistettuna. Huovat ovat kosketuksessa paperin pintaan ja näin ollen ne vaikuttavat huomattavasti paperin laatuun. Puristihuopien keskimääräinen hinta vuonna 2010 oli noin 60-65 eur/kg. Nopeakäynteisessä paperikoneessa puristihuopien ikä on keskimäärin kolmesta neljään viikkoa. Viiraosalla muodostunut 15-20% rainan kuiva-ainepitoisuus saadaan puristinosan jälkeen (lajista, koneesta ja monesta muusta tekijästä riippuen) 35-52 %. (Holik 2013; KnowPap 2016).



KUVA 6. Moderni neljäpuristiminen puristinosaratkaisu (Paulapuro 2007)

Puristihuovan kolme tärkeintä tehtävää ovat kestävyys eli pitkä käyntiaika, erinomainen vedenpoisto sekä markkeerattomuus. Erinomainen vedenpoisto tarkoittaa sitä, että huopa ottaa nipissä sisäänsä rainasta vettä, mikä edellyttää huovalta tarpeeksi pientä virtausvastusta, jotta vesi voi kulkea puristuneeseen huopaan nipissä. Hyvällä puristihuovan vedenpoistolla saadaan rainan kuiva-ainepitoisuus nousemaan, mikä vähentää kuivatusosan energiankulutusta ja parantaa paperikoneen ajettavuutta rainan lujouden kasvaessa. Puristihuovan tulee myös kuljettaa ja tukea paperirataa aina viiraosalta kuivatusosalle

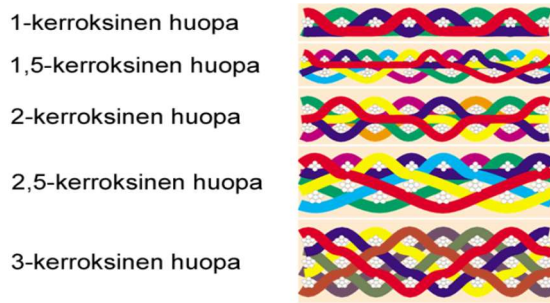
saakka ja estää sitä puristisvaurioilta ja murskaantumiselta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, KnowPap 2016).

Puristinhuovat valmistettiin aikaisemmin villakudosta huovuttamalla. Nykyään puristinhuopa koostuu yhdestä tai useammasta peruskudoksesta, jonka molemmille puolille on neulottu katkokuitua eli hahtuvia. Hahtuvat antavat huovalle sileän pinnan, joka jakaa kuormituksen tasaisesti huovalle sekä paperille nipissä. Puristinhuopia on olemassa märkäviirojen tapaan päättömiä sekä saumattomia. Materiaalina puristinhuovissa käytetään pääosin polyamidia, joka tunnetaan paremmin nylonina. Polyamidi on kestävä, lujaa ja sillä on erinomainen kulumiskestävyys, minkä takia se onkin syrjäyttänyt useimmat puristinhuovissa aikaisemmin käytetyt materiaalit. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, Paulapuro 2007).

Nykyisin puristinhuovat jaetaan niiden perusrakenteen mukaan, mikä määrää huopien lujuuden sekä vaikuttaa huomattavasti vedenpoisto-ominaisuuksiin. Nykyaikaisia huopatyyppejä ovat:

- 1-pohjaiset kudotut huovat
- kudotut laminaattihuovat
- kutomattomat huovat
- komposiittihuovat
- saumalliset huovat

Puristinhuopia, joissa on yksi peruskudos, kutsutaan nimensä mukaisesti 1-pohjakankaisiksi kudotuiksi huoviksi. 1-pohjakankaisia kudottuja huopia on olemassa 1-, 2- sekä 3-kerroshuopina (kuva 7) ja kerroksellisuus määräytyy sen mukaan, kuinka monessa kerroksessa peruskudosta on koneensuuntaisia lankoja. On olemassa myös 1,5- sekä 2,5-kerroksisia peruskudoksia, joiden rakenteilla tavoitellaan sileää pintaa sekä parempaa kontaktia huovan ja paperiradan välille. (KnowPap 2016).



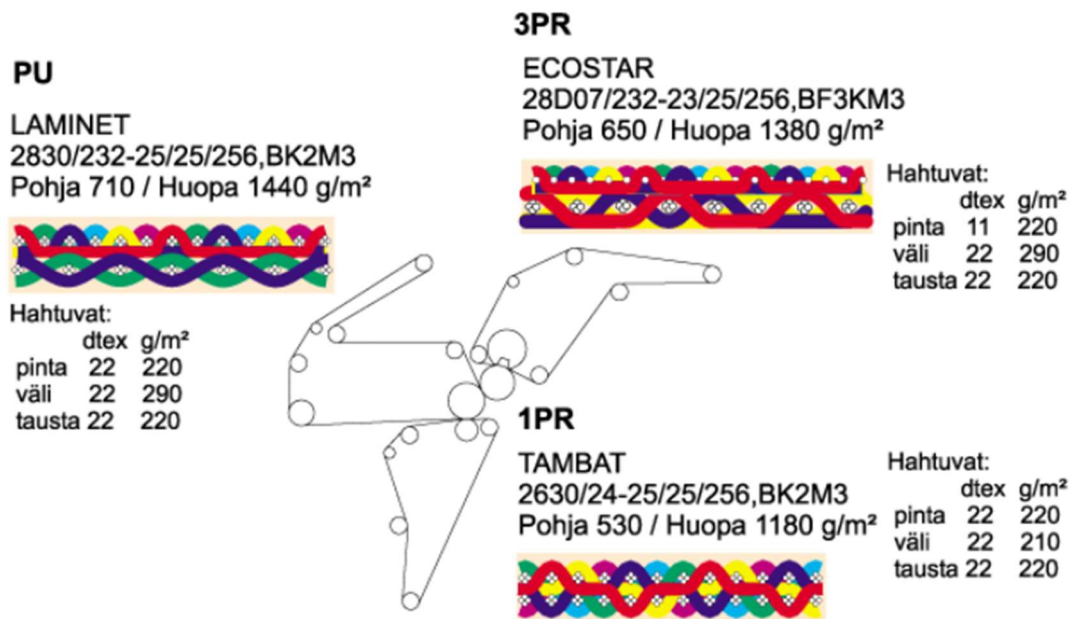
KUVA 7. 1-pohjaiset kudotut huovat (KnowPap 2016)

Laminaattihuovat ovat päättömiä puristinhuopia, missä on kaksi tai useampia peruskudoksia neulattu yhteen hahtuvan avulla. 1-pohjakankaisiin huopiin verrattuna laminaattihuovan rakenne on kokoonpuristumattomampi ja se säilyttää ominaisuutensa pidempään. Laminaattihuovat ovat myös osoittautuneet erinomaisiksi telaperäisten markkeerausten vähentämisessä. Kutomattomat puristinhuovat eroavat laminaattihuovista sekä 1-pohjaisista kudotuista huovista niiden erilaisesta perusrakenteesta johtuen. Kone- ja poikkisuuntaiset langat eivät polveile laminaattihuopien sekä 1-pohjaisten tapaan keskenään, vaan langat on aseteltu vierekkäin erikoismenetelmiä käyttäen. Komposiittihuovat ovat taas puristinhuopia, joiden perusrakenteessa on normaalien (kudottujen tai kutomattomien) komponenttien lisäksi muita materiaaleja. Näitä ovat muun muassa uretaanivahtokerrokset tai verkkomaiset polyuretaanimatot, jotka on liitetty usein perinteiseen kudottuun pohjakankaaseen. Komposiittihuovilla saadaan esimerkiksi puristinhuopien vedenpoiston starttia eli uuden huovan kaukalovedenpoiston normalisoitumista nopeutettua huomattavasti. (Gavelin 1998, KnowPap 2016).

Vanhemmilla paperikoneilla ja useimmilla kartonkikoneilla modernin saumattoman huovan vaihtaminen on erittäin työlästä ja osittain jopa vaarallista. Tästä syystä huopatoimitajat ovat kehittäneet saumallisia puristinhuopia, jotka saumataan vasta koneella. Suurimmat haasteet saumallisissa huovissa on saada sauma sellaiseksi, että se ei aiheuta lopputuotteeseen markkeerausta. Saumahuopien asennus eli saumaus kestää kohteesta riippuen noin tunnin. Saumahuovilla saadaan huomattavasti parempi vedenpoisto samassa positiossa saumattomaan huopaan verrattuna, koska huovasta voidaan tehdä huomattavasti painavampi, jolloin huopa pystyy sitomaan itseensä enemmän vettä paperiradasta. Uusilla paperikoneilla saumattomienkin huopien vaihtaminen on tehokasta, joten niillä ei juurikaan saumahuopia käytetä. (Gavelin 1998, Holik 2013).

Puristinhuopien tyyppi ja ominaisuudet joudutaan valitsemaan aina jokaiselle kohteelle erikseen, vaikka samanlaista esimerkiksi paperilajia tuottavat puristinosat ovat hyvin samankaltaisia. Vedenpoiston optimointi on huopatoimittajien suunnittelun tärkein tavoite, mutta toimittajien täytyy ottaa myös huomioon muun muassa puristinosan rakenne, paperin valmistamiseen käytetty raaka-aino, tuotettava laji, koneen nopeus, puristuspaineet sekä puhdistusmenetelmät. Tämän takia toimittajat eivät keskity suunnittelemaan universaaleja huopatyyppejä, vaan pyrkivät kehittämään huopia kutakin erikoistilannetta silmällä pitäen (kuva 8). Esimerkiksi kevyesti kuormitettuun kumipinnoitettuun telanippiin (telojen välinen puristuskohta) soveltuu kevyt peruskudoksinen huopa, kun taas teräs-uratelanippi tiivistää huopaa nopeasti, joten kohteeseen soveltuu tukeva peruskudos ja karkeahkot kuidut. Puristinhuopien kehityksestä vastaakin suurelta osin käytettyjen huopien analysointi sekä paperikoneilla käynnin aikana suoritettavat asiakaspalvelumittaukset. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, KnowPap 2016).

## NOPEA PAINOPAPERIKONE Esimerkki puristinhuopatyypeistä



KUVA 8. Esimerkki puristinhuopasuunnittelusta (KnowPap 2016)

## 4 TUTKIMUS ETÄSEURANNAN TUNNUSLUVUISTA

### 4.1 Tutkimuksen määrittely

Paperikudosten benchmarkkaukseen käytettävien tunnuslukujen määrittämiseksi laadittiin kvantitatiivinen kysely Valmetin paperikonekudosten parissa työskenteleville asiantuntijoille. Kysely oli kaksiosainen ja sen ensimmäisen osan tehtävänä oli määrittää paperikonekudoksiin liittyvien tunnuslukujen tärkeys sekä raportin tiettyjen ominaisuuksien kriittisyys. Väittämät oli nostettu esiin vanhoista etäseurantaraporteista sekä asiantuntijoille suoritettulla nopealla kyselykierroksella. Toinen osa oli varattu neljälle avoimelle kysymykselle, joiden tarkoitus oli löytää mahdollisia syy-seuraus-suhteita etäseurantaan liittyen, ja samalla pyrkiä saamaan toistoa ensimmäisen kyselyosan tärkeysjärjestykseen. Lisäksi toisessa osassa pyrittiin löytämään etäseurannan kannalta kriittisiä asioita, joita ei alkuperäisessä väittämälistauksessa huomioitu.

Ensimmäisen osan kyselymenetelmäksi valikoitui Likert-asteikko. Saul McLeodin (2008) mukaan Likert-asteikko on yleisimmin käytetty menetelmä asenteiden sekä mielipiteiden mittaamiseksi. Useimmissa Likert-asteikon avulla toteutetuissa kyselyissä on jokaisessa kysymyksessä viiden tai seitsemän numeron asteikko, joissa ääripäät kuvaavat vastaajan henkilökohtaista suhtautumista kysymykseen.

Kysely toteutettiin seitsemännumeroisella menetelmällä, jossa oli vielä lisäksi ”en osaa sanoa” -vaihtoehto. Seitsemännumeroiseen menetelmään päädyttiin viisinumeroisen sijasta, koska haluttiin paremmin erottaa ääripäitä.

0. no answer
1. unimportant
- 2.
- 3.
4. moderately important
- 5.
- 6.
7. very important

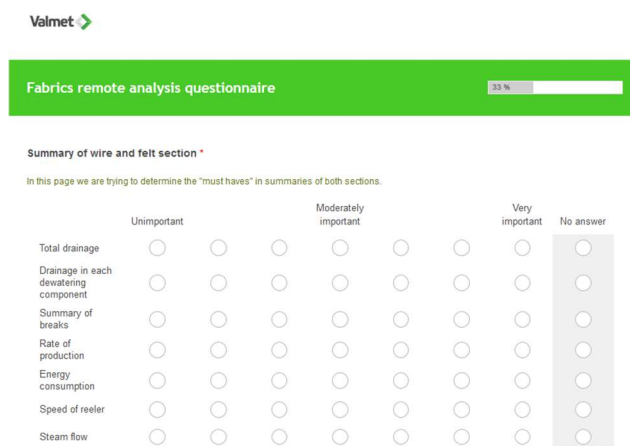
Kysely toteutettiin lisäksi anonyminä, mikä mahdollisti vastaajien objektiivisemmän lähestymisen väittämiin. McLeodin (2008) mukaan anonymi tutkimus vähentää vastaajien sosiaalista painetta, mikä voi näkyä mahdollisesti ennakkoluulojen vähenemisenä.

## 4.2 Tutkimuksen tuottaminen

Tutkimuksen tuottaminen aloitettiin etsimällä tutkimusalusta eli ohjelma, jossa tutkimus pidettäisiin. Hyvän yleisilmeen sekä kyselyn laatimisen helppouden vuoksi ohjelmaksi valikoitui Kyselynetti -nettisivusto ([www.kyselynetti.com](http://www.kyselynetti.com)). Vasta kyselyn laatimisen jälkeen selvisi, että Valmetilla oli myös oma kyselyjen tekoon tarkoitettu ohjelma. Projektissa päätettiin kuitenkin pysyä Kyselynetin ohjelmistossa. Kysely toteutettiin englanniksi, koska mukana oli myös Suomen ulkopuolisia asiantuntijoita.

Kysely oli tarkoitus aluksi jakaa kolmeen osaan. Ensimmäisessä osassa vertailtaisiin erilaisia raportin layout-ratkaisuja, toisessa osassa määriteltäisiin tunnusluvut sekä toivottavat raportin ominaisuudet Likert-skaalan avulla ja kolmannessa annettaisiin vastaajille mahdollisuus vastata avoimesti muutamaan kysymykseen. Layout-ratkaisujen vertailu osoittautui kuitenkin erittäin vaikeaksi kyselyn kautta toteutettavaksi, joten se päätettiin lyödä projektiryhmän oman vertailutyön pohjalta lukkoon ja se ei näin ollen tullut osaksi kyselyä.

Lopullinen kysely oli kaksiosainen ja sivumäärältään viisisivuinen. Ensimmäisessä osiossa (kuva 9) oli yhteensä 22 seitsemänasteisen Likert-skaalan kysymystä. Ensimmäisen osion tehtävänä oli hahmottaa väittämien tärkeys raportoinnissa.



KUVA 9. Kuvaote tutkimuksesta ([www.kyselynetti.com](http://www.kyselynetti.com))



Väittämät oli jaettu kyselyssä niin, että ensin kysyttiin raportin yleisominaisuuksia väittämässä 1-6. Seuraavassa sarjassa väittämiä (7-13) haluttiin määrittää kriittiset tunnusluvut viira- sekä puristinosan raportoinnista. Viimeisessä sarjassa (14-22) pyrittiin löytämään infokenttiin sisällytettävät ominaisuudet sekä tunnusluvut yksittäisten kudosten raportointisivuille.

Kyselyn toinen osio oli auki vapaamuotoista vastaamista varten. Toisessa osiossa oli yhteensä neljä avointa kysymystä:

- Tärkeimmät tekijät kudosten vertailussa?
- Avaintekijät viira- sekä puristinosan toiminnassa?
- Tärkeimmät ”ulkopuoliset” tekijät viira- sekä puristinosan toiminnassa?
- Kommentteja tai kehitysehdotuksia?

Avoimien kysymysten yhtenä tavoitteena oli saada toistoa ensimmäisen osion vastauksiin. Samojen väittämien toistuvuus toisessa osiossa tukisi ensimmäisen kohdan tutkimuksen luotettavuutta. Toisena syynä oli pyrkiä löytämään uusia – tutkimuksesta puuttuvia, mutta raportoinnin kannalta oleellisia – asioita paperikonekudosten suorituskykyyn vaikuttavista tekijöistä. Kysymykset muotoiltiin mahdollisimman laajoiksi, jotta vastaukset eroaisivat ja näin saataisiin enemmän näkökulmia hyödynnettyä projektiin.

### 4.3 Tutkimustulokset

Tutkimukseen haastateltiin yhteensä 37 asiantuntijaa, joista 24 lopulta osallistui kyselyyn. Vastaamisprosentti kyselyyn oli 65% ja 24 kyselyyn osallistuneesta Valmetin asiantuntijasta 86% teki kyselyn loppuun saakka. Myös toisen osion avoimiin kysymyksiin tuli huomattavan paljon palautetta, joten aktiivisuutta tutkimusta kohtaan voidaan pitää varsin hyvänä.

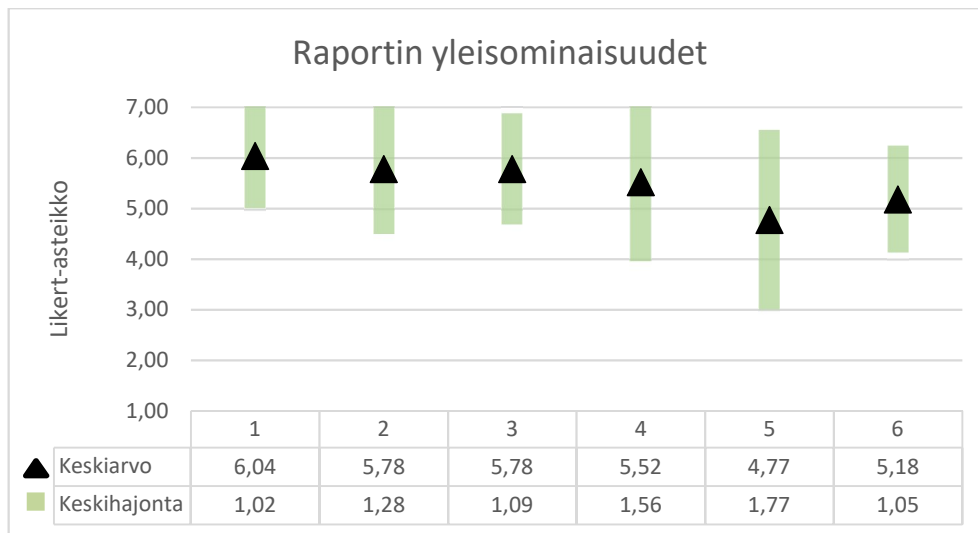
Kysely käynnistyi joulukuun alussa ja se päättyi tammikuun alussa. Viimeisen kahden viikon aikana ei tullut enää vastauksia, joten kysely oli hyvä päättää siihen. Ensimmäisen osion tulokset 22 väittämään ovat taulukossa 1. Tulokset ovat keskiarvoja sekä -hajontoja tutkimuksen seitsemänasteisesta Likert-skaalasta.

TAULUKKO 1. Tutkimustulokset

#	QUESTIONS	KESKIARVO	HAJONTA
1	General comments after cover page	6,04	1,02
2	Felt and wire overall summaries separately	5,78	1,28
3	Summary of breaks as its own subarea	5,78	1,09
4	Summary of energy consumption as its own subarea	5,52	1,56
5	Each position slotted in separate pages	4,77	1,77
6	Quality factors (for stock and paper) as its own subarea	5,18	1,05
7	Total drainage	6,59	0,59
8	Drainage in each dewatering component	6,09	0,97
9	Summary of breaks	5,59	1,37
10	Rate of production	6,09	0,97
11	Energy consumption	5,86	1,32
12	Speed of reeler	5,67	1,43
13	Steam flow	6,05	0,92
14	Fabric data (basic data)	6,27	1,16
15	Compass comments	5,18	1,71
16	Laboratory comments	5,55	1,50
17	Field for user comments	5,81	1,50
18	Total drainage	6,45	0,86
19	Drainage in each dewatering component	5,71	1,38
20	Summary of breaks	5,77	1,15
21	Energy consumption	5,70	1,56
22	Drainage by time graph	5,75	1,48

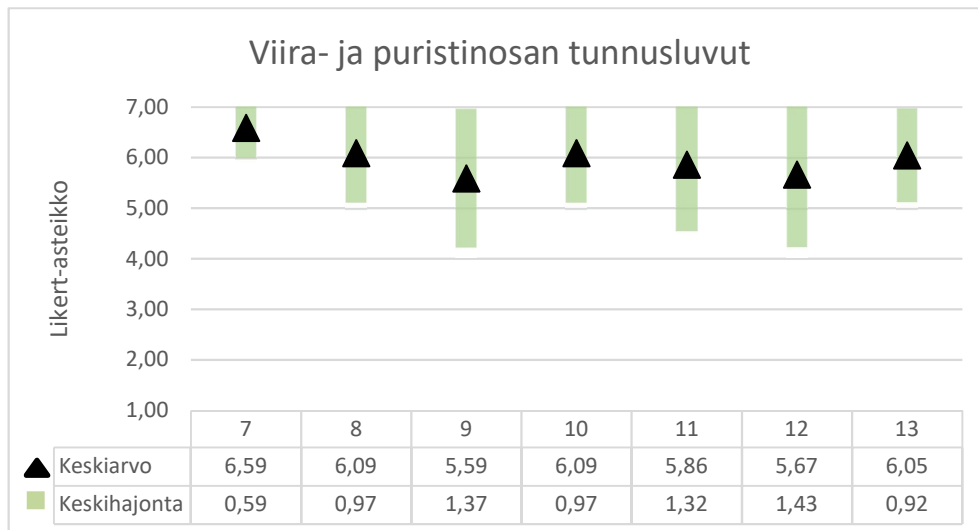
Tutkimuksen lopputuloksista huomataan se, että vaikka valittiin seitsemänasteinen Likert-asteikko, on erot väittämien välillä melko vähäisiä. Hajonta ei ole missään väittämässä yli kahta, mikä taas voi tarkoittaa sitä, että negatiivista ääripäätä ”unimportant” ei juuri käytetty.

Ensimmäisessä väittämäsarjassa (väittämät 1-6) pyrittiin löytämään haluttuja yleisominaisuuksia raportille. Kyselyn tuloksista (kuvio 1) huomataan, että yleiskommenteille tulee jättää selkeä tila heti raportin alkuun. Katkoyhteenveto sai keskiarvon  $5,78 \pm 1,09$  ja energiankulutus  $5,52 \pm 1,56$ , joten niille selvästi on kysyntää, mutta eivät ne kriittisimpiä asioita raportoinnin kannalta ole. Viira- ja huopaposition jakaminen omille sivuilleen sai hyvin matalaa kannatusta (4,77), mutta hajonnan ollessa jopa 1,77 voidaan olettaa, että kysymystä ei välttämättä ole täysin tajuttu.



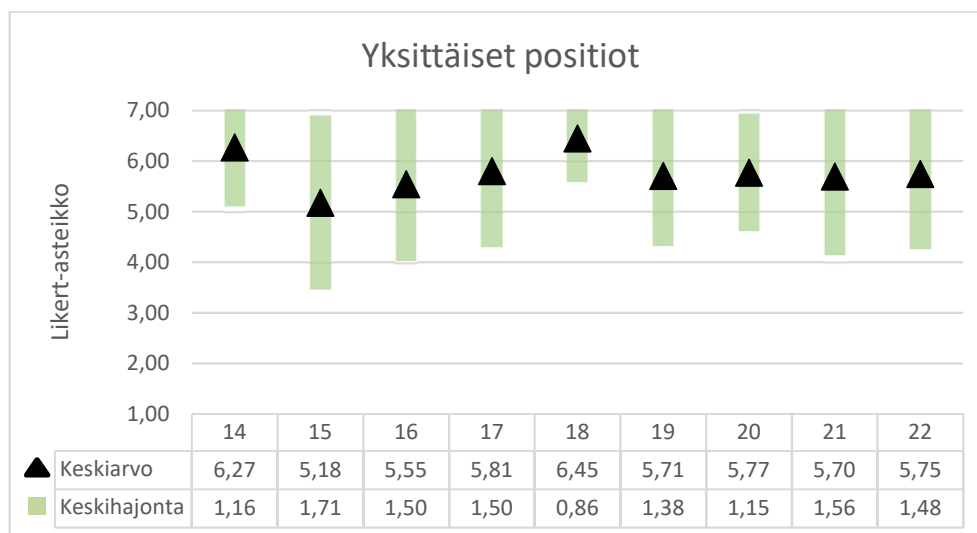
KUVIO 1. Väittämien 1-6 tulokset

Toisessa väittämäsarjassa (väittämät 7-13) pyrittiin löytämään tärkeimmät viira- sekä puristinosan tunnusluvut. Väittämäsarjan tulokset löytyvät kuviosta 2. Selvästi tärkeimmäksi suorituskykymittariksi tuli kokonaisvedenpoisto ( $6,59 \pm 0,59$ ) ja siihen liittyen toiseksi tärkeimmäksi vedenpoisto jokaisessa vedenpoistoelementissä ( $6,09 \pm 0,97$ ). Tuotantomäärä sekä höyryn virtaus saivat myös yli kuuden keskiarvon. Hieman yllättäen yhdenentekevimmiksi mittareiksi tulivat katkoyhteenveto sekä rullaimen nopeus. Hajonta molemmissa mittareissa oli kuitenkin verrattain suurta (1,37 ja 1,43).



KUVIO 2. Väittämien 7-13 tulokset

Kyselyn viimeisten väittämien tehtävänä oli määrittää yksittäisten positiesivujen halutut ominaisuudet sekä tärkeimmät mittarit. Väittämäsarjassa kysymyksissä 14-17 tiedusteltiin mahdollisten infokenttien tärkeyttä ja kysymyksissä 18-22 pyrittiin määrittämään yksittäisten positioiden mittareita. Tulokset löytyvät kuviosta 3.



KUVIO 3. Väittämien 14-22 tulokset

Infokentän tärkeimmäksi osa-alueeksi kyselyn mukaan muodostui selvästi ”fabric data” eli yleistiedot positiesivuilla. Muut ehdotukset saivat verraten heikkoa kannatusta, mutta hajonta niissä kaikissa oli hyvin suurta, joten niitä ei kannata jatkokehitysvaiheessa unohtaa.

Positioiden tunnusluvuista selvästi tärkeimmäksi osoittautui jälleen kokonaisvedenpoisto ( $6,45 \pm 0,86$ ). Muut ehdotetut mittarit saivat keskinkertaista keskiarvoa ja niitä yhdisti kohtalainen hajonta. Pienimmän arvon, mutta suurimman hajonnan sai ”energy consumption” eli kokonaisenergiankulutus. Tuloksista ei voida siis vetää muita johtopäätöksiä kuin se, että kokonaisvedenpoisto tulee löytyä myös positiesivuilta.

#### 4.4 Avoimet kehitysehdotukset

Ensimmäisen osion jälkeen kyselytutkimuksessa oli vielä neljä avointa kysymystä. Vastaminen kysymyksiin oli yllättävän runsasta, ja niistä huomaa selvästi, että niihin on käytetty aikaa. Vastaukset on salattu toimeksiantajan pyynnöstä, mutta niiden vastauksia

puretaan kuitenkin yleisellä tasolla tässä luvussa. Kysymyksiin saatiin haluttua toistuvuutta ja uusia näkökulmia saatiin hyvin esille. Neljä kysymystä olivat:

- Tärkeimmät tekijät kudosten vertailussa?
- Avaintekijät viira- sekä puristinosan toiminnassa?
- Tärkeimmät ”ulkopuoliset” tekijät viira- sekä puristinosan toiminnassa?
- Kommentteja tai kehitysehdotuksia?

Kolmella ensimmäisellä kysymyksellä pyrittiin havaitsemaan kudosten vertailuun lisää paperikoneen kudoksiin vaikuttavia toiminnan tunnuslukuja. Tarkoitus oli myös saada vastaavuutta tutkimuksen ensimmäisen kohdan tuloksille, jotta myöhemmin tunnusluku-  
jen keskeiset suhteet saataisi paremmin määriteltyä. Lisäksi kysymyksillä pyrittiin havainnoimaan paperikoneen toiminnan tunnuslukuja, joihin kudoksilla ei ole mitään vaikutusta, mutta jotka vaikuttavat kuitenkin kudoksiin.

Vastaukset kolmeen ensimmäiseen kysymykseen olivat osittain hyvinkin samanlaisia, mutta erojakin löytyi. Toistuvana tekijänä vastauksissa oli ehdottomasti vedenpoisto, minkä tärkeys näkyi melkein jokaisesta vastauksesta. Myös koneen nopeus, tuotanto sekä energiankulutus olivat toistuvia teemoja. Joissain vastauksissa oli asioita, mitä ei millään pysty etäseurantadatan avulla vertailemaan kuten esimerkiksi kudoksen kulumista. Vastauksista kuitenkin välittyi toive, että pitäisi pystyä mallintamaan kudosten vertailussa ”iso kuva” ja sitä onkin lähdetty tekemään luvussa kuusi.

Viimeinen kysymys poikkesi kolmesta ensimmäisestä ja siinä kysyttiin parannusehdotuksia raporttia silmällä pitäen. Vastaaminen tähän kysymykseen ei ollut kovin aktiivista, mutta kysymykseen vastaaminen ei ollut pakollista. Pääasiassa vastauksissa toivottiin raportointiohjelmistolle helppoa käyttöliittymää, joka olisi mahdollisimman käyttäjäystävällinen.

## 5 PAPERIKONEKUDOSTEN TEOLLINEN INTERNET

### 5.1 Teollinen internet

Teollinen internet määritellään yhdistämällä älykkäät koneet, ihmiset sekä prosessit kokonaisuudeksi. Sijaintiin, tilaan, ominaisuuksiin ja muihin relevantteihin lähteisiin liitetyvä data kerätään, lähetetään internetin kautta ja jalostetaan analytiikkatyökaluille. Teollinen internet sisältää lähes aina analytiikkaa sekä usein myös käyttäjän toimien analysointia. Luotu uusi tieto ja prosessien ymmärrys hyödynnetään toimintojen tehostamiseen sekä uusien liiketoimintamahdollisuuksien löytämiseen. (Tikka 2015, Kiiski 2016).

Blogissaan Taneli Tikka (2015) määrittelee teollisen internetin kolmen eri vaiheen avulla. Kolmivaiheinen prosessi kuvaa sitä, miten koneet, ihmiset ja prosessit optimoivat lopputulosta luovuuden ja suorituskyvyn yhdistämiselle.

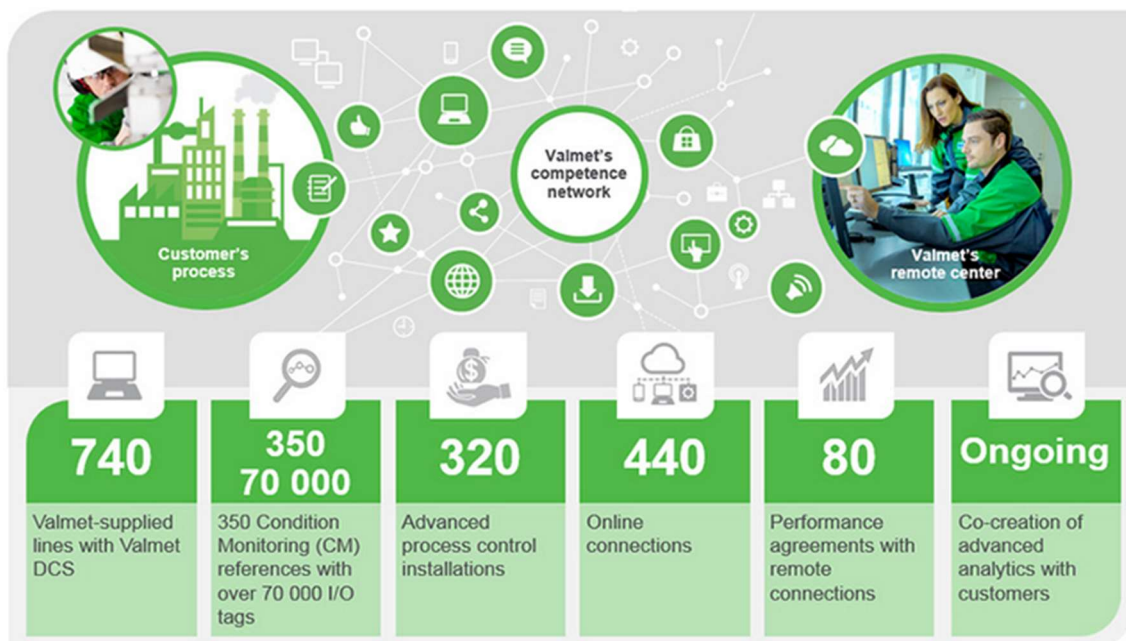
1. havainnoi
2. mieti
3. toimi

Havainnoi tarkoittaa esimerkiksi sitä, että anturilla voidaan kerätä dataa laitteiden toiminnasta ja kaikki järjestelmien tiedot voidaan hyödyntää. Seuraavaksi, kun kerättyä dataa tarkastellaan, täytyy miettiä. Data pitää analysoida mahdollisten toimintahäiriöitten tai muiden järjestelmävirheiden varalta. Tässä vaiheessa tulee myös miettiä, että voisiko häiriöitä ennaltaehkäistä. Viimeisenä täytyy toimia kerätyn ja prosessoidun datan pohjalta. On vietävä saatu ymmärrys osaksi prosessien, järjestelmien sekä tekemisen käytäntöjä. (Tikka 2015).

### 5.2 Teollinen internet Valmetissa

Teollisen internetin pääpaino Valmetilla kohdistuu asiakkaan koneiden ja prosessien tietojen keräämiseen sekä analysointiin. Valmetin tarkoituksena onkin parantaa asiakkaan suorituskykyä säätämällä toimintoja sekä suunnittelemalla ennakoivaa kunnossapitoa saatujen tietojen perusteella. Yritys on toteuttanut satoja ratkaisuja, joissa hyödynnetään

teollista internetiä (kuva 10) ja Valmetilla on yli 400 suoraa verkkoyhteyttä asiakkaiden tuotantolaitoksiin. (Valmet: Teollinen internet 2016).



KUVA 10. Valmetin teollinen internet (Valmet: Teollinen internet 2016)

Valmetin älykkäät toimilaitteet ovat täysin automatisoituja ja ne tuottavat prosessidataa, jota voidaan teollisen internetin työkaluilla lukea. Lähitulevaisuudessa laitteisiin tullaan integroimaan prosessidataa lukevaa diagnostiikkaa. Tällöin älykkäiden koneiden kirjo pystyy jatkuvasti parantamaan prosessien suorituskykyä. (Valmet: Industrial internet and remote solutions 2016).

### 5.3 Paperikonekudosten etäseuranta

Paperikonekudosten etäseurannassa tutkitaan mahdollisimman laajasti paperikonekudoksiin liittyvää dataa. Dataa saadaan pääasiallisesti asiakkaiden paperi- tai kartonkikoneilta, mutta sitä kerätään myös Valmetin omista järjestelmistä. Tiedot yhdistämällä saadaan mahdollisimman kattava kuvaus eri kudosten toiminnasta. Etäseurannasta tuotettavia raporteja käytetään useaan eri tarkoitukseen, muun muassa myynnin edistämiseen sekä tuotekehitykseen. Paperikoneen datan käyttäminen kudosten suoraan vertailemiseen on kuitenkin haastavaa, koska paperikoneessa on satoja, jopa tuhansia, muita toimintakykyyn vaikuttavia tekijöitä. Vertailu onkin vielä tässä vaiheessa enemmän suuntaa antavaa.

Ennen vertailuun valjastamista tulee data suodattaa. Suodatuksen tarkoituksena on saada tieto eri huopasettien toiminnasta niiltä ajoilta, kun kone on ajossa. Tyypillisimmät suodatukset ovat nopeussuodatus (esim. > 1000 m/min) sekä tuotettavan paperin lajisuodatus. Nopeussuodatuksella saadaan katkojen sekä seisokkien vaikutukset pois vertailuarvoista. Suodatuksen sekä laskennan jälkeen ohjelmisto kertoo signaalien eli esimerkiksi vedenpoiston sekä tuotantotehon kymmenen minuutin aikakeskiarvot.

Prosessoitua dataa voi tutkia monella eri etäseurantaan kehitetyllä työkalulla. Yleisin käytetty ohjelma antaa käyttäjälle mahdollisuuden tutkia kudosten välisiä suhteita. Ohjelma laskee suodatetut keskiarvot jokaisesta signaalista jokaiselle kudokselle poimimalla datasta kutakin huopaa vastaava osuus. Kudosten signaalien keskiarvot suhteutetaan toisiinsa nähden, jolloin vertailu on mahdollista.

Vertailutyökalun lisäksi etäseurantadatasta voidaan muodostaa erilaisia trendi- sekä starttikäyriä. Varsinkin vedenpoiston starttikäyrät ovat kriittisessä asemassa kudosten keskinäisessä vertailussa. Vaikka kudosten toimintakykyyn on monta vaikuttavaa tekijää, on tehokas vedenpoiston käynnistyminen yleensä merkki onnistuneesta kudosvalinnasta.

Kudosten etäseuranta on toistaiseksi rajoittunut märkäviiroihin sekä puristinhuopiin. Tulevaisuudessa on kuitenkin tavoitteena laajentaa etäseuranta myös beltteihin sekä kuivausviiroihin. Syy miksi niihin ei vielä ole siirrytty, on niihin liittyvien signaalitietojen vähäisyys.

Ongelmana kudosten etäseurannan sujuvuudessa on paperikoneiden järjestelmätietojen heterogeenisuus. Jokaisen koneen järjestelmä on aina enemmän tai vähemmän erilainen kuin edellinen, joten datan räätälöinti on pakollista ennen etäseurannan aloittamista. Toisaalta jos on tarkoituksena aloittaa pidempiaikainen seuraaminen, ei räätälöintiä tarvitse tehdä kuin kerran.

### **5.3.1 Etäseurantaraportit**

Etäseurannan pääasiallinen tehtävä on tuottaa helposti luettavaa vertailudataa kudoksista. Kun vertailudata jokaisesta positiosta yhdistetään, saadaan selville koko paperi- tai kartonkikoneen paperikonekudosten toiminta. Kokonaisuudesta on mahdollista havaita syyseuraussuhteita tarkastelujakson ajalta, jolloin voidaan tehdä tarvittavia korjausliikkeitä



seuraaviin asiakkaalle toimitettaviin kudoksiin. Valmet tekee tällä hetkellä kolmelle koneelle vuosiraportointia etäseurannan avulla, mutta määrä tulee kasvamaan eksponentiaalisesti yleisen kiinnostuksen kasvaessa teollisen internetin hyödyntämismahdollisuuksia kohtaan.

Kun data on suodatettu ja ajettu vertailuohjelman läpi, voidaan raportin muodostaminen aloittaa. Rungoltaan raportit ovat hyvin samankaltaisia. Jokaisesta raportista löytyy jokaiselle kudokselle oma positiesivunsa, energiankulutus- ja katkovertailut sekä yleiset huomiot mahdollisista poikkeamista raportointiajanjaksolta. Tähän mennessä raportointi on suoritettu ”leikkaa-liimaa” -mentaliteetilla, eli vertailuohjelmasta on aina kopioitu haluttu tieto ja liitetty se suoraan raportointipohjaan. Opinnäytetyön yhtenä tavoitteena onkin poistaa ylimääräinen käsityö raportoinnista ja tehdä siitä mahdollisimman automaattista.

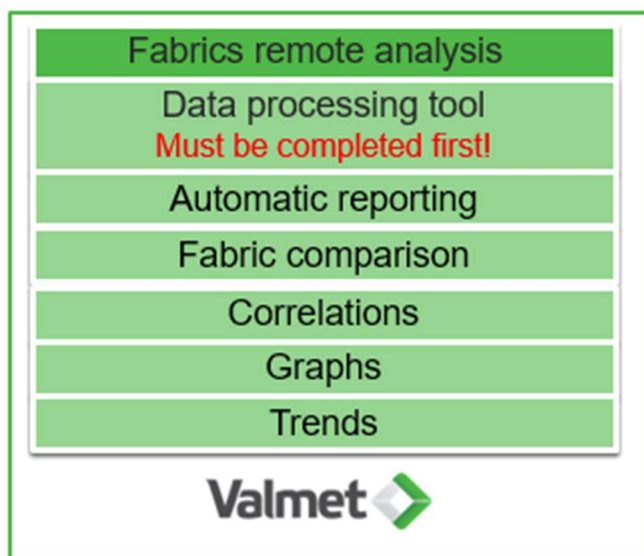
Raporteissa on jokaiselle kudokselle omat positiesivunsa, josta löytyy kudosten info-kenttä (perustiedot kudoksesta taulukkona) sekä muutama vaihteleva kuvaaja. Yleensä on haluttu kuvata (jos signaalitieto löytyy) vedenpoistoa joko vedenpoisto-aika -kuvaajana tai kudosten välisenä pylväsdiagrammivertailuna. Muita vertailuja käytetään, jos etäseurantajaksolta löytyy poikkeamia. Kudoksista halutaan usein esittää vedenpoiston starttikäyrä, mikä kuvaa olennaisesti puristinosan toimintaa huovan asennuksen jälkeen.

Positiesivujen lisäksi raporteissa on esitetty usein erilaisia vertailuja kudosten ajoajoilta. Suosituimpia vertailuja ovat katkovertailut sekä energiankulutus. Vertailuja ei kannata käyttää sellaisenaan suorina vertauksina kudosten toiminnasta, mutta niitä yhdistelemällä saadaan parempi kokonaiskuva tarkastelujaksoilta. Heikommilta tarkastelujaksoilta pyritään löytämään muutoksia, jotka esitetään raporttiin erillisinä huomioina. Juuri näiden huomioiden avulla pystytään auttamaan asiakasta kehittämään prosessejaan.

### **5.3.2 Raportoinnin kehittäminen**

Raportoinnin kehittäminen aloitettiin laatimalla tutkimus raportin kriittisistä ominaisuuksista. Yksi toistuva pyyntö oli se, että etäseurannan hyödyntämisen pitäisi olla mahdollisimman helppokäyttöistä. Ennen projektin aloittamista kudosten etäseurannan työkalut olivat eri ohjelmia yhden tiedostohakemiston alla ja niiden nimeäminen ei kuvannut uu-

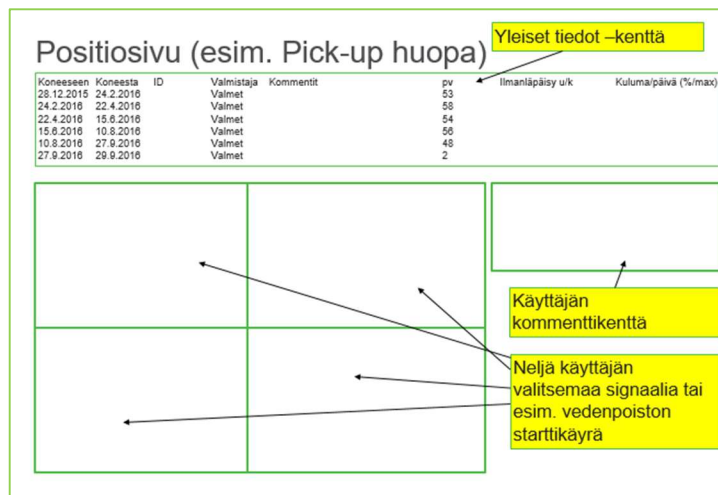
delle käyttäjälle paljoakaan niiden sisällöstä. Tästä syystä päätettiin luoda ohjelmat yhdistävä käyttöliittymä, jonka avulla on helppo siirtyä ohjelmien välillä. Kuvassa 11 on esimerkki käyttöliittymästä.



KUVA 11. Esimerkki käyttöliittymästä

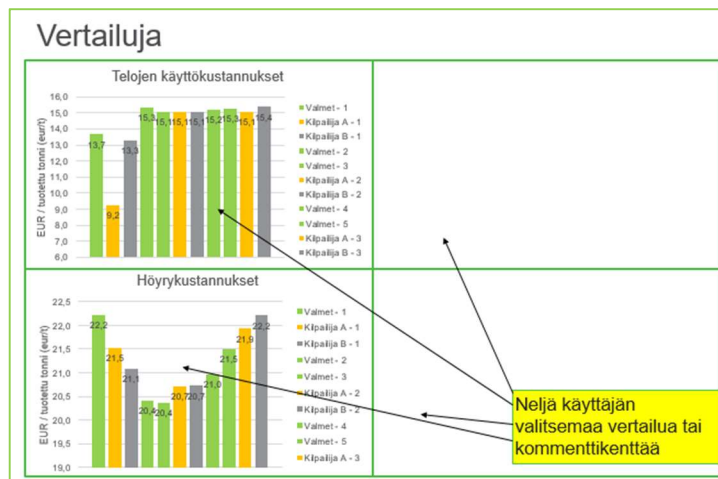
Raportointiohjelman määrittäminen aloitettiin vanhan raporttipohjan rungon avulla. Tavoite oli luoda mahdollisimman nopeasti yksinkertainen mallinnus tulevan raportointiohjelman sivujen layouteista eli ulkoasusta ohjelmoijalle. Jotta mahdollisimman yksinkertaiset pohjat saataisiin aikaiseksi, luotiin kolme eri layout- pohjaa raportointia varten. Ohjelmiston tarkoituksena on antaa käyttäjälle valmis sivu positio- sekä signaalivalintojen jälkeen tulostettavaksi. Raportti saadaan koottua yhtenäiseksi PDF -tulostuksen avulla.

Ensin luotiin kuvan 12 mukainen pohja yksittäisille kudoksille. Kyselytutkimuksen mukaan tärkein yksittäinen ominaisuus positiosivulle oli ehdottomasti yleiset tiedot -kenttä. Sivua haluttiin pitää mahdollisimman yksinkertaisena, joten tietokentän lisäksi siihen tuli tila neljälle kudosten väliselle signaalivertailulle (pylväsdiagrammeja tai kuvaajia) sekä tutkimuksessa suosion saaneelle käyttäjän kommenttikentälle. Signaalivertailussa olennaisesta on se, että signaaleja ei lyödä missään vaiheessa lukkoon, vaan käyttäjä pystyy itse aina valitsemaan ne.



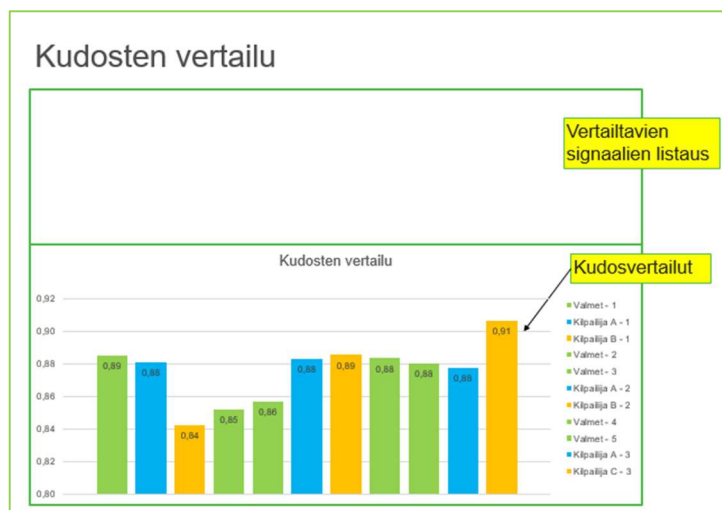
KUVA 12. Positiosivujen layout

Toiseksi layoutiksi haluttiin mahdollisimman yksinkertainen malli, jossa ei olisi muuta kuin muutama kenttä vertailuille sekä kommenteille (kuva 13). Kyselytutkimuksessa selvitettiin tuotantoarvojen, katkojen sekä energiankulutuksen vertailujen jakamista omiksi osa-alueikseen. Kaikki edellä mainitut saivat kyselyssä kohtalaisen hyvää kannatusta mutta mikään ei kuitenkaan loistavaa. Layoutissa päädyttiin ratkaisuun, johon saa sijoitettua useamman vertailun kerralla.



KUVA 13. Vertailujen layout-pohja

Viimeiseksi ohjelmoitavaksi layoutiksi tehtiin kudosten vertailuun tarkoitettu pohja (kuva 14). Kyseisessä pohjassa on tarkoitus käyttää opinnäytetyön kuudennessa kohdassa määritettävää suorituskykymittaria.



KUVA 14. Kudosten vertailun layout-pohja

Raportointiohjelmistossa tehdään jokaiselle koneelle konfiguraatio. Konfiguraatioissa määritellään esimerkiksi positioiden määrä sekä ehdotetaan aikaisemmin käytettyjä signaaleja tehokkuuden lisäämiseksi. Konfiguraatio tarvitsee tehdä vain ensimmäisen käytön yhteydessä ja sitä pystyy päivittämään aina tarvittaessa.

Valmis raportti muodostetaan tulostamalla jokainen yksittäinen sivu ja sen jälkeen yhdistämällä ne PDF-tulostimen avulla. Ennen tulostusta voidaan vielä vaihtaa vertailukenttiä esimerkiksi kommenttikentiksi tai vaihtaa pylväsdiagrammeja kuvaajiksi. Yksittäiset sivut saadaan, kun ensin valitaan haluttu pohja-layout ja valitaan vertailtavat signaalit. Yksittäisten kudosten tapauksessa saadaan positiot vaihdettua alavetovalikon avulla, jolloin tulostus on nopeaa, kun signaaleja ei tarvitse enää vaihtaa. Kudosten vertailussa tulee ensin valita alavetovalikosta vertailtava kudospositio ja siinä käytettävät vertailtavat signaalit.

Uusi raportointiohjelmisto nopeuttaa huomattavasti benchmarkkausraporttien luomista. Paperikoneen tietojen konfiguroinnin jälkeen raportit voi halutessa luoda heti haetusta etäseurantadatasta, kun aikaisemmin raportin tekemisessä on mennyt jopa viikkoja. Mahdollisuus kentällä tehtäviin raporteihin tarkoittaa sitä, että esimerkiksi asiakkaan prosesseista löytyneet viat saadaan huomattavasti nopeammin havaittua ja niihin pystytään reagoimaan tehokkaasti.

## 6 SUORITUSKYKYMITTARIT

### 6.1 Suorituskykymittarit yleisesti

Suorituskyky määritellään usein mitattavan kohteen kyvyksi saavuttaa sille asetettuja tavoitteita. Sen rinnalla tai jopa sen synonyyminä käytetään usein termiä suoritus, joka kuitenkin kertoo enemmän tapahtunutta tulosta, kun taas suorituskyky viittaa parhaaseen mahdolliseen suoritukseen. Sanalla mittari tarkoitetaan huolellisesti määriteltyä menetelmää, jonka avulla kuvataan menestystekijän suorituskykyä. Mittaristo taas tarkoittaa mitauskohteen kannalta keskeisistä mittareista muodostunutta kokonaisuutta. (Lönnqvist, Kujansivu & Antikainen 2006).

Suorituskyvyn mittaamisen tarkoitus on selvittää tai määrittää tunnuslukuja käyttäen tuotteen jonkin tekijän tila. Mittaamisprosessissa tunnistetaan tavoitteiden kannalta olennaiset menestystekijät, mitataan niitä ja käytetään mittareista saatavaa informaatiota tuotteen kehittämisen apuna. Nykyään puhutaan tasapainoisesta mittaamisesta, jolloin valitut suorituskykymittarit kuvaavat useasta näkökulmasta tuotteen kilpailuasemaan sekä menestymiseen vaikuttavia tekijöitä. (Lönnqvist, Kujansivu & Antikainen 2006, 11).

Tekniikan tohtori Arttu Lönnqvistin (2006, 32) mukaan hyvin määritellyn mittarin tulisi mahdollisuuksien mukaan täyttää seuraavat mittausteoreettiset ominaisuudet:

- validiteetti (mittarin kyky mitata mitattavaa menestystekijää)
- reliabiliteetti (reliabelin mittarin tulokset eivät vaihtelee satunnaisesti)
- relevanssi (mittarin oleellisuus käyttäjän näkökulmasta)
- käytännöllisyys (mittarin kustannustehokkuus eli hyöty-vaivasuhde)

Kriittinen suorituskykymittari eli KPI (Key Performance Indicator) tarkoittaa tuotteen tai projektin suorituskyvyn mittaamista halutulla ajanhetkellä. Käytännössä se kertoo sen, että onko tuotteelle asetetut tavoitteet saavutettu. Kriittiset suorituskykymittarit eivät pelkästään mittaa suoritusta, vaan myös edistystä, joten ne tarjoavat työkaluja mahdollisiin korjausliikkeisiin. (Silver 2014).

## 6.2 Kudosten suorituskykymittarien määrittäminen

Kudosten suorituskykymittareita lähdettiin määrittämään etäseurannasta saatujen tunnuslukujen avulla. Tunnusluvut ovat etäseurannassa signaaleja, joiden avulla voidaan muodostaa työkaluja kudosten benchmarkkaamiseksi. Täydelliset signaali-, kudos-, sekä asiakastiedot on kuitenkin salattu opinnäytetyön toimeksiantajan pyynnöstä.

Yritykset käyttävät benchmarkkausta vertaillakseen avaintunnuslukujaan muihin kilpailijoihin verrattuna. Benchmarkkaus tarkoittaa vapaasti suomennettuna vertailukehittämistä. Voidaan ajatella, että benchmarkkaus on kuin auton kojelauta. Kojelauta kertoo nopeasti, kuinka hyvässä kunnossa auto on. Sama analogia näkyy benchmarkkauksesta tuotetusta raportista, josta voidaan tarkastella esimerkiksi paperikonekudosten tapauksessa vedenpoistoa, koneen nopeutta tai tuotantomääriä eri paperikonekudosten välillä. (Hawthorne 2016).

### 6.2.1 Toiminnan suorituskykymittari

Suodatetusta datasta saadaan jokaiselle kudokselle kymmenen minuutin keskiarvot jokaisesta signaalista. Esimerkiksi jos koneelta löytyisi signaalitieto ”puristinosan kokonaisvedenpoisto”, olisi ohjelma laskenut sille keskiarvon puristinosan kokonaisvedenpoistosta jokaisen kudoksen ajoajalta. Kun keskiarvoja vertaillaan toisiinsa, saadaan normalisoidut arvot kudoksille. Puristinosan kokonaisvedenpoiston tapauksessa, kun haetaan mahdollisimman tehokasta vedenpoistoa, saa korkein vedenpoistokeskiarvo normalisoidun arvon 1. Muiden kudosten indeksiarvot saadaan puristinosan kokonaisvedenpoistolle vertaamalla jokaista keskiarvoa suurimpaan vedenpoistoon nähden. Taulukossa 2 on laskettu havainnollistava esimerkki kudosten indeksiarvojen syntymisestä puristinosan kokonaisvedenpoiston tapauksessa.

TAULUKKO 2. Kudosten normalisointiarvon laskeminen

Kudos	Puristinosan kokonaisvedenpoiston keskiarvo (l/s)	Normalisoitu arvo
1	40,2	$\frac{40,2 \frac{l}{s}}{42,2 \frac{l}{s}} = 0,9526 \dots$
2	42,2	1
3	39,7	0,9407...

Aiemmin normalisointiarvojen perusteella oli laskettu noin 4-6 signaalin kautta indeksiarvo puhtaasti normalisointiarvojen keskiarvona. Ongelmana tässä on ensinnäkin se, että signaalien keskiarvojen vaikutus kudosten toimintaa kuvattaessa on eriarvoista. Vedenpoisto esimerkiksi on paljon tärkeämpää kuin telojen käyttökeskiarvot. Toisekseen, vähäinen signaalien määrä tarkoittaa sitä, että muutos prosesseissa ei välttämättä tule näkyviin arvoissa. Tällöin esimerkiksi tilanne, jossa vettä syötetään enemmän, saa oletusarvoisesti paremman vedenpoiston, koska vettäkin on enemmän.

Kudosten suorituskykymittaria lähdettiin nyt rakentamaan kahden edellä mainitun ongelman pohjalta. Vastaus ensimmäiseen ongelmaan oli se, että siirryttäisiin käyttämään painotettua keskiarvoa normalisointiarvojen vertailussa. Tällöin saataisiin vertailuun otettua monia muitakin signaaleja pienemmällä vaikutusasteella, jolloin kokonaiskuva kudoksen toiminnasta saataisiin huomattavasti tarkemmaksi.

Painotettua keskiarvoa käytetään, kun kaikki luvut eivät ole yhtä merkityksellisiä. Kunkin luvun oma paino  $w_k$  valitaan sitä suuremmaksi, mitä merkittävämpi vastaava luku  $x_k$  on. Painotettu keskiarvo  $M_w$  saadaan kertomalla kukin luku omalla painollaan, laskemalla tulot yhteen ja jakamalla painojen summalla (kaava 1). (M niin kuin matematiikka 1998).

$$M_w = \frac{w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} \quad (1)$$

Signaalien painoarvojen määrittämisen apuna käytettiin kohdan 5 tutkimusta. Tutkimuksesta sai hyvin osviittaa tunnuslukujen tärkeyksistä, mutta tässä vaiheessa suurin osa signaaleista jouduttiin päättämään itse. Asiakkaalle tehdyssä kudosvertailussa oli jokaisen position vertailussa yli kaksikymmentä signaalia. Tietojärjestelmien signaalien arkaluontoisuuden takia niitä ei kuitenkaan tässä esitetä, vaan taulukkoon 3 on kerätty tunnuslukujen painoarvoja, jotka eivät ole oikeita signaaleja, mutta joista saisi hyvin määriteltyä kudoksen toiminnan suorituskykymittarin. Painotuskertoimissa päädyttiin käyttämään 1-10 asteikkoa.

TAULUKKO 3. Esimerkki tunnuslukujen painotuksista

<b>Tunnusluku</b>	<b>Painotus</b>	<b>Minimi vai maksimi = 1</b>
<b>Vedenpoisto</b>	10	Maksimi
<b>Tuotanto</b>	9	Maksimi
<b>Nopeus</b>	8	Maksimi
<b>Höyryn käyttö</b>	6	Minimi
<b>Tuleva vesi</b>	6	Minimi
<b>Kudoksen ajopäivät</b>	6	Maksimi
<b>Telojen käytöt</b>	5	Minimi
<b>Katkot</b>	5	Minimi
<b>Imulaatikon käyttö</b>	4	Minimi
<b>Paperin laatuarvot</b>	3	Maksimi
<b>Massan ominaisuudet</b>	2	Minimi

Taulukon 3 tunnusluvuista huomataan, että mukaan on otettu hyvin paljon kudoksen ulkopuolistakin tietoa. Prosessin muutostilat saadaan nyt huomioitua, jolloin päästään paremmin vertailemaan kudosten toimintaa. Taulukon 3 kohdalla ”minimi vai maksimi = 1” tarkoitetaan sitä, että onko tunnusluvussa pienin vai suurin keskiarvo toivotuin lopputulema. Eli esimerkiksi kudosten vertailussa suurin vedenpoisto saa arvon 1.

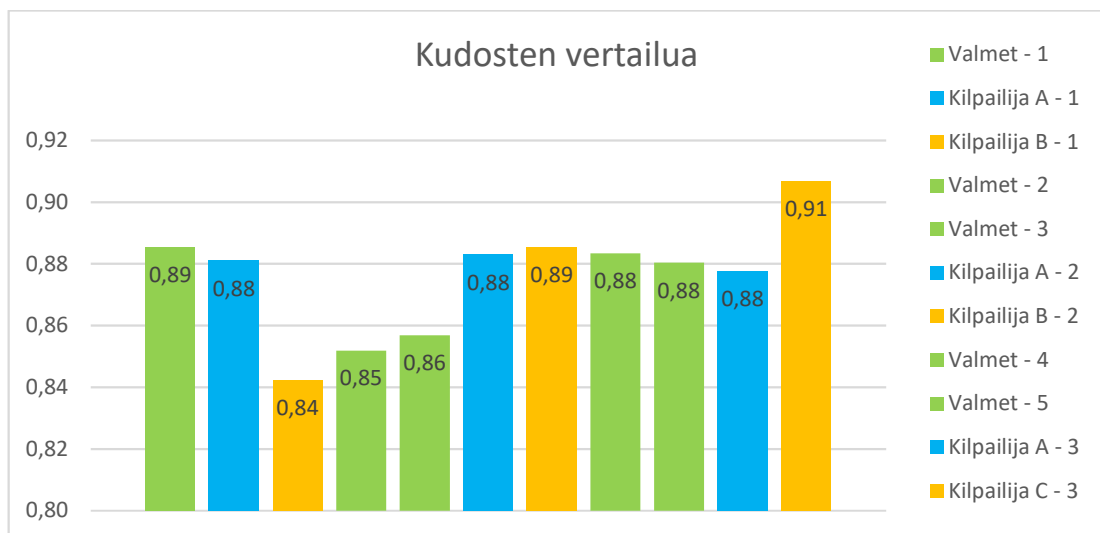
Ongelmaksi muodostuu kuitenkin painotuskertoimien määrittäminen. Epätarkkuus on varsin suurta, koska painotuskertoimet joudutaan asettamaan manuaalisesti, ilman tarkempaa tieteellistä pohjaa. Kudoksille kyseisen pohjan laskeminen on erittäin vaikeaa, jopa mahdotonta, ja se pitäisi laskea jokaiselle koneelle erikseen.

Kudosten suorituskykymittarin indeksiluku saadaan nyt laskettua normalisointiarvojen sekä painotuskertoimien avulla. Painotetun keskiarvon avulla lasketusta kaavasta saadaan jokaiselle kudokselle oma indeksiarvo nollan ja yhden väliltä. Indeksiluvun lähestyessä arvoa 1 kudokset toimivat erinomaisesti ja lähestyessä arvoa nollaa huonosti. Taulukossa 4 on listattu kudosten vertailu ajopäivineen. Toimittajien sekä kudosten tiedot on toimeksiantajan toiveen mukaisesti salattu. Kuviossa 4 on näkymä, jonka raportointiohjelma antaa vertailusta.



TAULUKKO 4. Kudosten vertailu suorituskykymittarilla

Sisään	Ulos	Ajopäivät	Toimittaja - kudos	KPI-indeksi
19.1.2016	23.2.2016	35	Valmet - 1	<b>0,89</b>
23.2.2016	22.3.2016	28	Kilpailija A - 1	<b>0,88</b>
22.3.2016	26.4.2016	35	Kilpailija B - 1	<b>0,84</b>
26.4.2016	23.5.2016	27	Valmet - 2	<b>0,85</b>
25.5.2016	22.6.2016	28	Valmet - 3	<b>0,86</b>
27.6.2016	19.7.2016	22	Kilpailija A - 2	<b>0,88</b>
19.7.2016	23.8.2016	35	Kilpailija B - 2	<b>0,89</b>
24.8.2016	27.9.2016	34	Valmet - 4	<b>0,88</b>
27.9.2016	1.11.2016	35	Valmet - 5	<b>0,88</b>
2.11.2016	27.11.2016	25	Kilpailija A - 3	<b>0,88</b>
29.11.2016	23.12.2016	24	Kilpailija C - 3	<b>0,91</b>



KUVIO 4. Kudosten vertailu toiminnan suorituskykymittarilla

Kuviosta 4 huomataan selvästi kilpailija C:n kolmannen kudoksen menestys. Muuten kudosten toiminta on ollut hyvinkin tasaista. Kolmannen ja viidennen kudoksen ajanjaksolla on hyvin mahdollisesti ollut muitakin kuin kudokseen liittyviä ongelmia, koska kyseessä ei ole piikki vaan pikemminkin laakso niiden kohdalla.

Suorituskykymittari toimii sellaisenaan vertailuun hyvin silloin, kun kyseessä on tietty ajanjakso. Taulukossa 4 esitettyjä indeksiarvoja ei voi missään nimessä verrata esimer-

kiksi seuraavan vuoden kudoksiin. Arviointi pohjautuu siis tällä hetkellä pelkästään kudosten keskinäiseen paremmuusjärjestykseen. Tulevaisuudessa on mahdollista, että jokaiselle signaalille määritellään raja-arvot, jolloin indeksiarvot olisivat päteviä vuosiraporttien välilläkin.

### 6.2.2 Energiankulutuksen suorituskykymittari

Paperin ja kartongin valmistuksen sähkötarve vaihtelee 500-1000 kWh/t ja lämmönkulutus 5-8 GJ/t olosuhteista ja tuotettavasta lajista riippuen. Suurin sähköenergiantarve on jauhatuksessa, jossa kokonaisenergiantarve nousee aina 400 kWh/t asti. Lämmönkulutuksesta valtaosa tarvitaan kuivaukseen, johon kuluukin yli 83% lämpötarpeesta. Esimerkiksi yhden prosenttiyksikön muutos rainan kuiva-ainepitoisuudessa kasvattaa tai vähentää höyryn kulutusta noin 4 prosenttia. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006).

Keskimäärin noin 2% paperintuotannon kokonaiskustannuksista kuluu paperikonekudoksiin. Kudosten kustannukset koneiden liikevaihtoon verrattuna ovat siis vähäisiä, mutta niillä on huomattava vaikutus paperikoneen toimivuuteen sekä energiankulutukseen. (Holik 2013).

Kudosten ajoikaan suhteutettua energiankulutusta voidaan vertailla samasta datasta kuin aikaisemmin lasketussa kudosten suorituskykymittarin tapauksessa. Paperikonekudosten vertailussa on järkevää huomioida ainoastaan paperi- tai kartonkituotantolinjan energiankulutukset. Vielä yhtenä rajoituksena on järkevää ottaa huomioon vain ne tuotantolinjan energiankulutussegmentit, mistä kudoksia löytyy. Näitä ovat esimerkiksi puristinosan teilojen käytöt ja höyrylaatikon höyryn virtaus sekä kuivatusosan pähöyryjen virtaukset.

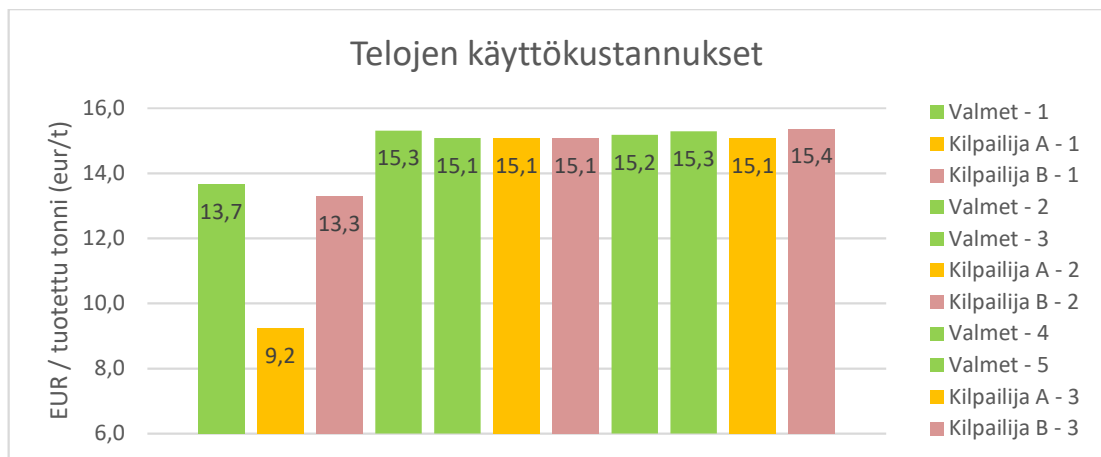
Kudoksien vertailu käyttökustannusten perusteella saadaan päteväksi ottamalla laskuihin mukaan jokaisen kudoksen aikana tuotetut tonnit. Syynä tähän on se, että mitä enemmän tonneja tuotetaan, sitä enemmän luonnostaan kuluu energiaa. Varsinkin kuivatusosalla raskaat lajit (suuri neliöpaino) vaativat huomattavasti enemmän höyryä kuin kevyet lajit (pieni neliöpaino). Tuotantomäärät skaalaavat neliöpainovaihtelun, jolloin kustannusvertailu on järkevää.

Yhteisen energiankulutuksen mittarin laskemiseksi tulee käyttöjen sekä höyrynkulutuksen yksiköitä muuttaa. Yksinkertaisin tapa on muuttaa molemmat suoraan vastaamaan

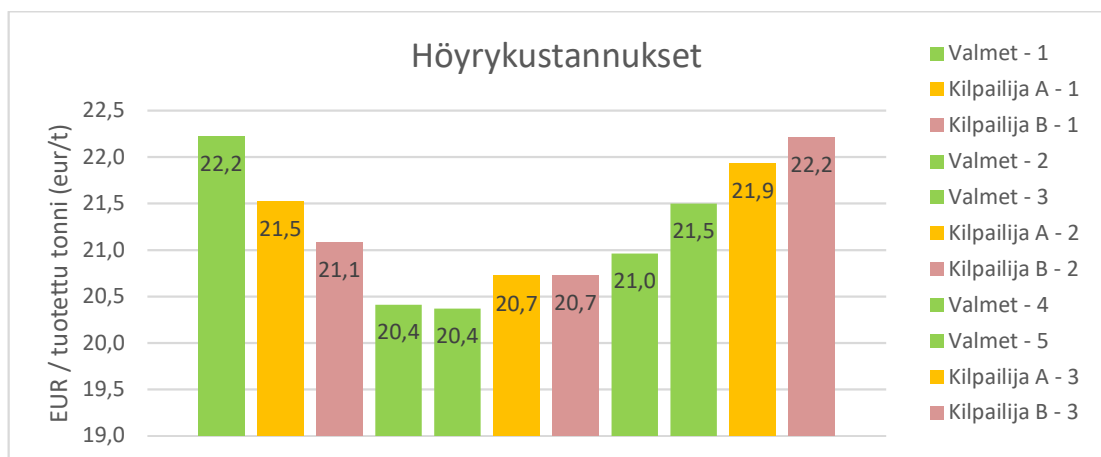
hintaa eli esimerkiksi tässä tapauksessa molemmille yksiköiksi tulee euro. Muutos saadaan tekemällä olettaimus, että yksi kilowattitunti sähköä maksaa 0,3 euroa ja yksi tonni lämmitettyä höyryä 15 euroa.

Nyt voidaan laskea jokaiselle kudokselle omat vertailuarvot, jotka kertovat euromääräisen kustannuksen jokaista paperikoneella tuotettua tonnia kohti. Vertailuarvot voidaan jakaa jokaiselle kustannukselle erikseen. Toimeksiantajan pyynnöstä tarkat signaalitiedot sekä kudostiedot on salattu. Tässä luvussa on esitetty esimerkin avulla, miltä kudosten kustannusvertailu näyttää. Kuvassa 5 on kuvattu telojen käyttökustannukset tuotettua tonnia kohden, kuvassa 6 höyrykustannukset ja kuvassa 7 energiankulutuksen mittari. Energiankulutuksen mittari saadaan laskettua kaavalla 2.

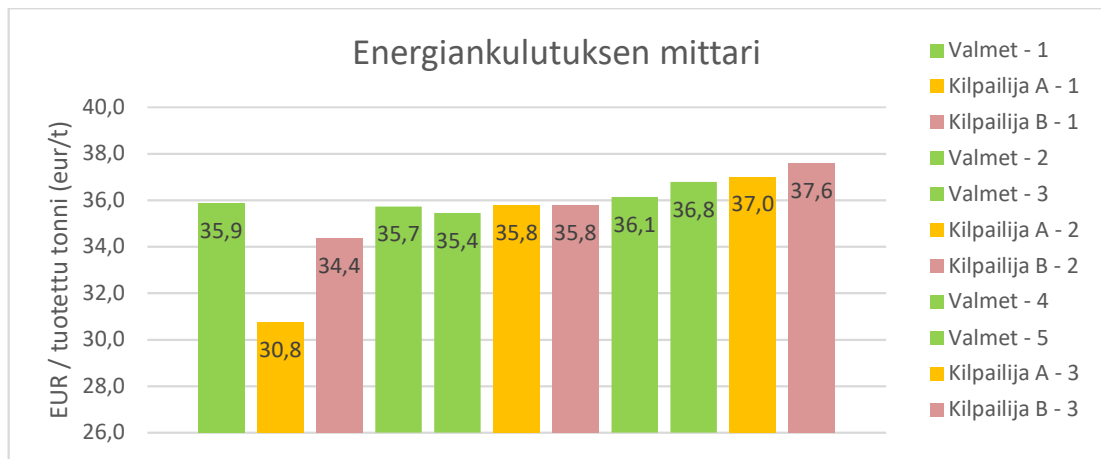
$$\frac{\text{Käyttöjen kustannukset (eur)} + \text{Höyryjen kustannukset (eur)}}{\text{Kudoksen ajanjaksolla tuotetut tonnit (t)}} \quad (2)$$



KUVIO 5. Telojen käyttökustannukset raportointiohjelmassa



KUVIO 6. Höyrykustannukset raportointiohjelmassa



KUVIO 7. Energiankulutuksen mittari raportointiohjelmassa

Kuvioista 5-7 huomataan, että kilpailija A ensimmäinen huopasetti olisi ylivoimaisesti energiatehokkain. Kuitenkin tarkemman datan tarkastelun jälkeen huomataan, että kyseisellä ajanjaksolla on kahden käytön online-mittaus ollut rikki. Kudossettien välillä on kuitenkin suuria eroja. Esimerkiksi kilpailija B:n ensimmäisen ja kolmannen setin ero on yli kolme euroa jokaista tuotettua tonnia kohden. Kun yhden huopasetin ajoaikana tuotetaan kymmeniä tuhansia tonneja, puhutaan hintaerossa jopa sadoista tuhansista euroista.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää paperikonekudosten teollisen internetin tarjontaa. Teollisen internetin datankäsittelytyökalut olivat olemassa, mutta niiden käyttö oli ennen projektia vaikeaa sekä hidasta. Projektin lopputulemana paperikonekudosten teollisen internetin käyttökynnystä saatiin alennettua sekä ohjelmiston käyttöä nopeutettua uuden käyttöliittymän sekä varsinkin benchmarkkaukseen tarkoitetun raportointiohjelmiston avulla.

Projektin aikana raportointiohjelmistosta saatiin luotua esiversio, joka oli ominaisuuksiltaan vielä melko primitiivinen. Kehitystyö ohjelman parissa tulee jatkumaan vielä pitkään ja uusia ominaisuuksia tullaan lisäämään. Projektin tavoite oli kuitenkin luoda helppokäyttöinen ja nopea benchmarkkaus-työkalu ja ainakin mielestäni siinä onnistuttiin. Ohjelmaa ei annettu vielä muiden Valmetin asiantuntijoiden käyttöön, joten täyttä varmuutta raportointiohjelman toimintakyvystä kentällä ei saatu.

Vaikka palautetta raportointiohjelmiston toiminnasta ei vielä voitu kerätä, saatiin asiantuntijoille laaditusta kyselystä paljon irti. Kysely toi uusia näkökulmia ohjelmiston ominaisuuksista sekä antoi palautetta tarvittavista piirteistä. Vastausaktiivisuus kyselyyn oli erinomaista ja vastaukset kattavia, jolloin ohjelmistoon pystyttiin tekemään tarvittavia muutoksia sekä lisäyksiä. Osassa kysymyksiä hajonta oli niin suurta, että voidaan olettaa kysymysasettelun paikoittain epäonnistuneen tai yleisen tietämyksen paperikonekudosten teollisen internetin tarjonnasta olevan vielä hyvin suppeaa. Vastauksista kuitenkin huomasi tarpeen ”ison kuvan” mallintamiseksi, ja sen ajatuksen pohjalta lähdettiinkin määrittämään kudosten toiminnan suorituskykymittaria.

Raportointiohjelman lisäksi opinnäytetyössä keskityttiin paperikonekudosten teollisen internetin työkalujen avulla suoritettavan benchmarkkauksen kehittämiseen. Benchmarkkausta lähdettiin toteuttamaan kahden suorituskykymittarin, toiminnan sekä energiankulutuksen, suorituskykymittarin kautta. Toiminnan suorituskykymittari oli ennen projektia olemassa, mutta opinnäytetyössä sitä laajennettiin kattamaan paremmin ”isoa kuvaa”. Aiemmin kudosten suorituskykyä vertailtiin 2-6 signaalin avulla ja opinnäytetyössä vertailua laajennettiin ottamaan mahdollisimman moni muuttuja huomioon sekä laskennassa alettiin käyttää keskiarvon sijasta painotettua keskiarvoa. Signaalimäärä kasvoi noin 20-

30 signaaliin, kun huomioon otettiin myös muun muassa laatuarvoja, kokonaisvesimääriä sekä lopputuotteen neliömassavaihteluita eli täysin kudoksista riippumattomia asioita. Näin kudosten toimintakyvyn vertailusta saatiin objektiivisempaa, kun paperikoneiden muuttujat otetaan laskennassa huomioon. Ongelmana kudosten toiminnan suorituskyky-mittarissa on se, että painokertoimilla ei ole mitään suoraa tieteellistä pohjaa, vaan ne ovat aina käyttäjän päätettävissä.

Toiminnan suorituskykymittarin lisäksi opinnäytetyössä määritettiin energiankulutuksen suorituskykymittari kudoksetien vertailulle. Energiankulutuksen suorituskykymittari on työkalu kudoksetien vertailulle, koska on vaikea määrittää yksittäisen kudoksen vaikutusta energiankulutukseen. Suorituskykymittari laskettiin kokonaishöyrynkulutuksesta sekä telojen käyttöjen sähkönkulutuksesta summana ja suhteutettiin jokaisen setin kohdalla setin aikana tuotettuihin paperitonneihin. Tonneihin suhteuttamalla saatiin paperilajien eroista johtuvat muuttujat. Energiankulutuksen mittari on täsmällinen benchmark-kaus-työkalu, jolla saadaan esitettyä asiakkaalle euroina energiankulutus jokaisen kudoksetin ajanjaksona.

Projektissa tuli hyvin havaittua dataan liittyvät teollisen internetin ongelmat. Datan hake-misessa ja esittämisen automatisoinnissa piilee aina se riski, että data on joltain osin vial-lista. Suorituskykymittarivertailuja tehdessä huomattiin se, että kokonaisen kuukauden ajalta oli neljä online-mittausta hajonnut. Tämä automaattisesti aiheutti sen, että esimerkiksi sähkönkäyttö kyseisellä ajanjaksolla olisi todella pientä, vaikka todellisuudessa asia ei näin ollut. Ainakin toistaiseksi paperikonekudosten teollisen internetin hyödyntäminen vaatii aina käyttäjän tarkistuksen. Tulevaisuudessa on kuitenkin suunnitteilla erilaisia da-tan tarkistuskeinoja, mutta ainakin vielä siinä ohjelmistossa on liikaa epävarmuustekijöitä täysin automaattisesti toimivaksi järjestelmäksi.

## LÄHTEET

Gavelin, G. 1998. Paper Machine Design and Operation. 1. painos. Vancouver: Angus Wilde Publications Inc.

Hawthorne, Wren. 2016. What is Benchmarking? Luettu 10.2.2017  
<http://study.com/academy/lesson/what-is-benchmarking-definition-types-process-examples.html>

Holik, H. 2013. Handbook of paper and board. 2. painos. Weinheim: Germany

Häggbloom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2006. Paperin ja kartongin valmistus. 5. painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy

Kiiski, M. 2016. Industrial Internet ja Internet of Things. Luettu 10.2.2017.  
<http://www.alykassuomi.fi/2014/06/industrial-internet-ja-internet-things-mista-oikeastaan-puhumme/>

Kivelä, S. 1998. M niin kuin matematiikka – Keskiarvo. Luettu 24.1.2017  
<http://materiaalit.internetix.fi/fi/opintojaksot/5luonnontieteet/matematiikka/tietosanakirja/keskiarv.pdf>

Lönnqvist, A., Kujansivu P. & Antikainen R. 2006. Suorituskyvyn mittaaminen. 2. painos. Helsinki: Edita

McLeod, S. A. 2008. Likert Scale. Luettu 21.12.2016.  
[www.simplypsychology.org/likert-scale.html](http://www.simplypsychology.org/likert-scale.html)

Paulapuro, H. 2007. Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End. 2. painos. Helsinki: Paperi ja Puu Oy

PMC-yksikön Intranet. 2016. Valmet. Vain sisäiseen käyttöön. Luettu 21.12.2016

Prowledge Oy. 2016. KnowPap – Paperitekniiikan ja tehtaan automaation oppimisjärjestelmä. Luettu 05.01.2017  
[http://www.knowpap.com.elib.tamk.fi/extranet/suomi/knowpap\\_system/user\\_interfaces/knowpap.htm](http://www.knowpap.com.elib.tamk.fi/extranet/suomi/knowpap_system/user_interfaces/knowpap.htm)

Silver, M. 2014. Product Management KPIs – Examples of Use. Luettu 04.01.2017.  
<http://spectacular.walkme.com/product-management-kpi-examples-use/>

Tikka, T. 2015. Teollinen internet – mikä se on? Luettu 10.2.2017.  
<http://www.tivi.fi/Kumppaniblogit/tieto/2015-04-22/Teollinen-internet---mik%C3%A4-se-on-3220230.html>

Valmet. 1999. Paperikoneet, yleistä. 2. painos. Sepsilva Ltd Oy: Saarijärvi

Valmet. 2016. Industrial internet and remote solutions. Luettu 8.2.2016  
<http://www.valmet.com/services/board-and-paper-mills/industrial-internet-and-remote-solutions/frontrunner-in-industrial-internet2/>

Valmet. 2016. Paper Machine Clothing. Luettu 22.12.2016

<http://www.valmet.com/services/board-and-paper-mills/consumables/paper-machine-clothing/>

Valmet. 2016. Teollinen internet. Luettu 7.2.2017.

<http://www.valmet.com/fi/palvelut/teollinen-internet/>

Valmet. 2016. Valmet lyhyesti. Luettu 21.12.2016

<http://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/>

Valmet. 2015. Vuosikatsaus 2015. Luettu 21.12.2016

[http://www.valmet.com/globalassets/investors/reports--presentations/annual-reports/2015/vuosikatsaus\\_2015.pdf](http://www.valmet.com/globalassets/investors/reports--presentations/annual-reports/2015/vuosikatsaus_2015.pdf)