



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

LAADUNVARMISTUS ONTELO- LAATTATUOTANNOSSA

EKM 13 SK

TEKIJÄ: Harri Aaltokoski

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Harri Aaltokoski	
Työn nimi Laadunvarmistus ontelolaattatuotannossa	
Päiväys 22.2.2017	Sivumäärä/Liitteet 58/3
Ohjaaja(t) lehtori Pertti Varis ja yliopettaja Veli-Matti Tolppi	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Lujabetoni Oy	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä sähköinen mittapöytäkirja ontelolaattatuotannon käyttöön. Tavoitteena oli, että se ilmoittaa mittaajalle, mikäli syötetty mittaustulos ei ole sallitun toleranssin sisällä. Lisäksi syötettyjen mitaustietojen tulee tallentua sähköisessä muodossa sen lisäksi, että ne voidaan tulostaa. Laadun seuranta ja mahdollisten poikkeamien ennakoimista varten haluttiin muodostaa $\bar{x}R$-kortti syötettyjen tietojen perusteella. Lisäksi kahden valupöydän välisten erojen selvittämiseksi tiedoista haluttiin saada histogrammit. Tavoitteena oli myös testata taulukon toimivuutta ja sen soveltuvuutta poikkeamien ennakointiin ja valupöytien erojen selvittämiseen. Tämä tehtäisiin syöttämällä aikaisemmin paperilomakkeille kirjattua dataa tehtyyn Excel-ohjelmaan.</p> <p>Työn alussa tutustuttiin ontelolaatan valmistukseen ja siitä tehtäviin mittauksiin osallistumalla näihin työvaiheisiin. Tämän jälkeen haettiin teoretista tietoa laadun seuranta menetelmistä, joita työssä voitaisiin soveltaa. Tässä vaiheessa valikoitiin myös mittaustiedot, joita haluttiin tehtävällä $\bar{x}R$-kortilla analysoida. Seuraavaksi tutkittiin ontelolaattojen valmistukseen liittyviä standardeja ja erityisesti mittauksiin liittyviä vaatimuksia. Tämän jälkeen tehtiin Excel-ohjelmalla sähköinen lomake, johon lisättiin vaaditut tallennus- ja analysointiosiot. Sähköisen lomakkeen valmistuttua syötettiin paperilomakkeilta mittaustietoa tehtyyn ohjelmaan ja testattiin sen toimivuus.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin ontelolaattatuotannon käyttöön sähköinen mittapöytäkirja, joka mahdollistaa tietojen arkistoinnin sähköiseen muotoon. Lisäksi sen avulla pystytään seuraamaan tuotteen laatua ja ennakoimaan mahdollisia laadun poikkeamia.</p>	
Avainsanat laatu, laatutekniikka, ontelolaatta, xR-kortti, histogrammi,	
Julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Harri Aaltokoski			
Title of Thesis Quality Control of Hollow-Core Slabs Production			
Date	February 22, 2017	Pages/Appendices	58/3
Supervisor(s) Mr. Pertti Varis, Senior Lecturer and Mr. Veli-Matti Tolppi, Principal Lecturer			
Client Organisation /Partners Lujabetoni Oy			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this final project was to make an electric measurement record. The aim was that the Excel table would alarm if the value was not within the tolerance. Furthermore, the quality of production was also to be investigated. This was executed by histograms and xR-cards. It was also required to store the measurement data in the computer storage.</p> <p>Firstly, literature on quality control and many standards were studied. Later, an Excel table was made. After that, the next step was testing. Consequently, data was entered in the Excel table. Then, the results were analyzed. The tests gave a desired result.</p> <p>As a result of this thesis the company received a tool for monitoring the quality, which could help to improve the quality of production. Moreover, as a consequence of the thesis, this should result in vast savings and lower waste. In a nutshell, this would benefit the company's operating profit. Due to the fact that the new Excel table will be taken into use, it can therefore be concluded that the project was successful.</p>			
Keywords quality, quality engineering, hollow-core slab, histogram			
Public			

ESIPUHE

Opinnäytetyö oli erittäin mielenkiintoinen, koska siinä saatiin yhdistettyä useita minua kiinnostavia aiheita, kuten laatutekniikka, Excel ja kustannusvaikutusten laskenta.

Kiitän työnantajaani Lujabetoni Oy:tä saamastani mahdollisuudesta tehdä tämä opinnäytetyö. Kiitän myös tehdaspäällikkö Sampsa Lehmusoksaa, tuotantokoordinaattori Leif Ojalaa sekä suunnitteluinsinööri Ville Rautiota Insinööritoimisto Kari Kolari Oy:stä heidän antamastaan tuesta opinnäytetyön tekemisessä. Lisäksi haluan kiittää työni ohjaamisesta lehtori Pertti Varista.

Siilinjärvellä 30.12.2016

Harri Aaltokoski

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	LUJABETONI OY	8
3	ONTELOLAATAT	9
3.1	Ontelolaattatyypit	9
3.2	Ontelolaattojen valmistus	10
4	LAADUN MITTAAMINEN	12
5	SIX SIGMA	13
6	TILASTOLLISET MENETELMÄT	15
6.1	Tarkastuskortti	16
6.2	Valvontakortit	18
6.3	xR-kortti	19
6.4	Histogrammit	22
7	STANDARDIT	30
7.1	SFS-EN 13369	30
7.2	SFS-EN 1168 + A3	32
7.3	SFS 7016	41
8	TYÖN ETENEMINEN	43
8.1	Menetelmän valinta	43
8.2	Sähköisen mittapöytäkirjan laadinta	44
8.3	Analysointiosion laadinta	45
8.4	Analysoitavien tietojen syöttäminen	46
9	MITTAUSTIETOJEN ANALYSOINTI	47
9.1	Poikkeamatilanteiden ennustettavuus	48
9.2	Pöytien välisten erojen selvittäminen	49
10	OPINNÄYTETYÖN ARVIOINTI	51
10.1	Sähköisen lomakkeen onnistuminen	51
10.2	Taloudelliset hyödyt	51
11	YHTEENVETO	54

12 LÄHTEET 55

LIITE 1 56

LIITE 2 57

LIITE 3 58

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheeksi valittiin laadun mittaus ontelolaattatuotannossa, koska mittaustietojen keräämisessä ja tietojen analysoinnissa nähtiin Lujabetonilla olevan kehitettävää. Tavoitteena on tehdä sähköinen mittauspöytäkirja, jonka avulla voidaan analysoida tuotantoa paremmin. Mittaustiedot on tähän saakka kirjattu paperilomakkeelle, jolloin pitkäaikaisen mittaustiedon analysointi on ollut käytännössä mahdotonta. Myös lomakkeelle tehtävät laskutoimenpiteet saadaan sähköisellä lomakkeella suoritettua automaattisesti, jolloin tietojen kirjaajan työ helpottuu. Sähköinen lomake mahdollistaa myös automaattisen hälytyksen, mikäli mitattu arvo ylittää sallitun toleranssin.

Sähköisen lomakkeen mahdollistamalla analysoinnilla halutaan päästä seuraamaan tuotteen kriittisten mittojen muutoksia, jotta ongelmiin osattaisiin puuttua jo ennen, kun jokin mitta ylittää sallitun toleranssin. Tällaisten muutosten seurantaan soveltuu erittäin hyvin $\bar{x}R$ -kortti. Kortilta nähdään seurattavan mittausarvon pitkän ajanjakson trendi, ja lisäksi kortti näyttää, jos mittausarvot lähestyvät hälytysrajaa.

Sähköinen lomake mahdollistaa tietojen analysoinnin myös histogrammien avulla. Ontelolaattoja valetaan kahdella valupöydällä ja histogrammeilla voidaan tutkia onko valupöytien välillä eroja. Tätä tietoa voidaan hyödyntää tuotannon suunnittelussa. Esimerkiksi jos tietty tuote onnistuu paremmin toisella valupöydällä, pyritään kyseisen tuotteen valmistus ohjaamaan aina sille pöydälle. Toisaalta tietoa voidaan hyödyntää myös pöytien kunnon määrittämisessä. Mikäli kaikissa tuotteissa on sama ongelma aina vain toisessa valupöydässä, voidaan epäillä pöydän geometriassa olevaa vikaa.

Tiedot tullaan keräämään samalle lomakepohjalle kuin käsintehty kirjaukset. Lomakepohja on valmiina Excel-muodossa, joten siihen toteutetaan halutut tallennus- ja analysointiominaisuudet. Kun sähköinen lomakepohja saadaan valmiiksi, syötetään siihen paperilomakkeilta mittaustietoja riittävän pitkältä ajalta. Näiden tietojen avulla voidaan testata taulukoiden toimivuus ja samalla nähdään, saadaanko mittausdatasta hyödynnettävissä olevaa tietoa laadun varmistamiseen ja tuotannon suunnitteluun.

2 LUJABETONI OY

Lujabetoni Oy on rakennusalalla toimiva suomalainen perheyritys. Lujabetoni sai alkunsa vuonna 1953, kun Feliks Isotalo muutti Alahärmästä Pohjois-Savoona ja perusti ensimmäisen sementtivalimon Siilinjärvelle, samalle paikalle missä tehdas toimii vielä nykyisinkin. (Luja Oy, 2015)

Yritys on kasvanut, ja nykyisin Lujabetoni on osa Luja-konsernia, johon kuuluu lisäksi rakennusalalla toimiva Lujatalo Oy ja kuivatuotteita valmistava Fescon Oy. Luja onkin yksi suurimmista rakennusalan konserneista Suomessa. Koko konsernin liikevaihto on yli 450 miljoonaa euroa, ja se työllistää noin 1 400 työntekijää. Yrityksellä on toimintaa Suomen lisäksi myös Ruotsissa (Lujabetong) ja Venäjällä (OOO Lujabeton). Voimakkaasta kasvusta huolimatta Luja on säilynyt perheyrittäksenä ja toimiikin nyt jo kolmannessa polvessa. (Luja Oy, 2015)

Suomessa Lujabetonilla on toimintaa 22 paikkakunnalla. Siilinjärven tehtaana tärkeimmät tuotteet ovat seinäelementit, maatalouselementit, ontelolaatat, jännebetoni- ja teräsbetonituotteet sekä betoniset ratapölkkyt. Lisäksi Lujabetoni valmistaa muilla tehtaillaan mm. betonisia pienpaaluja, betonirenkaita, harkkoja, pihakiviä sekä antura- ja sokkelielementtejä. (Luja Oy, 2015)

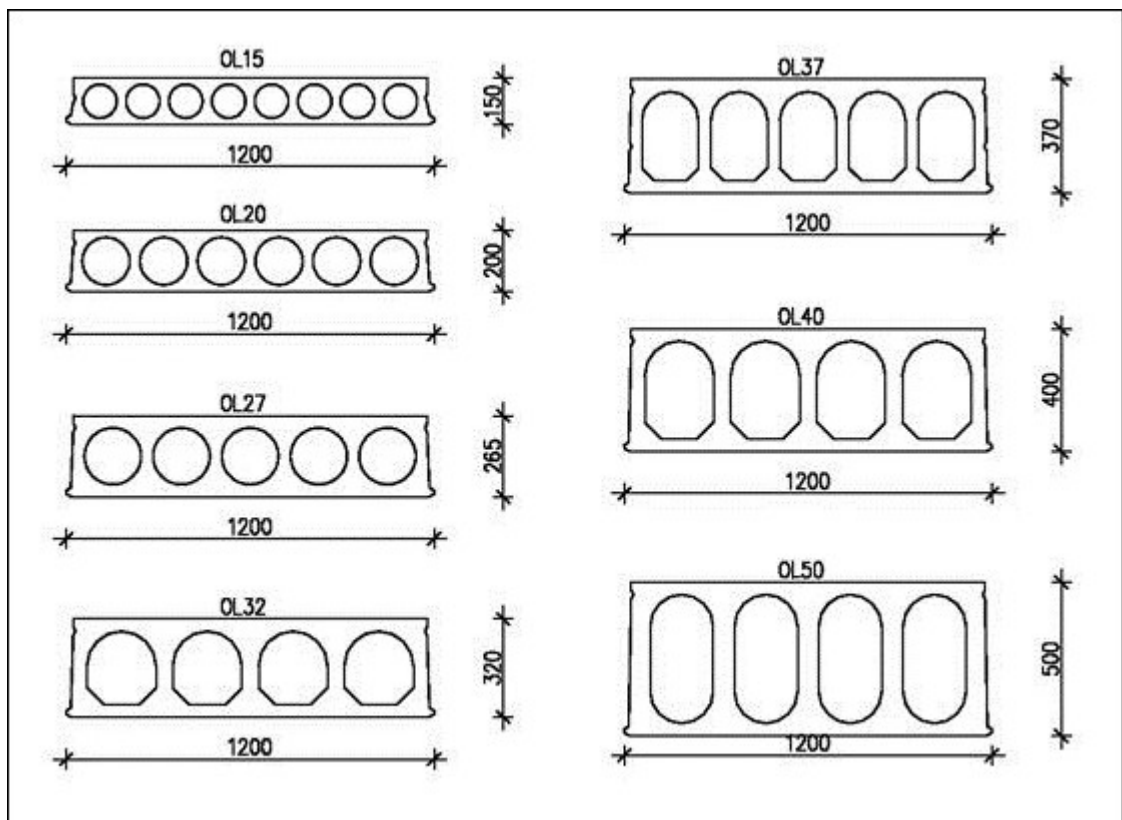
The logo for Lujabetoni features the word "Lujabetoni" in a bold, sans-serif font. The letters "Luja" are colored red, while "betoni" is black. The letter "i" in "betoni" has a distinctive dot above it.

3 ONTELOLAATAT

Ontelolaattoja käytetään betonirunkoisten rakennusten ylä-, väli- ja alapohjissa. Ontelolaat-
taelementit ovat teräspunosten avulla esijännitetyjä, ja niissä on kevennyksenä nimensä
mukaisesti onteloaukot laatan pituussuunnassa.

3.1 Ontelolaattatyypit

Ontelolaattoja valmistetaan eri vahvuisina elementteinä. Tyypilliset valmistuspaksuudet on
esitetty alla kuvassa 1. (Betoniteollisuus Ry, 2016)



KUVA 1. Ontelolaattojen valmistuspaksuudet (Betoniteollisuus Ry, 2016)

Lujabetonin Siilinjärven tehtaan valmistusohjelmassa on 200, 265, 320 ja 400 mm:n kor-
kuiset ontelolaatat. Laattatyypit on nimetty seuraavasti:

- L6-laataksa on kuusi onteloaukkoa ja laatan korkeus on 200 mm.
- L5-laataksa on viisi onteloaukkoa ja tehtaan valmistusohjelmassa olevan laattatyy-
pin korkeus on 265 mm.
- L4-laataksa on neljä onteloaukkoa ja laatan korkeus on 400 mm.
- M4-laataksa on neljä onteloaukkoa ja laatan korkeus on 320 mm.

3.2 Ontelolaattojen valmistus

Ontelolaatat valmistetaan valupöydän päällä jatkuvana valuna (kuva 2). Valupöydän pituus on noin 100 m. Pöydän päälle jännitetään teräspunokset ennen valua, valmistettaville laatoille tehdyn suunnitelman mukaisesti. Punoksien määrä, paksuus ja sijainti vaihtelevat laatalle asetettujen vaatimusten mukaan.



KUVA 2. Ontelopöydän valu käynnissä (Aaltokoski, 2016)

Valukone tiivistää massan erittäin tiiviiksi, jotta ontelorakenne ei rikkoutuisi ennen betonin kovettumista. Valettavan ontelolaatan katkaisukohtiin tehdään merkinnät ja hakataan tarvittavat läpivientiaukot betonin ollessa vielä pehmeää. Tämän jälkeen laatta peitetään suojapeitolla kovettumisen ajaksi, jottei laatta kuivuisi liian nopeasti. Liian nopea kuivuminen voi aiheuttaa betoniin halkeamia.

Kun betoni on kuivunut, otetaan siitä näytepala, jolle tehdään puristuskoe. Tällä varmistetaan betonin riittävä lujuus, ennen kuin teräspunosten jännitys vapautetaan. Jos riittävä lujuus on saavutettu, vapautetaan punosten jännitys ja aloitetaan betonilaatan sahaus aiemmin merkityistä kohdista. Sahauksen aikana ontelokanaviin kulkeutuu sahausterän jäähdytysvettä. Tämän veden poistamiseksi leikattuihin laattoihin porataan reiät molempien päiden lähelle, jokaisen ontelokanavan kohdalle. Näiden reikien kautta onteloaukkoihin myöhemmin esim. varastoinnin aikana joutunut vesi pääsee myös laatan sisältä pois.

Määrämittoihin sahatut laatat nostetaan siirtovaunujen päälle odottamaan tehtaasta ulos siirtoa. Kuitenkin ennen ulos vientiä kaikki laatat mitataan, jotta voidaan varmistua, että ne täyttävät standardin vaatimukset. Standardi edellyttää monia mittauksia, kuten esimerkiksi laatan korkeuden, yläkannen paksuuden (kuva 3) sekä alakannen paksuuden mittausta.



KUVA 3. Laatan yläkannen paksuuden mittausta (Aaltokoski, 2016)

Nämä kaikki tehdään useammasta laatan päässä olevasta mittauskohdasta. Lisäksi mitataan onteloaukkojen väliset uumien paksuudet, punoksien etäisyydet betonipintoihin sekä punosten liukummat. Liukumalla tarkoitetaan sitä mittausta, jonka punos on vetäytynyt leikkauspinnasta laatan sisään. Tehdyistä mittauksista täytetään mittauspöytäkirja, joka arkistoidaan. Mittaustiedot täytetään paperilomakkeille (kuva 4) ja tarvittavat keskiarvot ja summat lasketaan taskulaskimella.



KUVA 4. Paperilomakkeelle täytetty mittapöytäkirja (Aaltokoski, 2016)

4 LAADUN MITTAAMINEN

Laadun mittaaminen tuotannossa on tärkeää, koska virheellisen tuotteen valmistaminen aiheuttaa aina hukkaa. Virheellisen tuotteen valmistamisessa menetetään materiaalin lisäksi työaikaa. Pahimmassa tapauksessa virheellinen tuote voidaan joutua poistamaan tuotantolinjalta kesken prosessin, jolloin koko tuotantolinja voidaan joutua pysäyttämään. Epäkelpo tuote on tehtävä uudelleen, joten sen valmistaminen voi sekoittaa tuotantolinjan suunnitellun työrytmin. Tämän vuoksi tuotantolinjan tehokkuutta mittaavassa KNL-analyysissä suuren painoarvo asetetaan laadulle.

Laadun mittauksella pyritään paitsi löytämään virheelliset tuotteet, myös selvittämään virheiden syyt. Kun laadun mittaamiseen on valittu oikeat työkalut ja oikeat mitattavat kohteet, päästään onnistuneeseen lopputulokseen. Onkin tärkeää tuntea tuotantoprosessi, jotta laadun mittaamiseen osataan valita oikeat asiat seurannan kohteeksi. Suurestakaan mittausdatasta ei ole hyötyä, jos oleelliset tulokset hukkuvat merkityksettömien mittaustulosten sekaan.

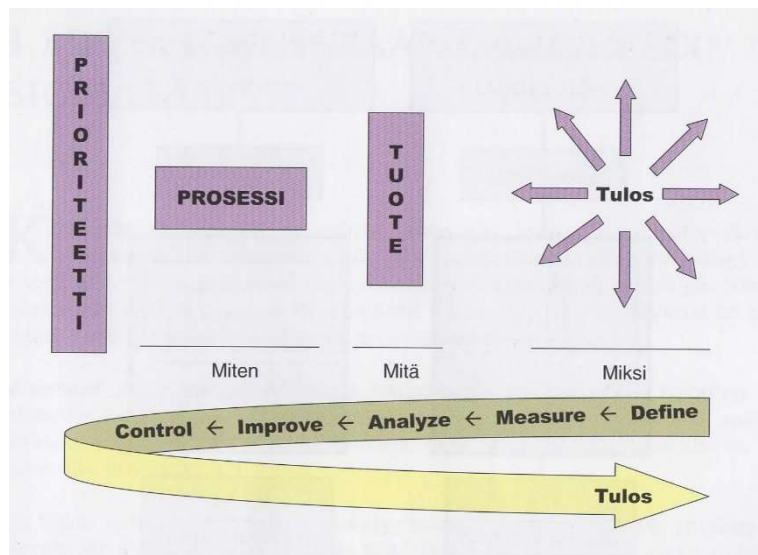
Sen lisäksi, että on löydetty oleelliset mittauskohteet prosessista, on osattava tulkita saatuja tuloksia oikein. Pitkästä mittaushistoriasta ja siitä saadusta kokemuksesta on suurta apua tulosten tulkinnassa. Kokenut tulosten tulkitsija tunnistaa tulosten joukosta satunnaiset, merkityksettömät poikkeamat ja osaa keskittyä vain tulosten oleellisiin muutoksiin.

Mittausdata sisältää aina myös mittausepävarmuudesta johtuvia vaihteluita. Tällaisia vaihteluita voi tulla mm. mittalaitteen tarkkuudesta, mittaajasta, mittausmenetelmästä ja olosuhteista. Olosuhteet muodostuvat lämpötilasta, valaistuksesta ym. mittauspaikalla vallitsevasta vaihtelevasta tekijästä. Laadun parantamiseen tähtäävillä tilastollisilla menetelmillä pyritäänkin suodattamaan mittausepävarmuudesta ja satunnaisista syistä johtuvia poikkeamia oikeasta datasta. Kaikkia mittausepävarmuuden tuomia poikkeamia ei kuitenkaan koskaan saada poistettua, joten tuloksiin on suhtauduttava aina kriittisesti.

5 SIX SIGMA

Six Sigma-laadunparannusjärjestelmä sai alkunsa 1980-luvulla Motorolan kehittäessä omaa laatumenetelmäänsä japanilaisten elektroniikkajättien laatuylivoimaa vastaan. Six Sigma hyödyntää kokonaisvaltaista laatujohtamismallia, TQM:ää vieden laatu ajatusta vielä pidemmälle. Siinä yhdistetään liiketoiminnan tulos, tuote sekä palvelu- ja tuotantoprosessi. Six Sigma pyrkii vähentämään virheiden määrän mahdollisimman lähelle Philip Crosby'n ideologiaa nollavirhemäärää. (Karjalainen T. K., 2002, ss. 7 - 10)

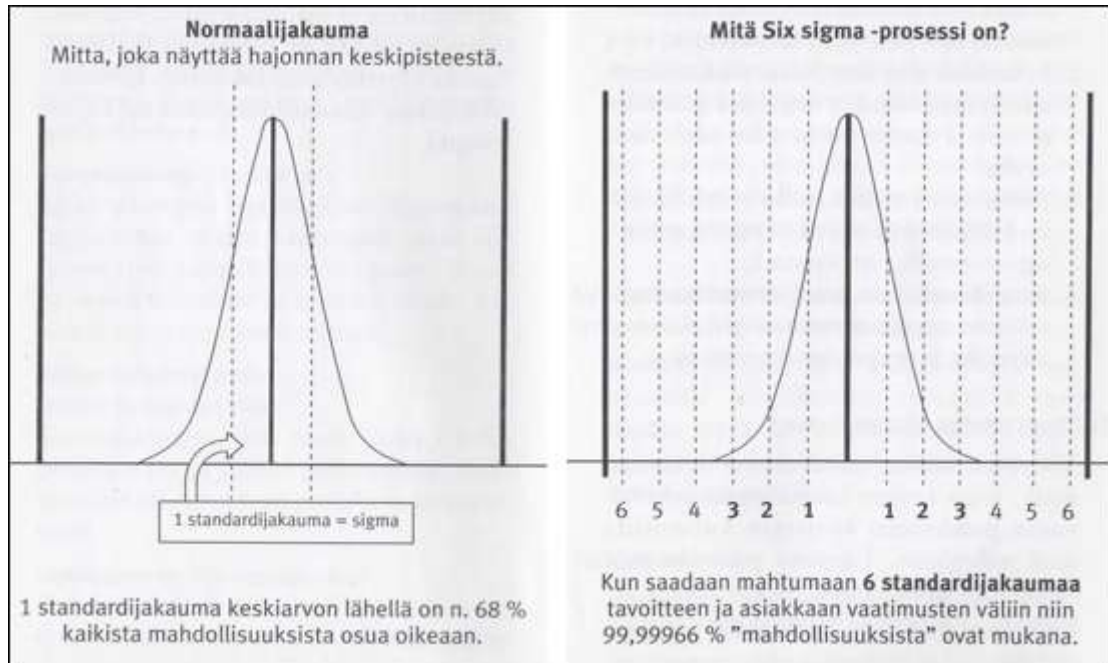
Six Sigma hyödyntää DMAIC-prosessia (Define, Measure, Analyze, Improve and Control), jossa määritellään ensin liikkeenjohdon tulosodotukset, sitten edetään tuotantoprosessin läpi tulokseen saakka mitaten ja analysoiden sekä tuotetta että tuotantoprosessia (kuva 5). (Karjalainen T. K., 2002, s. 14)



KUVA 5. DMAIC - prosessi etenee tulosodotuksesta tulokseen (Karjalainen, 2002, s. 14)

Termi *Sigma* tarkoittaa normaalivaihteluväliä. Perinteisessä tilastollisessa analyysissä normaalijakauman keskipisteen molemmin puolin piirretään pystyviivat, joiden väli kuvaa normaalivaihteluväliä eli sigmaa. Tämä yksi sigma sisältää 68 % vaihtelusta, joten ulkopuolelle jää 32 %, jotka ovat virheellisiä tuotteita (kuva 6). Kun laatua parannetaan niin, että laatu-kriteerien väliin saadaan sopimaan kuusi vaihteluväliä (six sigma), jää virheellisten tuotteiden määräksi enää 0,00034 % tuotteista. Kun virheellisten tuotteiden määrä menee näin pieneksi, otetaan käyttöön ppm-yksikkö (parts per million). Virheellisten tuotteiden määrä on siis 3,4 yksikköä miljoonassa yksikössä eli 3,4 ppm. Suorituskyvyn määrittämisessä käytetään DPO-yksikköä (defects per opportunity). Tällä tarkoitetaan prosessissa tapahtuneiden virheiden lukumäärää verrattuna niihin prosessissa olevien tapahtumien lukumäärään,

missä on mahdollisuus tapahtua virhe. Tästä on käytössä myös yksikkö DPMO, jolla virheiden määrää verrataan miljoonaan virhemahdollisuuteen. Lisäksi käytetään myös valmistettävien yksiköiden määrään vertaavia yksiköitä DPU (Defects Per Unit) ja DPMU (Defects Per Million Unit). (Hölttä, 2001, ss. 31-33)



KUVA 6. Normaalijakauma ja Six sigma – prosessi (Hölttä, 2001, ss. 20 - 21)

Jotta ymmärrettäisiin, miksi näin suuret laatuvaatimukset ovat tarpeellisia, voidaan käytännön esimerkein osoittaa, miksi esimerkiksi 99 %:n laatu ei riitä. Jos esimerkiksi vesi- ja sähkölaitos toimittaisivat tuotteensa noudattaen 99 %:n laatuvaatimusta saisi jokainen kotitalous kuukaudessa viisitoista minuuttia juomakelvotonta vettä ja sähköt olisivat poikki seitsemän tuntia kuukaudessa. (Hölttä, 2001, ss. 33 - 34)

6 TILASTOLLISET MENETELMÄT

Laadun mittaamiseen on kehitelty lukuisa joukko erilaisia tilastollisia menetelmiä. Eri menetelmät soveltuvat eri olosuhteisiin. Tämän vuoksi laadun mittaamista suunniteltaessa onkin syytä tutkia eri menetelmien soveltuvuutta kyseiseen kohteeseen.

Ensimmäisenä on mietittävä tietojen kerääminen tuotantoprosessista. On tunnistettava prosessista oikeat näytteenottopaikat ja määriteltävä tiheys jolla näytteitä tullaan ottamaan. Tietoja kerätään, jotta voidaan hallita ja tarkkailla prosessia. Lisäksi syynä voi olla poikkeamien analysointi, joko prosessista tai itse tuotteesta. Tuotantoprosessin loppuvaiheessa tietoja kerätään tyypillisesti lopputarkastuksen yhteydessä. Tällöin määritellään hyväksytäänkö tuote, vai onko se epäkelpo. Kerätyllä tiedolla tulisi aina olla tarkoitus, eli havaittujen poikkeamien perusteella pyritään tekemään korjaavia toimenpiteitä. (Kume, 1991, s. 12)

Jotta kerättävät tiedot voidaan määritellä pitää tavoite olla selvillä, mihin tarkoitukseen tietoja tullaan käyttämään. Kun tarkoitus ja kohde tietojen keruulle on määritelty, saadaan määriteltyä myös vertailukohde, mihin tietoja verrataan. Vertailupariksi voidaan valita esimerkiksi kahden eri koneen tekemät tuotteet. Jos tuotteiden välillä havaitaan poikkeavuutta, voidaan tietojen perusteella etsiä syitä, jotka ovat johtaneet näihin eroihin. Lopputuloksena löydetään parannuskeino, jolla poikkeamat saadaan korjattua. (Kume, 1991, ss. 12 - 13)

Tietojen analysoinnin kannalta on hyödyllistä jakaa tiedot alaryhmiin, joiden sisällä voidaan tehdä vielä tarkempaa jakoa tiettyjen tekijöiden perusteella. Tätä menetelmää kutsutaan ositukseksi ja se on erittäin olennainen osa kerätyn tiedon käsittelyssä. (Kume, 1991, s. 13)

Kerätyn tiedon kirjaaminen datakorttiin on suunniteltava huolella. Kirjaaminen tulee suorittaa niin, että tiedon alkuperä on jäljitettävissä myöhemmin. Kaikesta kerätystä tiedosta tulee löytyä tiedon keruun ajankohta, miltä koneelta tieto kerättiin, tuotantoerä ja muut tuotteen valmistamiseen liittyvät oleelliset muuttujat. Ilman näitä tietoja kerätyllä tiedolla ei ole

TAULUKKO 1. Esimerkki datakortin tietokentistä (Kume, 1991, s. 14)

Päiväys	Aika			
	9.00	11.00	14.00	16.00
1.2.	12.3	11.5	13.2	14.2
2.2.	13.2	12.5	14.0	14.0
3.2.	⋮	⋮	⋮	⋮

Tarkastuskortti voidaan laatia myös tuotteessa esiintyvien erilaisten virheiden perusteella. Tällaiseen korttiin on merkitty omat sarakkeet kaikille tunnetuille seurannassa oleville virhetyypeille (kuva 8). Tarkastaja merkitsee havaitut virheet oikeisiin sarakkeisiin perinteisellä tukkimiehen kirjanpidolla. Työvuoron päätteeksi virhetyyppien välinen jakauma nähdään kortilta. Tämän tyyppinen kortti ei kuitenkaan kerro esimerkiksi sitä jos samassa tuotteessa on useamman tyyppistä virhettä. Tämän vuoksi tällä kortilla ei voida tutkia eri virhetyyppien välisiä keskinäisiä riippuvuuksia. (Kume, 1991, s. 17)

Tarkastuskortti		
Tuote:	Päiväys:	
Valmistusvaihe: lopputarkastus	Osasto:	
Virhetyyppi: naarmu, viimeistelemättömän halkeama, muotovirhe	Tarkastajan nimi:	
Tarkastettujen kokonaislukumäärä: 1525	Erä nro:	
Huomautukset: Kaikki yksityiskohdat tarkastettu	Tilausno:	
Tyyppi	Tarkastus	Yhteensä
Pintanaarmuja	//// // // //	17
Halkeamia	//// // /	11
Viimeistelemättä	//// // // // // //	26
Muotovirheitä	///	3
Muut	////	5
	Yhteensä	62
Hylätyt yhteensä	//// // // // // // // // //	42

KUVA 8. Virhesyiden tarkastuskortti (Kume, 1991, s. 17)

Lisäksi tarkastuskortteja voidaan laatia virheen sijainnin, syyn tai muun selvitettävissä olevan seikan perusteella. Nämä kaikki tähtäävät kuitenkin samaan päämäärään, eli virheen syyn selvittämiseen ja sen poistamiseen. (Kume, 1991, ss. 17 - 19) Oikean tyyppisen tarkastuskortin valinta ja sen muokkaaminen kohteeseen sopivaksi onkin tärkeää, jotta tavoitteessa onnistuttaisiin.

6.2 Valvontakortit

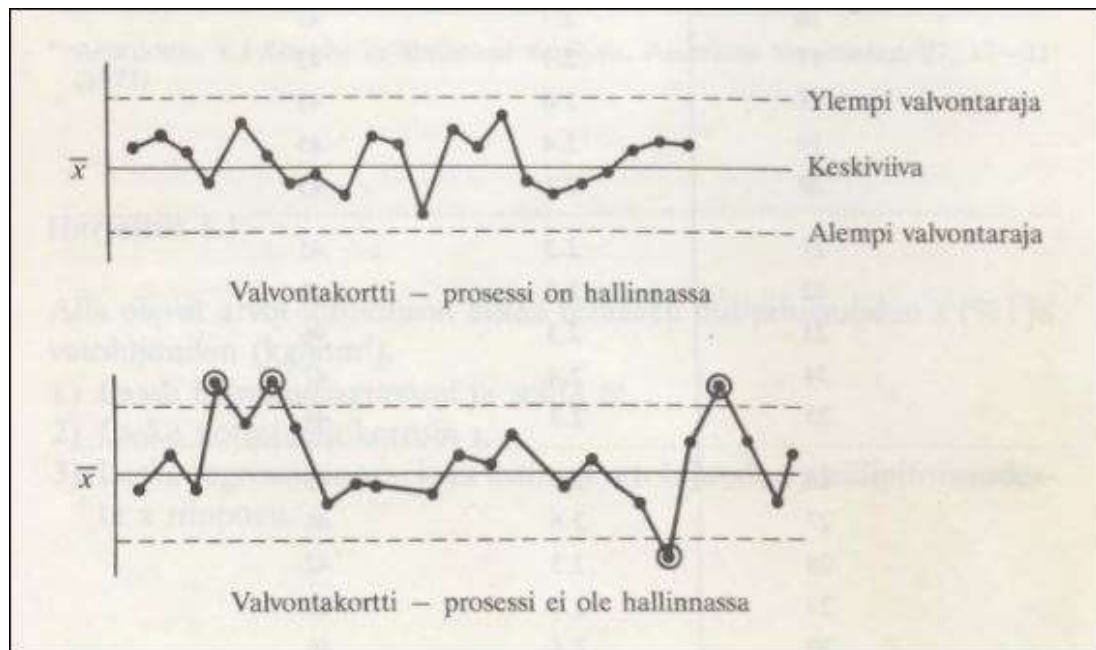
Valvontakortit ovat W.A.Shewhartin kehittelemiä laadun parantamisessa käytettäviä tilastollisia työkaluja. Niiden avulla pyritään suodattamaan mittaustuloksista laadun parantamisen kannalta oleelliset mittausarvot esiin. Tarkoituksena on erotella mittaustuloksista satunnaiset vaihtelut ja selvitettävissä olevat vaihtelut. (Kume, 1991, s. 92)

Valvontakortissa mitatuista arvoista muodostetaan trendikäyrä. Kortissa on keskiviiva (CL) sekä ylempi valvontarajaviiva (UCL) ja alempi valvontarajaviiva (LCL). Mitatut arvot merkitään valvontakorttiin pistein ja nämä pisteet yhdistämällä muodostuu mittauksia kuvaava trendikäyrä. Prosessin toimivuutta voidaan arvioida tutkimalla käyrän sijoittumista em. viivojen väliin. Mikäli jompikumpi valvontarajaviiva ylitetään, voidaan päätellä että mitattava prosessi ei ole hallinnassa. Samoin jos trendikäyrä suuntautuu jotenkin poikkeavasti, voidaan todeta että prosessissa on jotain häiriötä. (Kume, 1991, s. 92)

Laatua tutkittaessa on hyväksyttävä tosiasia, että tuotteen laatu vaihtelee aina jonkin verran. Vaihteluun on useita erilaisia syitä. Nämä voidaan jakaa kahteen tyyppiin, sattumanvaraisiin syihin ja selitettävissä oleviin syihin. (Kume, 1991, s. 93) Sattumanvaraisiin syihin ei voida vaikuttaa, koska ne ovat satunnaisia ja joskus jopa ainutkertaisia. Vaikka tuotantoprosessi olisi hyvin standardoitu ja käytettävä raaka-aine tunnettaisiin hyvin, voi prosessiin satunnaisesti vaikuttaa jokin täysin ennakoimaton ja yllättävä seikka (Kume, 1991, s. 93). Valmistusprosessista tai systeemistä itsestään johtuvat syyt muodostavat valtaosan virheiden määrästä, jopa 94 – 98 %. Näihin normaaliin satunnaiseen vaihteluun kuuluvia tekijöitä ei voida korjata. Korjausyritykset johtavat vain prosessin ajautumiseen epävakaammaksi ja vaihtelun lisääntymiseen. (Tanja Karjalainen, 2000, s. 11)

Valvontakorttien antaman tiedon perusteella voidaan päätellä, onko tuotantoprosessi hallinnassa (kuvio 1). Mikäli mittausdatan pisteet menevät ylä- tai alavalvontarajan ulkopuolella, voidaan todeta, että prosessissa on jotain vialla eikä se ole hallinnassa. Samoin myös datasta saatavan trendikäyrän poikkeava suuntautuminen kielii ongelmasta prosessissa. (Kume, 1991, s. 93)

Jotta valvontakorttien perusteella pystytään arvioimaan poikkeamien syitä, tulee mitatut arvot jaotella alaryhmiin. Tällaisia alaryhmiä voidaan tehdä esim. seuraavasti: Valmistava kone, työvuoro, työntekijä, materiaalierä tms. muodostaa oman alaryhmänsä. Alaryhmän arvoja tutkittaessa suodattuvat muiden tekijöiden vaikutukset ja nähdään vain kyseisen ryhmän vaikutus tulokseen. (Kume, 1991, s. 93)



KUVIO 1. Valvontakortin kuvaajasta nähdään, onko prosessi hallinnassa (Kume, 1991, s. 92)

Valvontakortteja on monenlaisia, ja ne voidaan jakaa kahteen pääkategoriaan mitattavien arvojen ominaisuuksien mukaan. Ensimmäiseen kategoriaan kuuluvat jatkuvien arvojen kortit, jotka pitävät sisällään keskiarvon ja vaihteluvälin tutkimiseen soveltuvan \bar{x} -R-kortin ja mitatun arvon tutkimaan tarkoitettua x -kortin. Toinen kategoria on epäjatkuvien arvojen seurantaan suunnitellut kortit. Tällaisia kortteja ovat pn-kortit, p-kortit, c-kortit ja u-kortit. Näissä korteissa keskitytään tutkimaan virheiden määrää tai osuutta tietyssä otantaerässä. (Kume, 1991, s. 94)

6.3 \bar{x} R-kortti

\bar{x} R-korttityypillä seurataan tuotteen laatua jatkuvasti mitattavilla arvoilla. Parhaiten tämä korttityyppi soveltuu alaryhmien sisällä tapahtuvien vaihteluiden seurantaan. Tuotteesta valitaan seurantaan soveltuva arvo, kuten paino, pituus, pinnankarheus tai jokin muu oleellinen mittausarvo, jolla tuotteen laatua voidaan luotettavasti seurata. (Kume, 1991, s. 94) Mittaukset kannattaa jakaa alaryhmiin esimerkiksi niin, että yhden päivän aikana tehdyt mittaukset muodostavat yhden alaryhmän. Jako voidaan tehdä myös muilla perusteilla, esimerkiksi tuotantokoneiden mukaan. Alaryhmiä muodostetaan 20 - 25 kappaletta, jotta saavutetaan riittävä datamäärä luotettavaan seurantaan. Mittausarvoja tulee kerätä jokaisesta alaryhmästä 2 - 10 kappaletta. Yleisesti riittävänä määränä pidetään noin 100 mitattua arvoa kortilla. Jokaisen alaryhmän arvoista lasketaan keskiarvo \bar{x} (kaava 1). Tuloksen laskennassa käytetään yleensä yhtä desimaalia suurempaa tarkkuutta, kuin mitatuissa arvoissa on. (Kume, 1991, ss. 96 - 98)

$$\text{KAAVA,} \quad \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

Seuraavaksi tulee laskea keskiarvojen keskiarvo, eli alaryhmien keskiarvot lasketaan yhteen ja jaetaan alaryhmien lukumäärällä (kaava 2). Tässä vaiheessa arvot tulisi laskea kahden desimaalin verran suuremmalla tarkkuudella kuin alkuperäiset mitta-arvot. (Kume, 1991, s. 98)

$$\text{KAAVA,} \quad \bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_k}{k} \quad (2)$$

Sen jälkeen lasketaan jokaisesta ryhmästä vaihteluväli R (kaava 3) niin, että vähennetään jokaisen alaryhmän suurimmasta mitatusta arvosta vastaavan ryhmän pienin mitta-arvo. Valvontarajojen laskemiseksi tulee vielä laskea \bar{R} eli vaihteluvälien keskiarvo. Laskennassa käytetään jälleen kahden desimaalin verran tarkempia arvoja, kuin mitatut arvot olivat. (Kume, 1991, s. 99)

$$\text{KAAVA,} \quad \bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k} \quad (3)$$

Edellä laskettujen tulosten perusteella voidaan laskea valvontarajat sekä \bar{x} -kortille että R-kortille seuraavilla kaavoilla. (Kume, 1991, s. 99)

	Keskiviiva	CL = \bar{x}
\bar{x} – kortti	Ylempi valvontaraja	UCL = $\bar{x} + A_2\bar{R}$
	Alempi valvontaraja	LCL = $\bar{x} - A_2\bar{R}$
	Keskiviiva	CL = \bar{R}
R – kortti	Ylempi valvontaraja	UCL = $D_4\bar{R}$
	Alempi valvontaraja	LCL = $D_3\bar{R}$

Mikäli $n < 6$, alempaa valvontarajaa ei huomioida lainkaan. Kertoimet A_2 , D_4 ja D_3 määräytyvät alaryhmän mittausarvojen määrän (n) mukaan. Kertoimet on esitetty alla olevassa taulukossa 2. (Kume, 1991, s. 100) A_2 laskennassa käytettävä Hartelyn kerroin on merkitty tähän taulukkoon merkinnällä d_2 .

TAULUKKO 2. \bar{x} R-kortissa käytettävät kertoimet (Kume, 1991, s. 100)

Näytteen koko, n	\bar{x} - kortti	R - kortti		
	A_2	D_3	D_4	d_2
2	1,880	-	3,267	1,128
3	1,023	-	2,575	1,693
4	0,729	-	2,282	2,059
5	0,577	-	2,115	2,326
6	0,483	-	2,004	2,534

Taulukon A_2 -kerroin poikkeaa hieman Euroopassa ja Amerikassa toisistaan (taulukko 4). Yläpuolisen taulukon 2 arvot on merkitty amerikkalaisen käytännön mukaan. Kyseinen kerroin lasketaan seuraavasta kaavasta käyttäen apuna Hartleyn kerrointa d_n . Kaavassa on jaettavana lukuna eurooppalaisessa järjestelmässä luku 3,09 ja amerikkalaisessa järjestelmässä 3,0. (Leiviskä, 1998, ss. 21 - 22)

$$\text{Amerikkalainen järjestelmä} \rightarrow A_2 = \frac{3,0}{d_n \sqrt{n}}$$

$$\text{Eurooppalainen järjestelmä} \rightarrow A_2 = \frac{3,09}{d_n \sqrt{n}}$$

Yläpuolella esitettyjen kaavojen Hartleyn kerroin d_n valitaan alapuolella olevasta taulukosta 3 näytteiden lukumäärän mukaisesti.

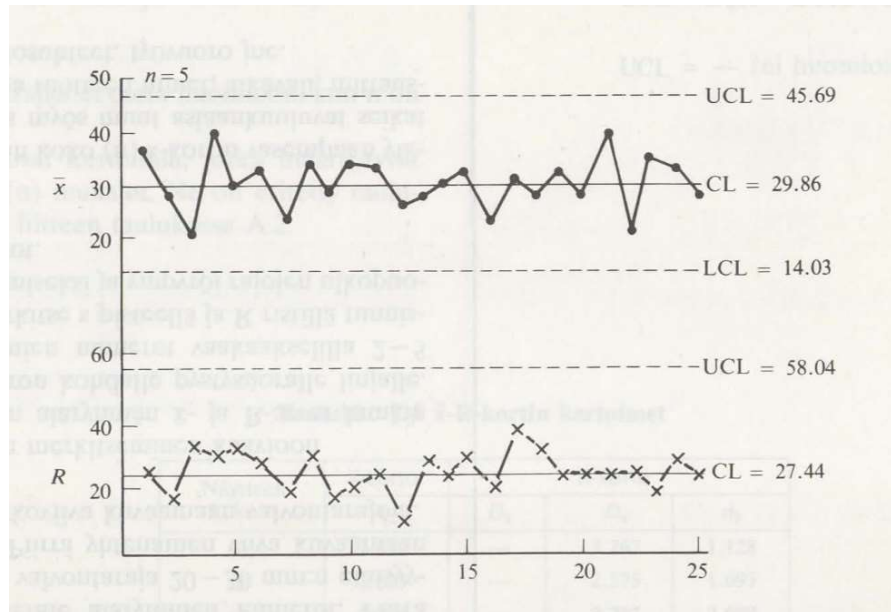
TAULUKKO 3. Hartleyn kerroin d_n valitaan taulukosta näytekoon mukaisesti (Leiviskä, 1998, s. 22)

Koko	2	3	4	5	6	7
d_n	1.128	1.693	2.059	2.326	2.534	2.704

TAULUKKO 4. Taulukossa eurooppalaisen ja amerikkalaisen järjestelmän mukaan laskettujen A_2 kertoimien erot (Harri Aaltokoski)

Koko	2	3	4	5	6	7
Eurooppalainen A_2	1,937	1,054	0,750	0,594	0,498	0,432
Amerikkalainen A_2	1,881	1,023	0,729	0,577	0,483	0,419

Edellä kuvattujen laskutoimitusten perusteella voidaan piirtää $\bar{x}R$ -kortin kuvaaja. Ensin piirretään koordinaatisto, johon sijoitetaan vasempaan reunaan pystyakselille \bar{x} ja R-arvojen asteikot. Molempiin koordinaatistoihin piirretään keskilinja lasketun CL-arvon kohdalle ja tämän arvon molemmin puolin sijoitetaan lasketut UCL- ja LCL-arvot. Vaaka-akselille sijoitetaan alaryhmät. Mitatut arvot merkitään nyt kunkin alaryhmän kohdalle taulukkoon ja lopuksi pisteet yhdistetään kuvaajaksi (kuvio 2). Kaavioon tulee merkitä myös alaryhmän koko n sekä muut oleelliset seikat, kuten päivämäärä, tuotantolinja, mittausten aikaväli, olosuhteet, työvuoro, käytetyt koneet yms. (Kume, 1991, s. 101)



KUVIO 2. $\bar{x}R$ -kortti (Kume, 1991, s. 102)

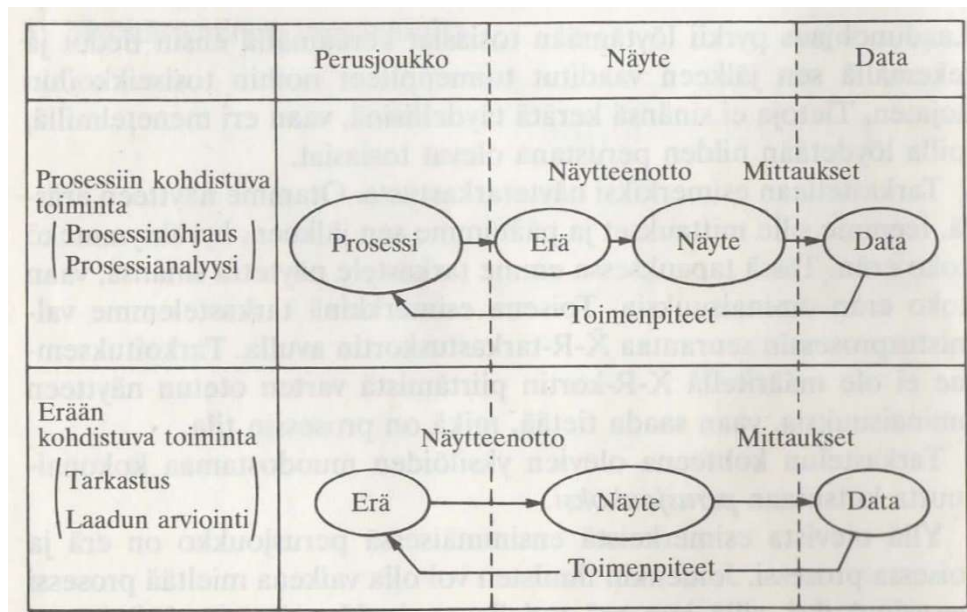
6.4 Histogrammit

Kaikissa prosesseissa tapahtuu aina vaihtelua, olivatpa ne hallinnassa miten hyvin tahansa. Vaihtelua aiheuttavat koneet, käytettävät materiaalit, valmistusmenetelmät, ihmiset, olosuhteet yms. Mitään näistä tekijöistä ei voida pitää täysin vakiona, joten on ymmärrettävää että myös prosessin tuloksessa ilmenee vaihtelua. Vaikka edellä mainittujen tekijöiden arvot vaihtelevat jatkuvasti, ei vaihtelu ole täysin sattumanvaraista ja sekavaa. Kun arvojen käyttäytymistä seurataan riittävän pitkällä aikavälillä, voidaan havaita että ne noudattelevat tiettyjä sääntöjä. Tällöin sanotaan arvojen muuttuvan tietyn jakauman mukaisesti. (Kume, 1991, s. 39)

Tuotteiden laadunmittauksessa ei ole tarkoituksenmukaista kerätä kaikkea saatavilla olevaa tietoa. Tärkeintä on poimia tuotteen ominaisuuksiin liittyvät oleellimmat tiedot. Nämä tiedot ovat sellaisia, joita voidaan hyödyntää tuotetta arvioitaessa tai tuotantolinjan ongelmia selvitettäessä. (Kume, 1991, s. 39)

Kerättyjä mittaustietoja voidaan hyödyntää myös eri tavoin. Näytetarkastusta tehtäessä tuote-erästä otetusta näytteestä tehdään mittaukset, joiden perusteella kyseinen erä joko hyväksytään tai hylätään. Tällöin mittauksilla seurataan tuotantoerän ominaisuuksia. Toisaalta mittauksia voidaan tehdä tuotantoprosessin tilan selvittämiseksi, kuten $\bar{x}R$ – kortilla tehdään. Molemmissa tapauksissa on tarkastelun kohteeksi valittu jokin yksilöiden muodostama kokonaisuus, jota kutsutaan perusjoukoksi. Näytetarkastusesimerkissä tämä perusjoukko on tuote-erä ja tuotantoprosessista tehdyssä $\bar{x}R$ – kortissa se on valmistusprosessi. Jotta valmistusprosessi osataan mieltää perusjoukoksi, tulee ajatella sen rakentuvan pienemmistä tekijöistä. Nämä tekijät ovat ihmiset (man), koneet (machine), raaka-aineet (material) ja menetelmät (method). Näistä tekijöistä käytetään nimitystä 4 M niiden englanninkielisten nimitysten mukaan. (Kume, 1991, s. 40)

Kun perusjoukosta otetaan yksi tai useampi yksilö tarkasteltavaksi tulee näiden näytteiden kuvata mahdollisimman hyvin kyseistä tuote-erää tai tuotantoprosessia (kuva 9). Suuresta tuote-erästä näytteitä otettaessa voidaan olettaa, että mikä tahansa tuote kuvaa tuotantoerän ominaisuuksia yhtä hyvin. Tämän vuoksi päädytäänkin usein satunnaisnäytteenottoon menetelmään, jolloin näyte valitaan tuote-erästä täysin sattumanvaraisesti. Tällöin näyte on siis satunnaisotos kyseisestä erästä. Näytettä mittaamalla saadaan tietoa sen ominaisuuksista. Näiden tietojen perusteella voidaan tehdä päätelmät perusjoukosta ja arvioida parannustoimenpiteiden tarvetta. (Kume, 1991, s. 40)



KUVA 9. Perusjoukko, näytteen ja datan välinen suhde (Kume, 1991, s. 40)

Suuresta tuotantoerästä saadaan suuri määrä dataa. Tämä vaikeuttaa perusjoukon ominaisuuksien ymmärtämistä, vaikka kerätty tieto olisikin hyvin taulukoituna. Tämän ongelman ratkaisemiseksi histogrammi on erittäin hyvä työkalu. (Kume, 1991, s. 41) Histogrammissa

kerätyt tiedot kuvataan graafisessa muodossa, jolloin tiedot voidaan ymmärtää yhdellä silmäyksellä.

Histogrammin tekeminen aloitetaan laatimalla kerätyistä tiedoista taulukko, jossa näyte-erät ilmoitetaan taulukon vasemman puoleisilla pystyriveillä. Jokaisen näyte-erän yksittäiset arvot merkitään kyseisen erän perään vaakariville (taulukko 5). Näyte-erä voi olla esimerkiksi yhden päivän aikana tehdyt mittaukset, jolloin päivämäärä merkitään taulukon vasempaan reunaan. Päivän aikana tehtyjen mittausten tulokset merkitään em. päivämäärän kanssa samalle riville, jokainen mittaustulos omaan ruutuun.

TAULUKKO 5. Mittaustuloksista laadittu taulukko (Kume, 1991, s. 44)

Näyte nro	Mittaustulokset										Max.-arvo rivillä	Min.-arvo rivillä
1 – 10	2.510	2.517	2.522	2.522	2.510	2.511	2.519	2.532	2.543	2.525	2.543	2.510
11 – 20	2.527	2.536	2.506	2.541	2.512	2.515	2.521	2.536	2.529	2.524	2.541	2.506
21 – 30	2.529	2.523	2.523	2.523	2.519	2.528	2.543	2.538	2.518	2.534	2.543	2.518
31 – 40	2.520	2.514	2.512	2.534	2.526	2.530	2.532	2.526	2.523	2.520	2.534	2.512
41 – 50	2.535	2.523	2.526	2.525	2.532	2.522	2.502	2.530	2.522	2.514	2.535	2.502
51 – 60	2.533	2.510	2.542	2.524	2.530	2.521	2.522	2.535	2.540	2.528	2.542	2.510
61 – 70	2.525	2.515	2.520	2.519	2.526	2.527	2.522	2.542	2.540	2.528	2.542	2.515
71 – 80	2.531	2.545	2.524	2.522	2.520	2.519	2.519	2.529	2.522	2.513	2.545	2.513
81 – 90	2.518	2.527	2.511	2.519	2.531	2.527	2.529	2.528	2.519	2.521	2.531	2.511
											Suurin arvo	Pienin arvo
											2.545	2.502

Seuraavaksi taulukon arvoista muodostetaan frekvenssitaulukko. Tämä aloitetaan laske- malla taulukon arvoista vaihteluväli R. Helpoiten tämän saa tehtyä lisäämällä taulukon jokaisen vaakarivin perään kyseisen rivin pienimmän ja suurimman arvon. Lopuksi valitaan vielä näistä arvoista pienin ja suurin arvo. Nämä ovat koko taulukon arvojen vaihteluvälin minimi- ja maksimiarvot ja näiden erotus on vaihteluväli. (Kume, 1991, s. 43)

Edellä lasketun vaihteluvälin avulla määritellään luokkaväli. Luokkaväliä määriteltäessä vaihteluväli, sisältäen suurimman ja pienimmän arvon, jaetaan saman levyisiin alueisiin. Luokkavälejä muodostetaan 5 – 20 kappaletta. Luokkavälin leveyden määrittämiseksi jaetaan vaihteluväli 1:llä, 2:lla ja 5:llä, tai 0,1:llä, 0,2:lla ja 0,5:llä, riippuen vaihteluvälin desimaalien määrästä (taulukko 6). Jakolaskun tulos pyöristetään kokonaisluvuksi ja valitaan jakaja siltä riviltä, jonka luokkavälien lukumäärä osuu välille 5 – 20. Jos kaksi riviä antaa tuloksen, joka asettuu edellä mainitulle välille, valitaan enemmän luokkavälejä osoittava vaihtoehto, kun mitta-arvoja on 100 tai enemmän, muussa tapauksessa valitaan pienempi määrä luokkavälejä. (Kume, 1991, s. 45)

TAULUKKO 6. Esimerkkejä luokkien määrän ja luokkavälin määrittämiseksi (Harri Aaltokoski)

	Pienin arvo	Suurin arvo	Vaihtelu väli	Jakaja	Luokkavälien lkm	Luokkavälien lkm (pyöristettynä)	Välillä 5 - 20
Esimerkki 1	12	76	64	10	6,4	6	6
				2	3	3	
				5	1,2	1	
Esimerkki 2	2	8	6	1	6	6	6
				2	3	3	
				5	1,2	1	
Esimerkki 3	1,73	2,22	0,49	0,1	4,9	5	5
				0,2	2,45	2	
				0,5	0,98	1	
Esimerkki 4	2,502	2,545	0,043	0,010	4,3	4	
				0,002	21,5	22	
				0,005	8,6	9	9

Taulukon 6 esimerkissä 4 luokkavälien lukumääräksi tulee 9 eli pienimmän ja suurimman mittausarvon väli tulee jakaa 9:ään saman levyiseen luokkaan (taulukko 7). Luokkaväli on käytetty jakaja, eli tässä tapauksessa 0,005. Luokkia muodostaessa tulee huomioida, että pienin arvo sisältyy ensimmäiseen luokkaan ja suurin arvo viimeiseen luokkaan.

TAULUKKO 7. Mittausarvojen jako luokkiin, esimerkin 4 tapauksessa (Harri Aaltokoski)

								9. luokka	
								Alaraja	Yläraja
							8. luokka		
							Alaraja	Yläraja	
						7. luokka			
						Alaraja	Yläraja		
					6. luokka				
					Alaraja	Yläraja			
				5. luokka					
				Alaraja	Yläraja				
			4. luokka						
			Alaraja	Yläraja					
		3. luokka							
		Alaraja	Yläraja						
	2. luokka								
	Alaraja	Yläraja							
	1. luokka								
	Alaraja	Yläraja							
2,5005	2,5055	2,5105	2,5155	2,5205	2,5255	2,5305	2,5355	2,5405	2,5455

Frekvenssitaulukkoon merkitään vielä jokaisen luokan keskipiste. Tämä saadaan, kun laskeaan luokan alarajan ja ylärajan keskiarvo. Tämä toistetaan jokaiselle luokalle tai voidaan käyttää myös toista menetelmää, jolloin ensimmäisen luokan keskipisteeseen lisätään luokkaväli. Tästä saadaan tulokseksi toisen luokan keskipiste. Toisen luokan keskipisteeseen

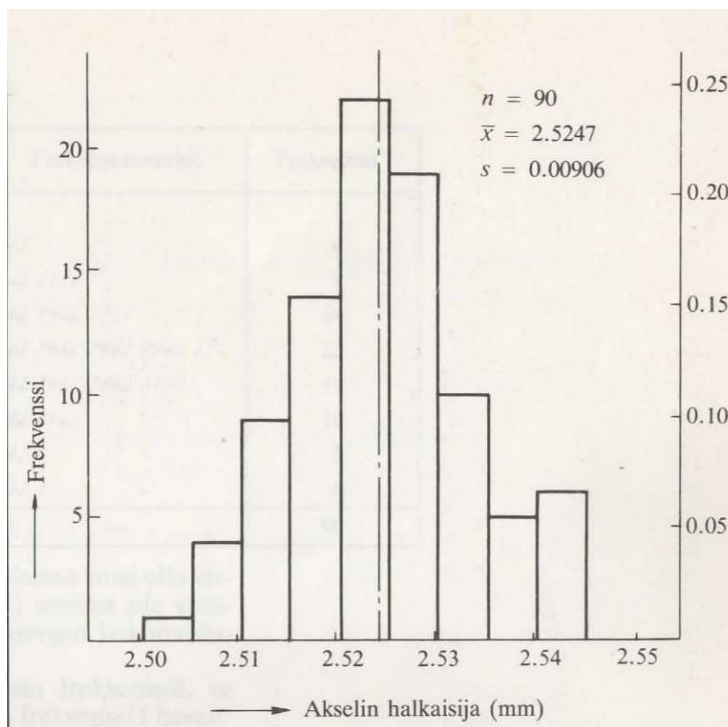
lisätään taas luokkaväli, jolloin saadaan kolmannen luokan keskipiste jne. (Kume, 1991, s. 46)

Laskettujen arvojen perusteella voidaan muodostaa frekvenssi taulukko, johon mitatut arvot merkitään tukkimiehen kirjanpidolla (taulukko 8). Haluttaessa voidaan laskea suhteellinen frekvenssi jakamalla luokan frekvenssiluku havaintojen määrällä. Havaintojen määrä n on frekvenssien yhteenlaskettu summa. (Kume, 1991, s. 48)

TAULUKKO 8. Frekvenssitaulukko jossa yhdeksän luokkaa (Kume, 1991, s. 48)

	Luokka	Luokan x keskipiste	Frekvenssimerkit	Frekvenssi f
1	2.5005 – 2.5055	2.503	/	1
2	2.5055 – 2.5105	2.508	////	4
3	2.5105 – 2.5155	2.513	/// ////	9
4	2.5155 – 2.5205	2.518	/// /// ////	14
5	2.5205 – 2.5255	2.523	/// /// /// /// //	22
6	2.5255 – 2.5305	2.528	/// /// /// ////	19
7	2.5305 – 2.5355	2.533	/// ///	10
8	2.5355 – 2.5405	2.538	///	5
9	2.5405 – 2.5455	2.543	/// /	6
	Yhteensä		—	90

Frekvenssitaulukoon kerätyistä tiedoista muodostetaan seuraavaksi histogrammi (kuva 10). Aluksi piirretään vaakasuuntainen akseli, johon merkitään asteikkoviivat data-arvojen yksiköihin perustuen. Asteikon muodostamisessa ei siis käytetä luokkavälejä. Tämä helpot-

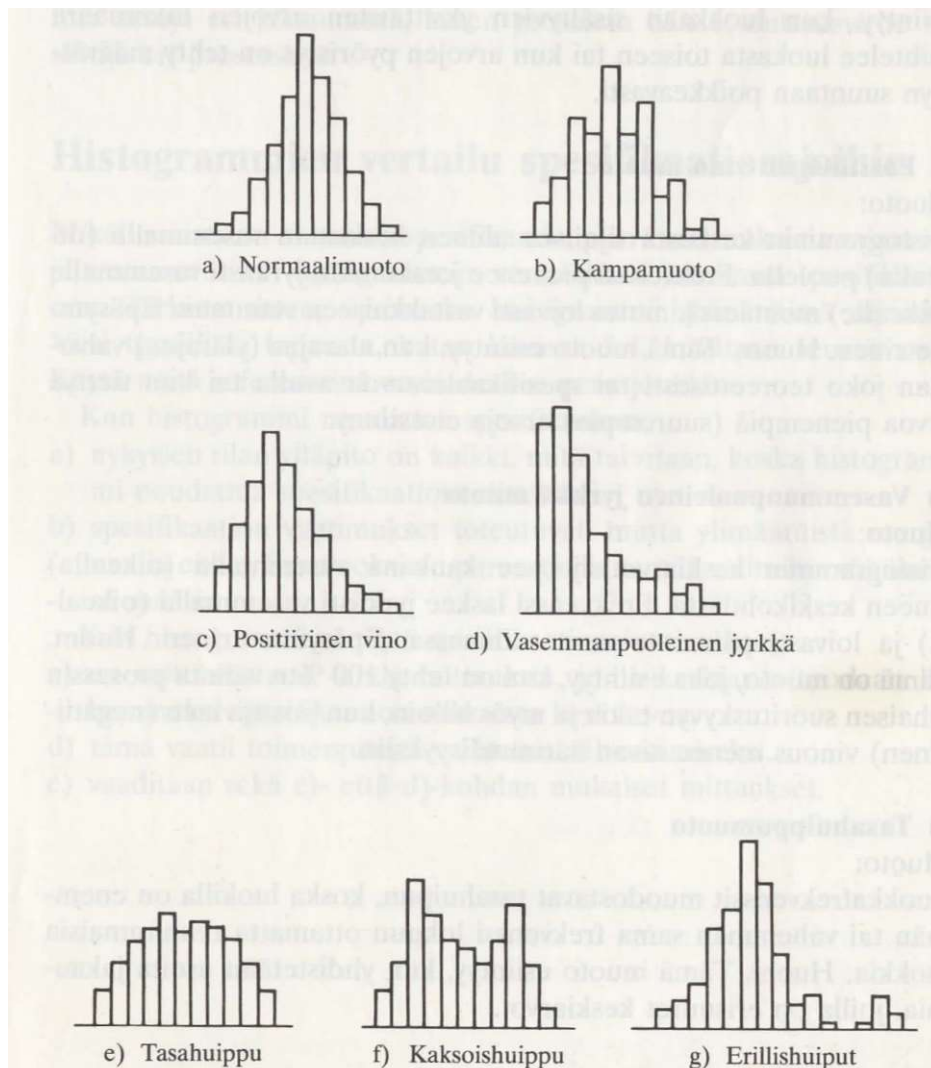


KUVA 10. Histogrammi (Kume, 1991, s. 50)

taa histogrammien vertailua keskenään. Vasemman puolen pystyakselille merkitään frekvenssiasteikko ja oikealle puolelle suhteellisen frekvenssin asteikko, mikäli suhteellinen frekvenssi on laskettu. (Kume, 1991, s. 49)

Vaaka-akselille merkitään luokkien raja-arvot, jonka jälkeen luokkavälin rajan kohdalta piirretään pylväs, joka vastaa korkeudeltaan luokan frekvenssiä. Merkitse mittausdatan keskiarvoa kuvaava piste-katkoviiva taulukkoon. Lisäksi taulukkoon merkitään mittausarvojen lukumäärä n , keskiarvo \bar{x} , keskihajonta s sekä muut tietojen vertailun kannalta oleelliset seikat, kuten päivämäärä, tuote-erä, mittausolosuhteet yms. Jos mittausarvoille on määritetty spesifikaatorajat, voidaan ne merkitä myös histogrammiin. (Kume, 1991, s. 50)

Histogrammin muodon perusteella voidaan tehdä päätelmiä perusjoukon tilasta ja analysoidaan koko prosessia. Kuvassa 11 on esitetty erilaisia histogrammien muotoja. Normaali-muoto (a) on tyypillisin ja tämä on myös se muoto johon pyritään. Erillishuippuja kuvaava muoto (g) kertoo yleensä prosessissa olevasta häiriöstä tai mittausvirheestä. (Kume, 1991, ss. 50 - 53)



KUVA 11. Histogrammimuodot (Kume, 1991, s. 51)

Normaalimuoto (a) on yleisin ja kuvaa mittausarvojen asettumista symmetrisesti alueen keskellä olevan keskiarvon ympärille (Kume, 1991, s. 52). Mikäli mittausarvoille on määritelty spesifikaatorajat ja histogrammin reunimmaisat arvot sijoittuvat myös näiden rajojen sisäpuolelle on tilanne ihanteellinen.

Kampamuoto (b) kertoo luokkien frekvenssin vaihtelevan vuoron perään ylös alas, luokkien välillä. Tämä voi johtua joko prosessissa olevasta vaihtelusta tai mittauksen tekijän tavasta tehdä mittausarvojen pyöritys tiettyyn suuntaan poikkeavasti. (Kume, 1991, s. 52)

Positiivinen vino muoto (c) voi johtua rajojen valvontamenetelmästä, eli jos rajoja valvotaan spesifikaatioarvojen tai teoreettisten arvojen perusteella voi histogrammi saada tällaisen muodon. Myös se, ettei prosessi tuota tiettyä arvoa suurempia tai pienempiä arvoja, voi johtaa mittausarvojen sijoittumiseen tällä tavoin. (Kume, 1991, s. 52)

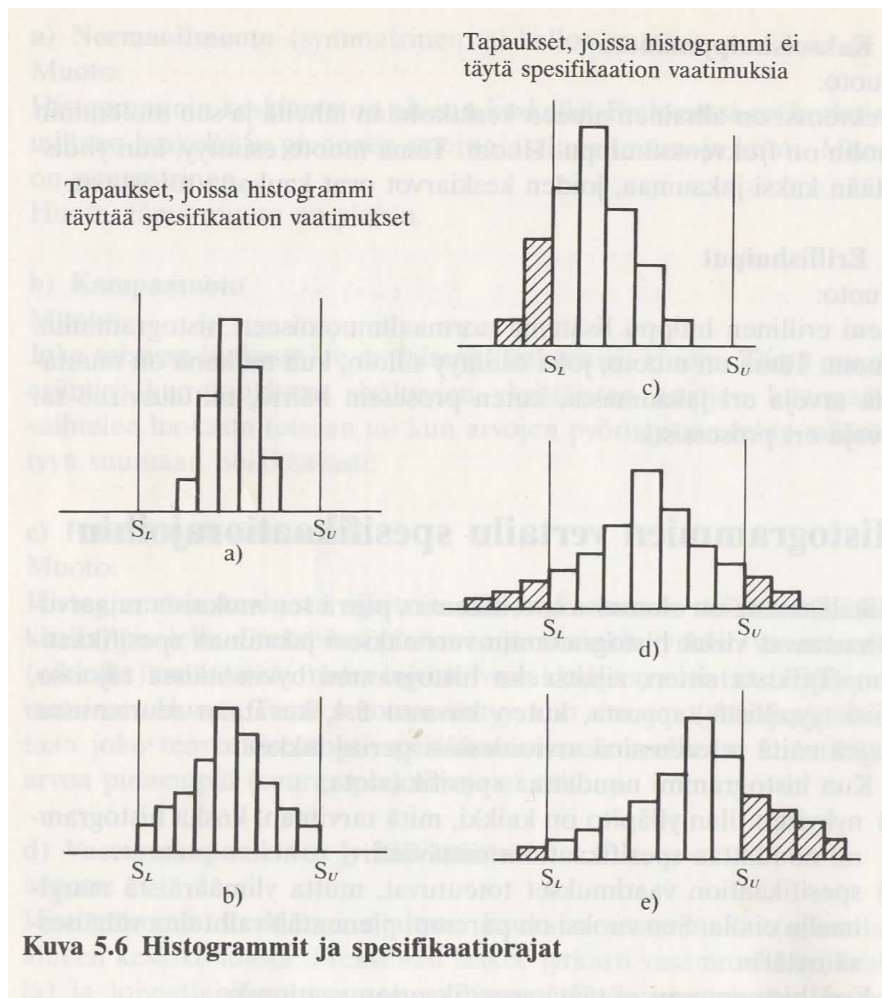
Vasemmanpuoleinen jyrkkä muoto (d) voi johtua samasta syystä kuin positiivinen vino muotokin, sen mennessä äärimmäisyyksiin. Se voi ilmetä myös tilanteissa, joissa vähäisen tuotantomäärän vuoksi on otettu 100 %:n otanta tuotannosta. (Kume, 1991, s. 52)

Tasahuippumuoto (e) esiintyy yleensä kun yhdistetään useita jakaumia, joilla on toisistaan poikkeavat keskiarvot. (Kume, 1991, s. 52)

Kaksoishuippumuoto (f) ilmenee yhdistettäessä kaksi keskiarvoltaan toisistaan eroavaa jakaumaa (Kume, 1991, s. 53).

Erillishuippumuodossa (g) muodostuu normaalimuotoisen kuvion viereen toinen pienempi huippukohta. Tällainen muoto ilmenee, kun mukana on muutamia eri jakaumien arvoja tai prosessissa on häiriö. Myös mittaajan virhe tai eri prosessin arvojen sekoittuminen mittaus-tuloksiin voi aiheuttaa tällaisen muodon. (Kume, 1991, s. 53)

Mikäli mittausarvojen tulee asettua tiettyjen spesifikaatioarvojen väliin, kannattaa histogrammiin lisätä spesifikaatorajat (kuva 12). Nämä rajat helpottavat mittausarvojen asettumisen seuraamista raja-arvojen väliin. Mikäli mittausarvot eivät asetu sallittujen rajojen väliin, tulee prosessia korjata. Myös tapauksissa, joissa mittausarvot sijoittuvat hyvin lähelle spesifikaatorajoja tulee selvittää, olisiko prosessin tilassa jotain korjattavaa. (Kume, 1991, s. 53)



KUVA 12. Spesifikaatorajat histogrammissa (Kume, 1991, s. 54)

7 STANDARDIT

Betonituotteiden valmistusta ja tuotteiden mittaamista säätelevät useat standardit. Tärkeimmät niistä ovat SFS-EN 13369, SFS-EN 1168 + A3 sekä SFS 7016, joista kerrotaan tarkemmin seuraavissa luvuissa.

7.1 SFS-EN 13369

”Betonivalmiskosten yleiset säännöt” – standardi SFS-EN 13369 vahvistettiin 17.6.2013 ja se korvaa aikaisemmin julkaistut standardit SFS-EN 13369:2005, SFS-EN 13369/A1:2006 ja SFS-EN 13369/AC:2007. Tämä uusi standardi on suomennettu 12.8.2013. Mikäli standardin tulkinnassa ilmenee ristiriitaisuuksia, noudatetaan tämän standardin englanninkielistä tekstiä EN 13369:2013. (Suomen Standardoimisliitto, 2013, s. 1)

Tekninen komitea CEN/TC 229 on laatinut tämän asiakirjan (EN 13369:2013), jolle on annettu kansainvälisen standardin asema lokakuun 2013 loppuun mennessä. Voimaantulosta on säädetty, että tämän standardin kanssa ristiriitaiset kansalliset standardit on kumottava lokakuun 2013 loppuun mennessä. (Suomen Standardoimisliitto, 2013, s. 3)

Standardissa SFS-EN 13369 esitetään yleiset vaatimukset erilaisten betonivalmiskosten tehdasvalmistukselle. Tämä standardi ei ole niin sanottu harmonisoitu standardi, joten sen vaatimukset eivät yksin riitä CE-merkintään. Kyseinen standardi kuuluu osana CEN:n laatimaa rakentamiseen liittyvien standardien kokonaisuohjelmaa EN 206. Tämän standardin vaatimuksia täydennetään standardeissa EN 1992 ja EN 13670. (Suomen Standardoimisliitto, 2013, s. 5)

On huomattava, että tämän standardin kaikkia vaatimuksia ei tule soveltaa kaikenlaisille betonivalmiskosille. Mikäli betonivalmiskosalla on olemassa oma standardinsa, sen vaatimukset menevät tämän edelle. Tämä standardi on sovellettavissa tuotteille, joille ei varsinaista omaa standardia ole. (Suomen Standardoimisliitto, 2013, s. 6)

Standardi SFS-EN 13369 määrittelee käytettäviä termejä seuraavasti:

- *betonivalmiskos*: teollisesti valmistettu tuote. Valmistusprosessi sisältää laadunvarmistuksen ja mahdollisuuden tuotteiden lajitteluun. Tuote on valmistettu muualla kuin sen lopullisessa käyttöpaikassa, suojattuna sääolosuhteiden vaikutukselta.
- *betonipeite*: betonin sisään valetun raudoituksen pinnasta lähimpään betonipintaan mitattavissa oleva etäisyys.
- *jänne*: teräspunos, terästanko tai teräslanka, joka on esi- tai jälkijännitetty.

- *nimellismitta*: valmistettavan tuotteen tavoitemitta, joka on mainittu tuotteen teknisessä asiakirjassa.
- *toleranssi*: ylöspäin sallitun poikkeaman ja alaspäin sallitun poikkeaman itseisarvojen summa.
- *poikkeama*: asiakirjassa esitetyn nimellismittan ja tuotteesta otetun todellisen mittan välinen erotus.

(Suomen Standardoimisliitto, 2013, s. 8)

Puristuslujuusluokkien vaatimukset esitetään tarkemmin standardin EN 206-1:2000 kohdassa 4.3.1. Esijännitetyjen betonivalmisosien lujuusluokan vähimmäisvaatimus on C20/25 ja raudoitettujen betonivalmisosien C30/37. (Suomen Standardoimisliitto, 2013, s. 13)

Jänneteräksset ja jännepunokset betonivalmisosassa

Kun tehtaalla on suoritettu sisäinen laadunvalvonta ja alkutestaukset ja niiden perusteella on todettu tuotteen täyttävän standardin SFS-EN 13369 kohdan 4.2.3.2.2 mukaiset tiukennetut toleranssit, voidaan jännitysvoiman σ_{Omax} maksimiarvona käyttää

$$\sigma_{Omax} = \min(0,85 f_{pk} \text{ tai } 0,95 f_{p0,1k}) \quad \text{luokalle 1.}$$

Ja mikäli edellä mainittu ehto ei täyty käytetään standardin EN 1992-1-1:2004 kohtaa 5.10.2.1

$$\sigma_{Omax} = \min(0,80 f_{pk} \text{ tai } 0,90 f_{p0,1k}) \quad \text{luokalle 2}$$

Luokassa 1 tulee jännitysvoiman tarkkuus olla vähintään ± 5 % yksittäisellä jänteellä ja luokassa 2 yksittäisellä jänteellä ± 10 % ja kokonaisvoimalla ± 7 %. (Suomen Standardoimisliitto, 2013, s. 15)

Jänteiden luisto elementin kummassakin päässä ei saa ylittää yksittäisellä jänteellä arvoa $1,3 \Delta L_o$ ja kummankin elementin pään jänteiden keskiarvoa ΔL_o (kaava 4). Mikäli käytetään kehämäistä punostusta, lasketaan siitä kolmen kehällä olevan punoksen keskiarvo.

$$\text{KAAVA,} \quad \Delta L_o = 0,4 l_{pt} \frac{\sigma_{pmo}}{E_p} \quad \Delta L_o \text{ ilmoitetaan millimetreinä} \quad (4)$$

jossa

l_{pt2} = standardin EN 1992-1-1:2004 kohdan 8.10.2.2 mukaisesti voimalle annettu suurin siirtymäpituuden raja-arvo = $1,2 l_{pt}$

σ_{pmo} = teräsjänteen alkujännitys heti jännitysvoiman päästön jälkeen, MPa

E_p = jänneteräksen kimmokerroin, MPa

Jänteiden luisto tulee mitata kaikista tuotteista, paitsi kappaleena valetuista tuotteista. Sahatut tuotteet voidaan tarkistaa vain silmämääräisesti. (Suomen Standardoimisliitto, 2013, s. 15)

7.2 SFS-EN 1168 + A3

”Betoni valmistosot, Ontelolaatat” - standardi SFS-EN 1168 + A3 vahvistettiin 23.1.2012 ja se korvaa aikaisemmin julkaistun standardin SFS-EN 1168 + A2. Tämä uusi standardi on suomennettu 16.4.2014. Mikäli standardin tulkinnassa ilmenee ristiriitaisuuksia, noudatetaan tämän standardin englanninkielistä tekstiä; EN 1168: 2005+A3: 2011. (Suomen Standardoimisliitto, 2012, s. 1)

Tekninen komitea CEN/TC 229 on laatinut tämän asiakirjan (EN 1168: 2005 + A3: 2011), jolle on annettu kansainvälisen standardin asema huhtikuun 2012 loppuun mennessä. Voimaantulosta on säädetty, että tämän standardin kanssa ristiriitaiset kansalliset standardit on kumottava heinäkuun 2013 loppuun mennessä. (Suomen Standardoimisliitto, 2012, s. 4)

Betonivalmisosia koskevia standardeja on laadittu useita ja tämä standardi on osa tätä sarjaa. SFS-EN 1168 + A3 standardissa esiintyy viittauksia standardiin EN 13369 niiden tuotestandardi vaatimusten yhdenmukaisuuden vuoksi. Lisäksi on huomattava, että joidenkin kantavien betonivalmisosien asennukseen liittyviä vaatimuksia esitetään standardissa EN 13670. (Suomen Standardoimisliitto, 2012, s. 4)

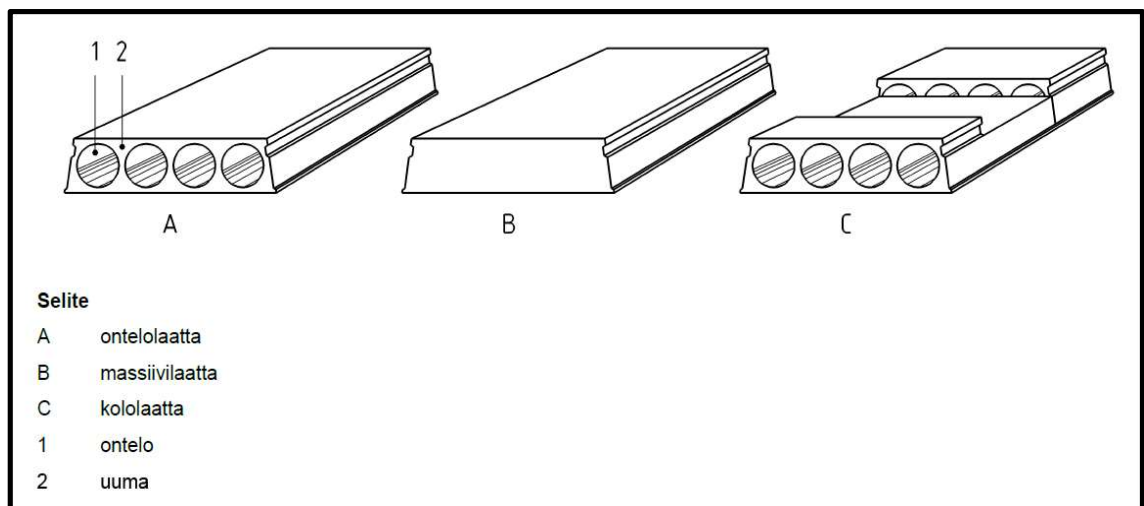
Standardia SFS-EN 1168 + A3 sovelletaan standardin EN 1992-1-1:2004 mukaisesti valmistettujen esijännitettyjen tai raudoitettujen betonisten normaalipainoisten ontelolaattojen vaatimuksenmukaisuuden määrittämiseen. Lisäksi standardissa käsitellään toiminnallisia kriteereitä ja niiden määrittämiseen tarvittavien minimiarvojen määrittämistä. Tämän standardin ulkopuolelle rajataan esijännittämällä valmistetut yli 500 mm:n korkuiset elementit

sekä raudoittamalla valmistetut yli 300 mm:n elementit. Myöskään yli 1200 mm leveiden elementtien kohdalla tätä standardia ei sovelleta, mikäli elementti ei sisällä poikittaisraudoitusta. Poikittaisraudoitetuissa elementeissä tämä leveysraja on 2400 mm. (Suomen Standardoimisliitto, 2012, s. 7)

Standardi edellyttää, että kaikille markkinoille toimitettaville betonielementeille tehdään tässä standardissa määritelty vaatimustenmukaisuuden arviointi. Tämän arvioinnin tulee pitää sisällään myös kaikkien tehtaalla tehtävien toimenpiteiden arvioinnin. (Suomen Standardoimisliitto, 2012, s. 6)

Ontelolaattojen kantokyvyn todentaminen tehdään laskennalla. Betonilaatan leikkauskestävyyttä laskettaessa oleelliset betonin ominaisuusarvot ovat riippuvaisia tuotantolaitteiden oikeasta toiminnasta. Tämän vuoksi standardi velvoittaa noudattamaan liitteessä J esitetyjä testausmenetelmiä, joilla varmistetaan laskennan kautta saadun leikkauskestävyyden paikkansapitävyys sekä tuotannossa käytettyjen laitteiden toiminta. (Suomen Standardoimisliitto, 2012, s. 6)

Standardi velvoittaa noudattamaan annettuja viiteasiakirjoja ja huomioimaan niissä ilmoitetut päiväykset, jotta sovellettaisiin juuri oikeaa viitettä mihin standardin laatija haluaa viitata. Standardissa esiintyvät viiteasiakirjat on lueteltu standardin sivuilla 7 – 8. (Suomen Standardoimisliitto, 2012, s. 7)



KUVA 13. Betonilaattatyyppejä (Suomen Standardoimisliitto, 2012, s. 9)

Kuvassa 13 on esitetty erilaisia betonilaattatyyppejä. On huomattava, että mikäli ontelolaatan onteloaukot täytetään betonilla myöhemmin, laatta ei aukkojen täyttämisestä huolimatta ole standardin tarkoittama massiivilaatta. (Suomen Standardoimisliitto, 2012, s. 9)

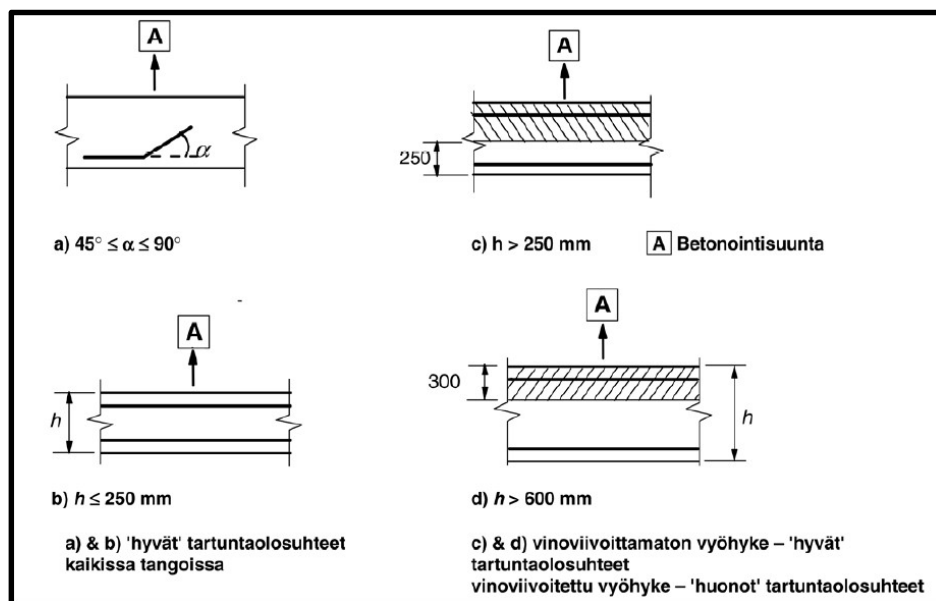
Jänneteräkset

Standardi SFS-EN 1168 +A3 rajoittaa käytettävien jänneterästen halkaisijoita seuraavasti. Luokassa 1 käytettävien jänneterästen suurin sallittu halkaisija on 11 mm, mikäli käytetään teräslankoja. Mikäli käytetään teräspunoksia, on suurin sallittu punoksen halkaisija 16 mm. Luokassa 2 rajoitetaan kuumentamalla esijännitettyjen terästankojen halkaisija 16 mm:iin. Terästankojen käyttö on sallittu vain tietyissä tapauksissa, jotka standardi määrittelee liitteessä K. (Suomen Standardoimisliitto, 2012, s. 10)

Jänneterästen jännittämisestä standardin vaatimukset ovat seuraavat:

- jänteiden sijainnin tulee olla sellainen, että ne ovat tasaisesti jakaantuneet koko elementin leveydelle.
- Elementissä tulee olla minimissään neljä jännettä elementin 120 cm leveyttä kohden. Jänteiden tartuntaolosuhteet on esitetty kuvassa 14.
- Mikäli elementti on leveämpi kuin 60 cm mutta kapeampi kuin 120 cm, tulee siinä olla vähintään kolme jännettä.
- Enintään 60 cm elementtiin vaaditaan minimissään kaksi jännettä.
- Jänteiden vapaata välimatkaa varten standardi esittää laskentakaavat.
 - Vaakasuuruntainen välimatka $\geq (d_g + 5 \text{ mm}), \geq 20 \text{ mm}$ ja $\geq \emptyset$
 - Pystysuuruntainen välimatka $\geq d_g \geq 10 \text{ mm}$ ja $\geq \emptyset$

Kaavassa d_g on betonimassassa käytetyn kiviaineksen suurin raekoko (Suomen Standardoimisliitto, 2015, s. 144).



KUVA 14. Jänteiden tartuntaolosuhteet elementeissä (Suomen Standardoimisliitto, 2015, s. 133)

Lisäksi standardissa todetaan, että esijännityksen siirtymisen osalta sovelletaan standardia EN 1992-1-1: 2004 kohtaa 8.10.2.2. (Suomen Standardoimisliitto, 2012, s. 11)

Geometriset ominaisuudet

TAULUKKO 9. Standardi sallii laatan geometrisille mitoille tiettyjä poikkeamia

Mitattava suure	Täydentävä tieto	Sallittu poikkeama
Laatan paksuus	$h \leq 150$ mm	-5 mm, +10 mm
	$h \geq 250$ mm	± 15 mm
	150 mm $< h < 250$ mm	määritetään lineaarisella interpolaatiolla
Uuman nimellispaksuuden minimiarvo	yksittäinen uuma (b_w)	-10 mm
	laatan kaikki uumat yhteensä ($\sum b_w$)	-20 mm
Kannaksen nimellispaksuuden minimiarvo (onteloiden ylä- ja alapuoli)	yksittäinen kannas	-10 mm, +15 mm
Raudituksen pystysuuntainen sijainti vetopuolella	yksittäinen lanka, punos tai tanko	$h \leq 200$ mm, ± 10 mm
		$h \geq 250$ mm, ± 15 mm
		200 mm $< h < 250$ mm voidaan käyttää lineaarisesta interpolaatista
	keskiarvo laattaa kohden	± 7 mm
Nämä vaatimukset eivät saa olla ristiriidassa standardin alakohdan 4.3.1.2.3 kanssa		

Standardin alakohdassa 4.3.1.2.3 (johon taulukossa 9 viitataan) annetaan rakentamiseen liittyviä toleransseja laatalle. Alla esitetyn taulukon 10 mukaisia toleransseja noudatetaan, mikäli valmistaja ei ole ilmoittanut näitä tiukempia arvoja. (Suomen Standardoimisliitto, 2012, s. 12)

TAULUKKO 10. Rakentamiseen liittyviä toleransseja

Mitattava suure	Täydentävä tieto	Sallittu toleranssi
Laatan pituus		± 25 mm
Laatan leveys	yleensä	± 5 mm
	kavennetut laatat	± 25 mm
Pituussuunnassa sahattujen laattojen leveys		± 25 mm

Huomautus: Taulukot 9 ja 10 on muodostettu SFS-EN 1168 +A3 sivuilla 11 ja 12 esitettyjen tietojen perusteella.

Lisäksi standardi määrittelee ulostulevien punosten negatiivisen poikkeaman arvoksi -10 mm. Tämä poikkeama mitataan ulostyöntyvästä osasta ja sitä verrataan mitoitusarvoon. (Suomen Standardoimisliitto, 2012, s. 12)

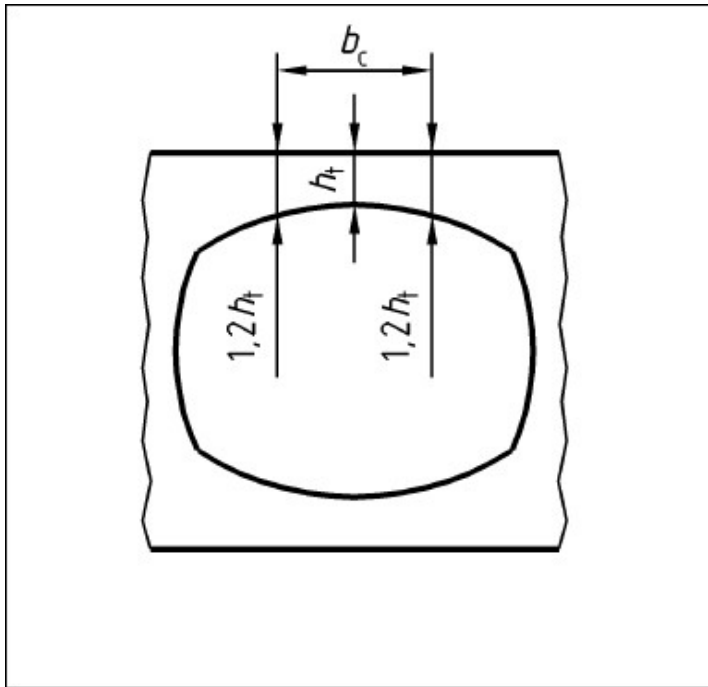
Betonipeitteen toleranssit

Suurin sallittu poikkeama betonipeitteessä on $\Delta c = -10$ mm. Valmistaja voi rajoittaa toleranssin myös tätä pienemmäksi. Muita elementin vähimmäismittoja on esitetty standardin EN 13369:2004 kohdassa 4.3.1.2. (Suomen Standardoimisliitto, 2012, s. 12)

Uumien ja kannasten nimellispaksuus määritellään piirustuksissa. Sen tulee olla minimissään vähimmäispaksuus lisättynä valmistajan antama poikkeama-arvo. Valmistajan ilmoittama poikkeama-arvo on negatiivinen toleranssi. Standardin mukaiset määritelmät uumien ja kannasten paksuuksille on esitetty taulukossa 11 (*Huomautus: Taulukko 11 on muodostettu SFS-EN 1168 +A3 sivulla 12 esitettyjen tietojen perusteella*).

TAULUKKO 11. Uumien ja kannasten paksuudet

Mitattava suure	Täydentävä tieto	Arvon määrittäminen
Uuman paksuus	Vähintään suurin arvon määrittäminen kentän antamista tuloksista	$h/10$, 20 mm tai $(d_g + 5 \text{ mm})$
Kannaksen paksuus	Vähintään suurin arvon määrittäminen kentän antamista tuloksista	$\sqrt{2h}$, 17 mm tai $(d_g + 5 \text{ mm})$ Yläkannas kuitenkin vähintään $0,25 * b_c$
Taulukossa d_g ja h – mitat ilmoitetaan millimetreinä. b_c on mittauskohta kannaksessa, jossa suurimman paksuuden arvo ei ole suurempi kuin pienin paksuuden arvo kertaa 1,2 (katso kuva 15).		



KUVA 15. Yläkannaksen vähimmäispaksuuden mittaaminen

(Suomen Standardoimisliitto, 2012, s. 13)

Jänneterästen vähimmäiskeskiöetäisyys ja vähimmäisbetonipeitteen arvo C_{min} mitataan punosta lähinnä olevaan betonipintaan ja onteloaukon reunaan. Mittaukset tehdään aina pituussuuntaisten lohkeamien ja halkeamien vaikutuksen estämiseksi sekä sellaisissa tapauksissa, joista ei ole tehty erityislaskelmia ja/tai testejä. (Suomen Standardoimisliitto, 2012, s. 13) Vähimmäisbetonipeitteen vähimmäisarvot C_{min} on esitetty alla olevassa taulukossa 12. (Huomautus: Taulukko 12 on muodostettu SFS-EN 1168 +A3 sivulla 13 esitettyjen tietojen perusteella).

TAULUKKO 12. Vähimmäisbetonipeitteen määrittäminen

Määrittäminen	Täydentävä tieto	C_{min}
Punosten välinen suurin nimellinen keskiöetäisyys	$\geq 3 \phi$	1,5 ϕ
	$< 2,5 \phi$	2,5 ϕ

Punoksen tai langan halkaisijamitta ϕ ilmoitetaan millimetreinä. Mikäli käytetään eripaksuisia punoksia, käytetään punosten halkaisijoiden keskiarvoa. C_{min} - arvojen väliarvot saadaan lineaarisen interpolaation avulla. Mikäli käytetään harjapintaisia lankoja, kasvatetaan tämän taulukon antamia C_{min} - arvoja 1 ϕ .

Taulukossa 12 esitetyt vähimmäisbetonipeitteen mitat mitataan lähimpään onteloaukon ja betonipinnan reunaan. Vain betonilaatan pintaan suoritettavien mittausten vaatimukset esitetään standardissa EN 1992-1-1:2004, kohdassa 4.4.1.2. (Suomen Standardoimisliitto, 2012, s. 13)

Elementtien mittaaminen

Standardi SFS-EN 1168 +A3 määrittelee elementtien mittauspisteet ja niiden määrät. Taulukossa 13 on esitetty standardin määrytykset mittauksille. *(Huomautus: Taulukko 13 on muodostettu SFS-EN 1168 +A3 sivulla 23 esitettyjen tietojen perusteella).*

TAULUKKO 13. Elementtien mittaaminen

Mitattava suure	Mittausten määritys
Laatan paksuuden h mittaaminen	<p>Mittaukset tehdään laatan toisesta päästä niin, että kolme mittausta onteloaukon kohdalta ja kolme mittausta uumien keskilinjan kohdalta. Kaksi näistä mittauksista tulee tehdä elementin keskikohdan läheltä ja kaksi elementin kummankin reunan läheltä. Näistä kuudesta mitaustuloksista lasketaan keskiarvo, jota verrataan standardin SFS-EN 1168 +A3 kohdan 4.3.1.1.1 kohdassa a annettuihin arvoihin.</p> <p>Mikäli elementin leveys on enintään 0,6 m, voidaan tehtävien mittausten määrä vähentää kolmeen mittaukseen.</p>
Uuman paksuuden b_w mittaaminen	<p>Uuman paksuudet mitataan laatan toisesta päästä. Jokainen uuma mitataan ja saadut mitat lasketaan yhteen. Jokaisen yksittäisen uuman paksuutta b_w ja kaikkien uumien yhteenlaskettua paksuutta S_{b_w} verrataan standardin SFS-EN 1168 +A3 kohdan 4.3.1.1.1 kohdassa b annettuihin arvoihin.</p>
Kannaksen paksuuden h_f mittaaminen	<p>Mittaukset tehdään laatan toisesta päästä niin, että kolme mittausta suoritetaan alakannaksesta ja kolme mittausta yläkannaksesta. Kaksi näistä mittauksista tulee tehdä elementin keskikohdan läheltä ja kaksi elementin kummankin reunan läheltä. Lasketaan sekä yläkannasten että alakannasten mittauservojen keskiarvot. Näitä kahta laskettua keskiarvoa sekä jokaisen yksittäisen kannaksen arvoa verrataan standardin SFS-EN 1168 +A3 kohdan 4.3.1.1.1 kohdassa c annettuihin arvoihin.</p>

	Mikäli elementin leveys on enintään 0,6 m, voidaan tehtävien mittausten määrä vähentää kolmeen mittaukseen.
Laatan pituuden /mittaaminen	Laatan pituus mitataan elementin molemmista reunoista ja saatuja arvoja verrataan standardin SFS-EN 1168 +A3 kohdan 4.3.1.1.2 kohdassa a annettuihin arvoihin.
Laatan leveyden <i>b</i> mittaaminen	Laatan leveys mitataan elementin toisessa päässä laatan poikkileikkauksen suurimmasta kohdasta. Mitattua arvoa verrataan standardin SFS-EN 1168 +A3 kohdan 4.3.1.1.2 kohdassa b annettuun arvoon.
Jännepunosten ja raudoitustankojen sijainnin mittaaminen vetopuolella	Jokaisen yksittäisen punoksen, langan tai tangon etäisyys mitataan pystysuunnassa laatan pohjasta tai elementin muotista. Jokaisen edellä mitatun mittauksen yksittäistä painopistearvoa ja keskiarvoa verrataan standardin SFS-EN 1168 +A3 kohdissa 4.3.1.2.2 ja 4.3.1.2.3 annettuihin arvoihin.
Betonipeitteen <i>c</i> mittaaminen	Mittaukset tehdään laatan toisesta päästä. Betonipeitteen paksuus mitataan laatan pohjan betonipinnasta ja lähimmästä onteloaukon reunasta punokseen, lankaan tai tankoon. Jokaista mitattua arvoa verrataan standardin SFS-EN 1168 +A3 kohdassa 4.3.1.1.3 annettuun arvoon.

Tarkastuskaaviot

Standardi edellyttää sekä valmistuslaitteiden että valmistusprosessin tarkastuksen taulukoiden 14, 15 ja 16 mukaisesti. Lisäksi tarkastuksissa noudatetaan standardin EN 13369:2004 liitteessä D kyseeseen tulevia kohteita (taulukko 17). (Suomen Standardoimisliitto, 2012, s. 26)

TAULUKKO 14. Valmistuksessa käytettävien laitteiden tarkastus (Suomen Standardoimisliitto, 2012, s. 26)

	Kohde	Tarkastusmenetelmä	Tarkoitus	Tiheys
Varastointi- ja tuotantolaitteet				
9	Valukone/valulaitteet	Valmistajan tarkastusohjeet	Betonin oikea tiivistyminen Ontelon oikea geometria	Valmistajan tarkastusohjeet

TAULUKKO 15. Lopputuotteen tarkastus (Suomen Standardoimisliitto, 2012, s. 27)

	Kohde	Tarkastusmenetelmä	Tarkoitus ^a	Tiheys ^a
Tuotteen testaus				
[A2> poistettu teksti <A2]				
2	Punosten alkuluisto	Luiston mittaaminen sahaamattomista elementeistä	Standardin EN 13369:2004 kohdan 4.2.3.2.4 mukaisen suurimman arvon mukaisuus	Kolmelle punokselle jokaiselta valualustalta jokaisena tuotantopäivänä
		Sahattujen elementtien silmämääräinen tarkastus ja mittaus	Standardin EN 13369:2004 kohdan mukaisen 4.2.3.2.4 suurimman arvon mukaisuus	Kaikkien elementtien silmämääräinen tarkastus, ja ellei ole aihetta epäilyyn, kolmen punoksen mittaus jokaisena tuotantopäivänä. Jos on aihetta epäilyyn, kaikkien kyseisten punosten mittaus
6	Poikkileikkaus ja pituus	Kohdan 5.2 mukainen mittaus	Mitat	Yksi elementti jokaisesta betonin poikkileikkauksesta, mukaan lukien vähintään yksi elementti jokaiselta koneelta joka toinen tuotantoviikko
7	Elementtien päät	Silmämääräinen tarkastus	Halkaisuvoimasta johtuvat halkeamat	Jokainen sahattu pää
		Mittaus päistä kohdan 5.2.1.1.g mukaisesti	Betonipeite	Kuten poikkileikkaus
8	Karheen tai vaarnatun yläpinnan laatu, jos käytetään paikalla valettua pintabetonia	Silmämääräinen tarkastus	Karheus leikkauskestävyydelle	Kuten poikkileikkaus
9	Vedenpoistoreiät, jos ne on määrittely	Silmämääräinen tarkastus	Tarkka poraus	Päivittäin
10	Betonin lujuus	Tuotteesta standardien EN 12504-1 ja EN 12390-3 mukaisesti otetuista poratuista koekappaleista, jotka on arvioitu [A1> standardin EN 13791 <A1] mukaisesti, tai standardine EN 12390-2 ja EN 12390-3 mukaisista kuutioista tai lieniöistä tai tuotteesta standardien EN 12390-6 ja EN 12504-1 mukaisista poratuista koekappaleista	Puristuslujuus tai halkaisuvetolujuus ^b	Tuotantoa aloitettaessa tai otettaessa tuotantoon uusi elementtityyppi: kolme täyden mittakaavan testiä kohden Tuotantoa aloitettaessa tai otettaessa tuotantoon uusi elementtityyppi: kolme täyden mittakaavan testiä kohden
^a Esitettyjä testejä ja tiheyksiä voidaan soveltaa, tai testi voidaan jopa jättää suorittamatta, jos vastaavat tiedot saadaan tuotteesta tai prosessista. [A2> poistettu teksti <A2] ^b Vainmistaja voi valita yhden mainituista menetelmistä tuotantoprosessin mukaisesti.				

TAULUKKO 16. Valmistusprosessin tarkastus (Suomen Standardoimisliitto, 2012, s. 26)

	Kohde	Tarkastusmenetelmä	Tarkoitus ^a	Tiheys ^a
Betoni ja muut prosessin kohteet				
19	Betonin sekoitus	Silmämääräinen tarkastus (ks. standardin A1> EN 206-1:2000 <A1 taulukko 18)	Notkeus	Jokaisesta erästä
20	Betonin puristuslujuus	Valettujen betonikoekappaleiden lujuustesti, kypsyysmittaus, kimmovasaramittaus tai äänen nopeuden mittaus sen jälkeen, kun on suoritettu kalibrointi laboratoriotestausten kanssa (ks. standardin EN 13369:2004 kohta 6.3.8)	Jätteen laukaisulujuus	Yhdelle koekappaleelle joka päivä jokaiselta valualustalta
21	Nopeutettu kovettuminen	Kysymykseen tulevien olosuhteiden todentaminen Lämpötilojen mittaus	Vastaavuus määritellyn toimintatavan suhteen	Viikoittain Prosessista riippuen
22	Poikkileikkaus	Poikkeamien ja epätäydellisyyksien silmämääräinen tarkastus	Tarkkuus	Jokaiselta valualustalta
^a Esitettyjä testejä ja tiheyksiä voidaan soveltaa, tai testit voidaan jopa jättää suorittamatta, jos vastaavat tiedot saadaan tuotteesta tai prosessista.				

7.3 SFS 7016

”Esijännitetyiltä ontelolaatoilta eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot”-standardi SFS 7016 vahvistettiin 24.11.2008 ja se on laadittu täydentämään standardin SFS-EN 1168 + A1 vaatimuksia. Standardi SFS 7016 antaa suosituksia E-merkittyjen esijännitettyjen ontelolaattojen ominaisuuksista ja niiden ilmoittamisesta erilaisissa käyttökohteissa. (Suomen Standardoimisliitto SFS, 2008)

TAULUKKO 17. Eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja niiden vaatimustasot (Suomen Standardoimisliitto SFS, 2008)

Olennaiset ominaisuudet		Vaatimuksia koskevat kohdat standardissa SFS-EN 1168 + A1	Vaaditaanko Suomessa	Vaatimustaso Suomessa
Betonin puristuslujuus	Kaikki menettelyt	4.2 Valmistusta koskevat vaatimukset	Kyllä	Rakennelujuus ¹⁾
Teräksen vetomurtolujuus ja myötölujuus	Kaikki menettelyt	Standardin EN 13369:2004 kohta 4.1.4 Jänneteräs	Kyllä	Ilmoitetaan
Kantokyky (Mekaaninen lujuus)	Menettely 1	Kohdassa ZA.3.2 esitetyt tiedot	Kyllä	Tämän standardin luku 5
	Menettely 2	4.3.3 Kantokyky		
	Menettely 3	Suunnitteluasiakirjat		
Palonkestävyys (kantavuuden)	Menettely 1	Kohdassa ZA.3.2 esitetyt tiedot	Suomen rakentamismääräysten mukaan	Tämän standardin luku 6
	Menettely 2	4.3.4 Palonkestävyys		
	Menettely 3	Suunnitteluasiakirjat		
Ilmaääneneristävyyys ja askelääneneristävyyys	Kaikki menettelyt	4.3.5 Ääneneristysominaisuudet	Kohteen mukaan	
Detalji-suunnittelu	Kaikki menettelyt	4.3.1 Geometriset ominaisuudet 8 Tekninen dokumentaatio	Kyllä	
Säilyvyys	Kaikki menettelyt	4.3.7 Säilyvyys	Rasitusluokan mukaan	SFS-EN 206-1, SFS-EN 1992-1-1 ja niiden kansalliset liitteet
¹⁾ Porattujen liertöiden, joiden halkaisija on 50...80 mm ja korkeus likimain sama kuin halkaisija lujuustulokset muutetaan 150 mm kuutiolujuuksiksi kertoimella 1,1 betonin kelpoisuuden toteamisessa ja kertoimella 1,0 SFS-EN 1168 + A1 liitteen J mukaisen täyden mittakaavan testin tulosten arvioimisessa.				

Taulukossa 17 esitetyt menettelyt tarkoittavat seuraavaa:

- Menettelyssä 1 tulee ilmoittaa materiaalin ominaisuudet ja mitat.
- Menettelyssä 2 tulee ilmoittaa ominaisuuksien arvot tuotteesta.
- Menettelyssä 3 tulee ilmoittaa tuotteen olevan suunnitteluasiakirjojen mukaisesti valmistettu. Tarkennuksena annetaan merkinnät 3a tai 3b, joista ensimmäinen tarkoittaa tilaajan tekemää suunnitelmaa ja jälkimmäinen valmistajan suunnitelmaa. (Suomen Standardoimisliitto SFS, 2008)

Standardi SFS 7016 täydentää standardin SFS-EN 1168 +A1 opastavaa liitettä G, jossa esitetään ontelolaattojen palonkestävyysvaatimuksia (taulukko 18). Liitteen G palonkestoluokkataulukko G.1 korvataan standardissa SFS 7016 esitetyllä taulukolla. (Suomen Standardoimisliitto SFS, 2008)

TAULUKKO 18. Palonkestoluokat ja niihin liittyvät mitoitukset (Suomen Standardoimisliitto SFS, 2008)

Vähimmäisarvot	Vaadittu palonkestoluokka REI				
	REI 30	REI 60	REI 90	REI 120	REI 180
Jännepunosten keskiöetäisyys (<i>a</i>)	25	35	45	55	70
Laatan paksuus (<i>h</i>)	150	200 ¹⁾	250 ²⁾	265 ²⁾	300 ²⁾
Lisäehdot:					
1) Sallitaan $h = 160$ mm, jos $\sigma_{p,fi} \leq 0,5 f_{pk}$ eli palomitoituksen teräsännitys rajoitetaan puoleen jänneteräksen ominaisvetolujuudesta					
2) $\mu_{fi} = V_{d,fi} / V_{Rd,c} \leq 0,5$, missä μ_{fi} on palomitoituksen hyväksikäyttöaste leikkaukselle, eli palomitoituksen kuormilla lasketun leikkausvoiman suhde leikkauskapasiteetin mitoitusarvoon					

Mikäli punoksia on useammassa kerroksessa, lasketaan punosetäisyydet keskimääräisen keskiöetäisyyden mukaan. Punosetäisyyksistä ja kriittisten lämpötilojen vaikutuksista niihin on esitetty tarkentavaa tietoa standardissa SFS-EN 1992-1-2:2004. (Suomen Standardoimisliitto SFS, 2008)

8 TYÖN ETENEMINEN

Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää soveltuva laadunvalvontamenetelmä ontelolaattatuotantoon ja tätä menetelmää apuna käyttäen tutkia, voidaanko menetelmän avulla ennakoita mahdolliset laatuongelmat riittävän ajoissa, jotta korjaavat toimenpiteet ehditään toteuttaa. Lisäksi haluttiin nähdä, onko kahden käytössä olevan valupöydän välillä eroja, jotka vaikuttavat tuotteen onnistumiseen. Tätä tietoa voitaisiin hyödyntää tuotannon suunnittelussa siirtämällä tuotteiden valmistus siihen pöytään jossa sen on todettu parhaiten onnistuvan.

8.1 Menetelmän valinta

Valvontaa varten tietojen keräys päätettiin tehdä jo olemassa olevalla mittapöytäkirjapohjalla (Liite 1), joka olikin valmiiksi Excel-muodossa. Taulukkoon päätettiin lisätä arvojen tarkastusominaisuus ja tarvittavat laskennat valmiiksi. Tällöin opinnäytetyöstä jäisi hyötynä toimiva sähköinen lomakepohja vaikka tilastollinen seuranta osoittautuisikin loppuarvioinnissa hyödyttömäksi. Sähköiseen lomakkeeseen haluttiin myös tietojen tulostus- ja arkistointiominaisuus.

Soveltuvan laadunvalvontamenetelmän valitsemiseksi aloitettiin tutustuminen laatutekniikan kirjallisuuteen. Teoriatietoa haettiin sekä laadunvarmistuksen tilastollisista menetelmistä että tuotannon hävikin vähentämiseen tähtäävistä menetelmistä. Lähdekirjallisuuteen tutustuttiin huomattavasti laajemminkin, kuin mitä tämän opinnäytetyön teoriaosuudessa on esitelty. Laatutekniikan oppeihin syventyminen jo opinnäytetyön alkuvaiheessa osoittautui hyväksi ratkaisuksi, koska kirjoista sai paljon ohjeita oikeiden menetelmien ja ennen kaikkea mitattavien kohteiden valintaan.

Työn alkuvaiheessa päätettiin turvautua suunnittelutoimiston apuun, jotta osattaisiin valita oikeat analysoinnin kohteet. Insinööritoimisto Kari Kolari Oy tekee valmistettaville ontelolaatoille punostussuunnitelmat, joten sovittiin tapaaminen niiden suunnittelijan kanssa. Alkuperäinen ajatus seurantaan otettavista kohteista oli punosten sijainti laatassa ja punosten liukumat. Suunnittelijan kanssa käydyissä keskusteluissa selvisi kuitenkin, etteivät nämä mittaukset olleet hyviä seurantakohteita siihen nähden, mitä seurannasta haluttiin saada hyötyä. Selvisi, että punosten sijainnin poikkeama laatassa johtuu lähes poikkeuksetta punoksen putoamisesta ohjaimen päältä. Tällainen tapahtuma on satunnainen, eikä näin ollen ole ennustettavissa tilastotietoja seuraamalla. Myös liukuman esiintyminen laatassa on vastaavanlainen satunnaisesta syystä johtuva ilmiö, joten senkään mittaustiedon seuraaminen ei ole järkevää.

Käytyjen keskustelujen perusteella päädyttiin seuraamaan laatan kriittisiä mittoja, kuten laatan korkeus, uumien paksuudet, ylä- ja alakannen paksuudet. Nämä kaikki ovat sellaisia mittoja, joiden kehittyminen voisi olla ennustettavissa mittaushistoriaa seuraamalla. Kaikki muutkin mitattavat arvot otetaan seurantaan niin että toleranssin ylittävä arvo antaa hälytyksen, mutta seurantakäyrää näistä ei tehdä.

Seurantamenetelmäksi valittiin \bar{xR} -kortti ja histogrammi. \bar{xR} -kortilla voidaan seurata valittujen kohteiden mittaustietoja ja saadaan niiden muutosta kuvaava käyrä hälytysrajoineen. Histogrammilla voidaan suodattaa pöytien välisiä eroavaisuuksia esiin. Sähköisen lomakkeen rakenne alkoi jo hahmottua näiden valintojen perusteella.

8.2 Sähköisen mittapöytäkirjan laadinta

Sähköisen mittapöytäkirjan tekeminen aloitettiin tilaamalla Insinööritoimisto SRT Oy:ltä uusimmat Excel-muotoiset lomakepohjat. Samalla insinööritoimistolta saatiin pöydän alkupään liukumien mittataulukko. Tästä taulukosta nähdään kuinka pitkä jätepalavaletun ontelolaa-
tan päähän pitää jättää punoksesta mitatun liukuman perusteella. Kyseinen arvo muuttuu käytettävän punoksen ja jännitysvoiman mukaan. Mittataulukko päätettiin liittää osaksi tehtävää sähköistä lomaketta niin että lomakkeelle haetaan taulukosta automaattisesti liukuma vastaava jätepalan mitta.

Sähköisen lomakkeen suunnittelun alkuvaiheessa havaittiin jo ongelma: lomakepohjan sisältö muuttuu hieman eri laattatyypeillä. Tähän ei ollut varauduttu, sillä oletuksena oli ollut, että ainoastaan mittausarvot ja niiden toleranssit olisivat ainoat muuttujat lomakkeella. Myös uuman paksuuksien ilmoituskentissä havaittiin ongelma. Eri laattatyypeillä on eri määrä uumia, joten reunauumien mitat osuvat eri laattatyypeillä lomakkeen eri kenttiin. Reunauumille ilmoitettujen mittojen oikeellisuuden tarkastus on hankalaa, koska reunauumien mitat poikkeavat keskiuumista.

Kun kaikki tarvittavat muuttujat oli saatu selvitettyä, laadittiin lomake Excel-ohjelmalla. Edellä kuvattujen ongelmien vuoksi sähköisen lomakkeen taulukoiden tekemiseen kului aikaa paljon suunniteltua kauemmin. Noin kahden viikon työn tuloksena oli toimiva lomakepohja. Lomakepohjan kenttien tiedot vaihtuvat nyt automaattisesti mitattavan laattatyypin mukaan. Lomakkeelle vaihtuu myös automaattisesti kyseisen laattatyypin mitat ja toleranssit, joiden toteutumista lomake seuraa hälyttäen punaisella tekstillä jos kentän arvo ei ole toleranssin sisällä. Lomakkeeseen tehtiin myös painonapit makroilla, joilla lomakkeen tiedot saadaan tulostettua ja samalla tallennettua arkistoon. Lisäksi lomakkeen pikatyhjennystä

varten tehtiin oma painike. Tulostuspainike tallentaa lomakkeelle syötetyt tiedot tähän samaan Excel taulukkoon omalle välilehdelle, joten mittaushistoria säilyy paperille tulostetun lomakkeen lisäksi myös sähköisessä muodossa. Sähköisen mittapöytäkirjan lomakemalli on liitteenä 1.

8.3 Analysointiosion laadinta

Seuraavana oli vuorossa analysointi osion luominen sähköisen lomakkeen tiedoista. Tämän toteuttaminen aloitettiin tekemällä taulukkoon analysointi välilehti, jossa vetovalikoiden avulla voidaan valita haluttavat kriteerit analysoinnille. Ensimmäisessä vetovalikossa valitaan analysoitavaksi otettava valupöytä, seurataanko molempia pöytiä vai vain pöytää yksi tai kaksi. Seuraavana valitaan laattatyypit. Valetun pöydän laatoista otetaan mitat ensimmäisestä, kolmannesta ja viimeisestä laatasta, joten seuraavassa valikossa voidaan valita tutkitaanko näitä kaikkia laattoja vai vain jotain näistä. Viimeisessä valinnassa valitaan mitta-arvot mitä halutaan analysoida. Vaihtoehtona tässä valikossa on uuman paksuudet, yläkannen paksuus ja alakannen paksuus. Laatan korkeuksista mittauskäyrät tulostuvat aina automaattisesti, mutta niistä ei muodosteta \bar{xR} -korttia, kuten muista mitoista tehdään. Haluttujen analysointitietojen esiin suodattamiseksi taulukkoon piti tehdä useita suodatus välilehtiä, mutta lopulta kaikki halutut tiedot onnistuttiin suodattamaan esiin ja \bar{xR} -kortti muodostettua. Kortille tehtiin vielä tulostus painike ja painike takaisin analysointi sivulle paluuta varten. Ohjelmasta saatavasta \bar{xR} -kortista on malli liitteenä 2.

Pöytien eroavaisuuksien tutkimista varten tehtiin taulukkoon vielä histogrammi välilehti, johon tulostuu analysointi välilehdellä tehtyjen valintojen perusteella histogrammit. Histogrammeja tulostuu kolme. Ensimmäisessä on kuvattu molempien valupöytien tilanne ja sen jälkeen molempien valupöytien histogrammit erikseen, jotta nähdään pöytien vaikutus kokonaistulokseen. Myös histogrammit saa tulostettua paperille "Tulosta"-painikkeella. Histogrammien tulosteesta on malli liitteenä 3.

Analysointi osuuden tekeminen taulukkoon vei aikaa noin neljä päivää ja tämän lisäksi taulukkoa testattiin muutaman päivän ajan syöttämällä sinne tietoja. Testauksen aikana kentiin syötettiin sekä oikeaa tietoa että myös virheellisiä tietoja, jotta nähtäisiin huomaako taulukko väärät tiedot kentissä. Jäljellä oli enää taulukoiden ulkoasun siistiminen ja käyttäjälle tarpeettomien kenttien piilottaminen.

8.4 Analysoitavien tietojen syöttäminen

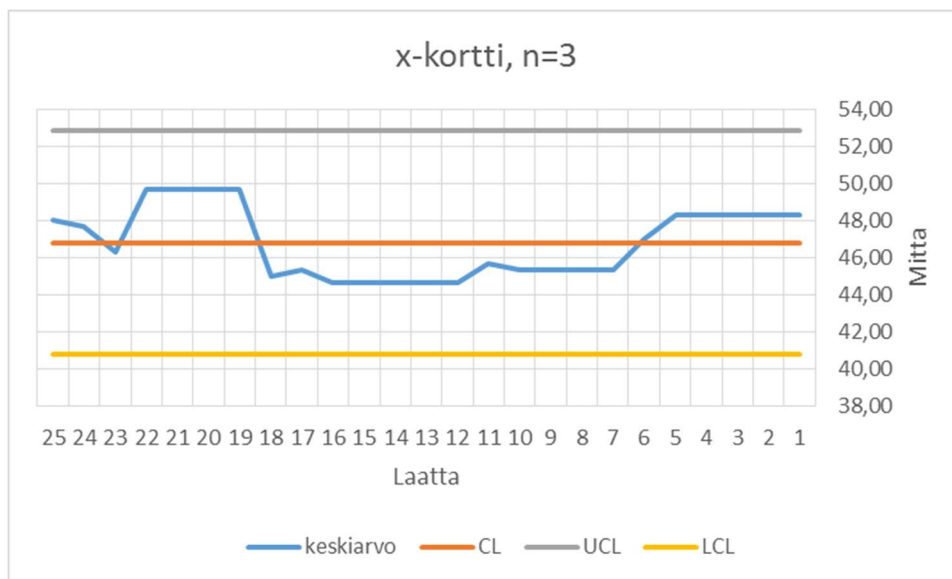
Kun sähköinen lomake oli saatu valmiiksi ja testattu aloitettiin tietojen syöttäminen taulukoon. Mittaustietoa oli paperisilla lomakkeilla arkistoituna loputon määrä. Päädyimme rajamaan syötettävän tiedon määrän sellaiseksi, että kaikilta laattatyypeiltä syötetään 26 viimeisimmän valupöydän tiedot. Tällöin jokaisesta pöydästä tulisi 78 sivua tietoa, koska yhdestä valupöydästä mitataan kolmen sahatun laatan tiedot. Yksi lomake sisältää kaikkiaan 109 kenttää, joten syötettävän tiedon määrä on valtava. Neljästä laattatyypistä, kaikista 78 lomaketta, jossa jokaisessa 109 kenttää tarkoittaa yli 34000 tietokenttää.

9 MITTAUSTIETOJEN ANALYSOINTI

Tässä vaiheessa päädyimme rajaamaan syötettävät tietokentät vain niihin tietoihin, josta taulukko tekee analyysin eli punosten mittatiedot jätetään syöttämättä tässä vaiheessa. Tällöinkin tietokenttiä tuli täytettäväksi lähes 9400, koska tietojen karsinnasta huolimatta haluttiin syöttää riittävä määrä tietoa, jotta mittausdata olisi myöhemmin jäljitettävissä. Nämä tiedot saatiin syötettyä taulukkoon vajaassa kolmessa päivässä.

Kaikki muuttujat huomioon ottaen saadaan jokaisesta laattatypistä 36 erilaista $\bar{x}R$ -korttia ja näiden lisäksi vielä 12 histogrammisivua. Näin laskien yhdestä laattatypistä saadaan 48 tulostettavaa analyysiä, joten neljästä laattatypistä tulostettavaa kertyisi 192 sivua. Tämän vuoksi päätettiin tulostaa tässä vaiheessa vain kiinnostavimmat raportit.

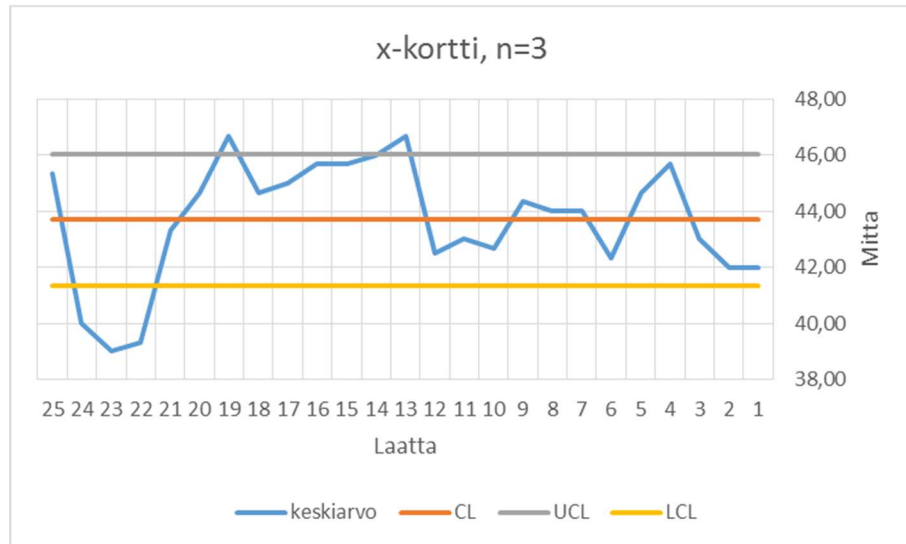
Ensin tutkittiin $\bar{x}R$ -korttien antamat tiedot. Korttilta haluttiin tutkia käyrien muotoja, joista voidaan päätellä miten hyvin prosessi on hallinnassa. Lisäksi haluttiin selvittää löytyykö käyristä sellaisia selkeitä suuntatrendejä, joiden perusteella voitaisiin ennakoida mahdolliset laatuvirheet etukäteen ja puuttua niihin korjaavilla toimenpiteillä jo ennen kuin vahinkoa on ehtinyt tapahtua.



KUVIO 3. Laatan L5 yläkannaksen paksuutta kuvaava \bar{x} -kortti. Prosessi on hyvin hallinnassa. (Aaltokoski, 2016)

Laatan L5 yläkannasta tutkittaessa havaittiin prosessin olevan hyvin hallinnassa (kuvio 3), voimakkaita vaihteluita mittaustuloksissa ei juuri ollut ja mittausravot asettuivat hyvin keskilinjan tuntumaan. Seurantajakson aikana mittausravot eivät käy lähelläkään hälytysrajoja. Vastaava tutkimus laatasta M4 antaa taas täysin vastakkaisen tuloksen. Mittausravot vaihtelevat voimakkaasti ja jopa ylittävät molemmat hälytysrajat (kuvio 4). Prosessin hallinnan

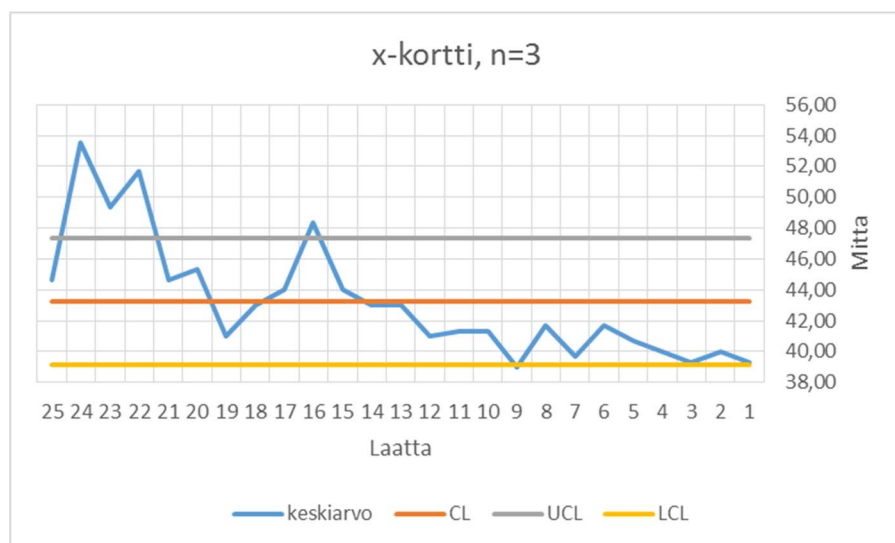
kanssa on selvästi ollut ongelmia, joiden syyt olisi tärkeää selvittää. Mikäli vaihteluiden syyt eivät ole jälkikäteen selvitettävissä tulisi tulevaisuudessa seurata trendikäyrän suunnan kehittymistä samalla kun korjaavia toimenpiteitä kokeillaan, jotta nähtäisiin milloin vaikutus on toivotunlainen.



KUVIO 4. Laatan M4 yläkannaksen mittaustiedot vaihtelevat voimakkaasti, prosessi ei ole hallinnassa (Aaltokoski, 2016)

9.1 Poikkeamatilanteiden ennustettavuus

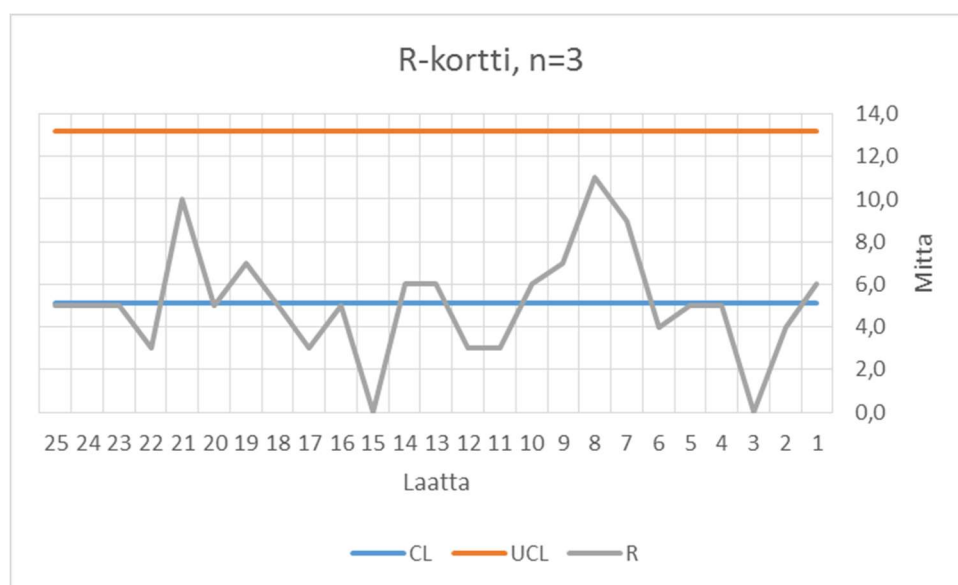
Kortteja tutkittaessa havaittiin useita tapauksia, jotka olisivat olleet ennustettavissa trendikäyrää seuraamalla valujen välissä. Esimerkkitapauksessa (kuviot 5) laatan M4 alakannaksen paksuus laskee melko tasaisesti. Laskeva suuntaus on alkanut jo 16 laattaa sitten ja alahälytysrajallakin on käyty jo muutaman kerran. Käyrästä voisi päätellä, että aikaisemmin



KUVIO 5. Laatan M4 alakannaksen oheneminen on tapahtunut pikkuhiljaa edeten. Alahälytysrajalle tulo olisi ollut ennustettavissa. (Aaltokoski, 2016)

olleita ylipaksuuksia on pyritty korjaamaan jollain toimenpiteellä, jotka ovat olleet liian voimakkaita ja on ajauduttu alahälytysrajalle. Tehdyt korjaavat toimenpiteet tulisi kirjata, jotta niiden vaikutus voidaan myöhemmin yhdistää tehdyn toimenpiteen kanssa. Samankaltaisen tilanteen toistuessa voitaisiin heti ottaa oikeat korjaustoimenpiteet käyttöön.

Kaikki ongelmat eivät kuitenkaan ole ennustettavissa laatukortteja seuraamalla. Tällaisia tilanteita muodostuu varsinkin silloin kun prosessi ei ole hallinnassa, kuten kuviossa 4 ja kuvion 6 keskihajontaa kuvaavassa tilanteessa. Molemmissa tapauksissa vaihtelu on jatkuvaa eikä selkeää kehityssuuntaa ole havaittavissa, joten tulevan suunnan ennustaminen on mahdotonta.

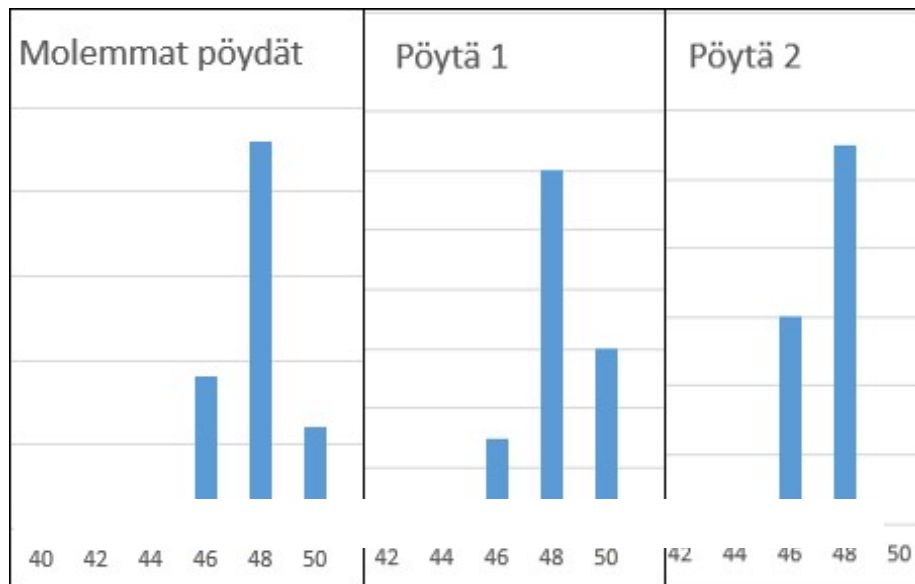


KUVIO 6. Keskihajontaa kuvaava R-kortti. Mittausarvojen välillä on esiintynyt hetkittäin voimakasta vaihtelua (Aaltokoski, 2016)

9.2 Pöytien välisten erojen selvittäminen

Valupöytien välisiä eroja haluttiin tutkia histogrammien avulla, jotta tuotannon suunnittelussa voitaisiin huomioida mahdolliset eroavaisuudet ja ohjata tuotteen valmistus siihen valupöytään jossa se onnistuisi paremmin. Histogrammien avulla tutkittuna eroavaisuuksia pöytien välillä ei havaittu (kuvio 7).

Pöytien välisiä eroavaisuuksia haluttiin tutkia vielä taulukoista saatujen tietojen perusteella lisää, joten sähköisen lomakkeen suodatusta käyttäen oli helppo hakea taulukkoon mitaustiedot alakannaksen vahvuuksista.



KUVIO 7. Histogrammeja alakannasten paksuuksista (Aaltokoski, 2016)

Taulukkotiedot (taulukko 19) paljastavat saman mikä histogrammistakin oli luettavissa. Pöytien välillä ei näyttäisi olevan merkittävää eroa. Keskimääräiset alakannasten mitat ovat hyvin lähellä toisiaan molemmissa pöydissä.

TAULUKKO 19. Alakannasten mittaustietojen vertailu pöytien välillä (Harri Aaltokoski)

Alakannaksen korkeus		Molemmat	Pöytä 1	Pöytä 2
Laatta L6	Keskiarvo	28,3 mm	28,3 mm	28,6 mm
	Min	22,0 mm	22,0 mm	25,0 mm
	Max	34,0 mm	33,0 mm	34,0 mm
	Hajonta	12,0 mm	11,0 mm	9,0 mm
Laatta L5	Keskiarvo	48,7 mm	49,1 mm	47,9 mm
	Min	44,0 mm	44,0 mm	44,0 mm
	Max	61,0 mm	61,0 mm	53,0 mm
	Hajonta	17,0 mm	17,0 mm	9,0 mm
Laatta L4	Keskiarvo	43,9 mm	43,1 mm	45,5 mm
	Min	39,0 mm	39,0 mm	40,0 mm
	Max	50,0 mm	47,0 mm	50,0 mm
	Hajonta	11,0 mm	8,0 mm	10,0 mm
Laatta M4	Keskiarvo	43,2 mm	42,7 mm	43,6 mm
	Min	36,0 mm	38,0 mm	36,0 mm
	Max	53,0 mm	47,0 mm	53,0 mm
	Hajonta	17,0 mm	9,0 mm	17,0 mm

10 OPINNÄYTETYÖN ARVIOINTI

Työn valmistuttua arvioitiin kuinka hyvin alussa asetetut tavoitteet saavutettiin. Lisäksi arvioitiin työstä saadut hyödyt.

10.1 Sähköisen lomakkeen onnistuminen

Opinnäytetyön ansiosta saatiin ontelolaattatuotantoon sähköinen mittapöytäkirja, joka täyttää sille työn alussa asetetut vaatimukset. Taulukko hälyttää toleranssin ylittävistä mitoista, lomakkeen tiedot tallentuvat sähköisessä muodossa taulukon "Arkisto"-välilehdelle ja lomakkeen saa myös tulostettua. Lisäksi lomakkeen keräämistä tiedoista voidaan halutuilla suodatus ehdoilla muodostaa $\bar{x}R$ - kortteja ja histogrammeja.

Analysointiosio osoitti myös toimivuutensa. $\bar{x}R$ -kortin antamat tiedot mahdollistavat joidenkin poikkeamatilanteiden ennustamisen. Tämä edellyttää tilaston aktiivista seuraamista, jotta mittausarvojen trendimuutokset havaitaan riittävän ajoissa. Toisaalta joissakin tapauksissa oli havaittavissa prosessissa voimakasta sattumanvaraista vaihtelua, joka kertoo prosessin hallinnan ongelmista. Näihin syihin olisi syytä paneutua, jotta vaihtelun syyt saataisiin selvitettyä ja prosessi paremmin hallintaan. Ontelolaatan mittojen vaihteluun vaikuttavat useat eri tekijät, kuten valukoneen säädöt, osien kuluneisuus, ajonopeus sekä betonin massan useat eri muuttujat. Näitä vaihtoehtoja muuttelemalla ja samalla mittausarvoja seuraamalla voidaan ratkaista ongelmien syyt.

Pöytien välisten erojen tutkinta antoi jo alussa ennakoitun tuloksen, eli valupöydällä ei näyttäisi olevan vaikutusta tuotteen onnistumiseen. Tuotannon suunnittelun apuvälineeksi tästä tehdystä ohjelmasta ei ollut, mutta pöytien samanlaisuudesta saatiin varmuus.

10.2 Taloudelliset hyödyt

Nyt kun ontelolaattojen mittaustiedot ovat sähköisessä muodossa, voidaan niitä tutkia monenlaisia käyttötarkoituksia varten helposti. Tietoja tutkittaessa huomio kiinnittyi sekä ylä- että alakannasten vahvuuksiin. Havaittiin, että mittausarvot ovat olleet jatkuvasti toleranssin ylärajalla tai jopa ylittäneet ne. Tämän vuoksi ryhdyttiin laskemaan, kuinka paljon ylimääräistä betonia kuluu näiden ylimittaisten tuotteiden tekemiseen.

Taulukosta 20 näkee jokaisen laattatyypin ylä- ja alakannesta mitattujen vahvuuksien keskiarvot. Kun verrataan mitattua keskiarvoa laatalle annettuun nimellismittaan, voidaan las-

kea, kuinka paksusti laatussa on ylimääräistä betonia, jota asiakas ei maksa. Ilmoitettu nimellismitta ei ole kriittinen, vaan siihen sallitaan vielä pieni toleranssi alaspäin, joten hyvin hallinnassa olevalla menetelmällä voitaisiin kone säätää lähelle nimellismittaa, kun nyt tehdään varmuuden vuoksi ylimittaista tuotetta koko ajan.

TAULUKKO 20. Ylimääräisen betonin määrä ylä- ja alakannasten vahvuuksissa (Harri Aaltokoski)

Yläkannen vahvuuden ylimitta			Ylimittaa		Pöydän leveys	Pöydän pituus	m^3 tehty yli	
Ka	Min sall	Nimellism	Minimiin	Nimellism				
L6	29,1 mm	21,0 mm	22,5 mm	8,1 mm	6,6 mm	1,2 m	93,0 m	0,737
L5	46,4 mm	35,0 mm	40,0 mm	11,4 mm	6,4 mm	1,2 m	93,0 m	0,714
L4	46,4 mm	35,0 mm	40,0 mm	11,4 mm	6,4 mm	1,2 m	93,0 m	0,714
M4	43,7 mm	33,0 mm	38,0 mm	10,7 mm	5,7 mm	1,2 m	93,0 m	0,636
							Keskim.	0,700

Alakannen vahvuuden ylimitta			Ylimittaa		Pöydän leveys	Pöydän pituus	m^3 tehty yli	
Ka	Min sall	Nimellism	Minimiin	Nimellism				
L6	28,3 mm	21,0 mm	22,5 mm	7,3 mm	5,8 mm	1,2 m	93,0 m	0,647
L5	48,7 mm	35,0 mm	40,0 mm	13,7 mm	8,7 mm	1,2 m	93,0 m	0,971
L4	43,9 mm	35,0 mm	40,0 mm	8,9 mm	3,9 mm	1,2 m	93,0 m	0,435
M4	43,2 mm	33,0 mm	38,0 mm	10,2 mm	5,2 mm	1,2 m	93,0 m	0,580
							Keskim.	0,658

Taulukossa 21 on esitetty karkea vuosikustannuslaskenta ylimääräisestä betonista. Hintana taulukossa on käytetty karkeasti arvioitua betonikuution omakustannushintaa, joka sisältää raaka-aineet ja valmistustyön. Valmistettavien valupöytien määräksi on arvioitu viikoittainen valmistusmäärä. Ylimääräisen betonin määrä valupöytää kohden on otettu taulukosta 20, johon on laskettu Ka-sarakkeeseen jokaisen laattatyyppin keskimääräinen kannen vahvuus. Tämä keskiarvo on laskettu jokaisen laattatyyppin 25 viimeksi mitatun laatan tiedoista.

TAULUKKO 21. Ylimääräisen betonin hinnan laskenta (Harri Aaltokoski)

	Ylim. / pöytä	Pöytiä / viikko	Viikkoja	Ylim. Betonia vuodessa	Ulosm. Hinta
Ylim. Keskim. Ylä	0,700				80 €/m3
Ylim. Keskim. Ala	0,658				
Ylimääräistä yht.	1,359	8	47	510,9 m3	40 871 €

Asiakkaalle menee vuodessa ylimääräistä betonia yli 40000 euron edestä. Laskelma on kuitenkin karkea ja ainoastaan suuntaa antava. Jotta tällaiset hävikit saataisiin poistettua, tulisi panostaa laadun seurantaan ja selvittää tuotteiden valmistuksessa ilmenneiden vaihteluiden syyt. Kun vaihtelut olisi saatu riittävän hyvin hallintaan, voitaisiin koneiden säädöt

tuoda lähemmäksi näitä laatoille annettuja nimellismittoja, ilman pelkoa minimimitan alittamisesta.

Tämä oli vain yksi lisäesimerkki, mihin taulukkoon kerättyjä tietoja voidaan tulevaisuudessa käyttää. Tehokkaasti taulukkoa hyödyntämällä ja laatua seuraamalla saadaan varmasti säästöjä aikaiseksi myös virheellisten tuotteiden vähenemisen myötä.

11 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä ontelolaattatuotantoon sähköinen mittapöytäkirja, josta voidaan tulostaa \bar{xR} -kortti ja histogrammi halutuista tiedoista. Lisäksi haluttiin saada mittapöytäkirjat arkistoitua sähköiseen muotoon.

Työn aloitusvaiheessa valittiin mittauskohteet, joita mittapöytäkirjassa halutaan analysoida. Samalla tutustuttiin ontelolaatan valmistukseen ja laatalle tehtäviin mittauksiin osallistamalla työvaiheisiin. Seuraavaksi haettiin laatutekniikan kirjallisuudesta tietoa laadunmittauksesta ja analysointi menetelmistä. Näiden tietojen perusteella aloitettiin sähköisen mittapöytäkirjan laadinta. Työmäärä tämän Excel-taulukon tekemisessä ylitti reilusti ennakkoon arvioidun. Taulukon valmistuttua syötettiin siihen mittautustietoja arkistoiduista mittapöytäkirjoista taulukon testaamiseksi. Onnistuneiden testausten jälkeen mittapöytäkirja esiteltiin tehtaan johdolle. Mittapöytäkirjaa pidettiin hyvin onnistuneena ja se sai positiivisen vastaanoton. Lisätoiveena esitettiin mittapöytäkirjan käyttöohjeen laatiminen, joten lopuksi laadittiin vielä pyydetty käyttöohje sähköiseen muotoon ja liitettiin se osaksi mittapöytäkirjaa.

Yritys sai opinnäytetyön tuloksena toivotunlaisen sähköisen mittapöytäkirjan. Analysointi ominaisuuksien ansiosta tuotteen laatua voidaan seurata paremmin ja reagoida joihinkin tuleviin poikkeamiin jo ennakoita. Myös poikkeamien kustannusvaikutukset voidaan laskea tarkemmin, kun kaikki mittautustiedot ovat sähköisessä muodossa.

Opinnäytetyö oli erittäin mielenkiintoinen; siinä yhdistyi useita kiinnostavia aiheita, kuten laatutekniikka, Excel-ohjelma ja kustannusvaikutusten laskenta. Opinnäytetyön läpiviemiseen tarvittu työmäärä ylitti alussa arvioidun määrän reilusti, mutta työn aikana koetut onnistumisen tunteet auttoivat jaksamaan loppuun saakka. Työtä helpotti myös se, että mittauksistoriaa oli paljon arkistoituna ja tiedot olivat hyvässä järjestyksessä. Opinnäytetyö täytti kaikki sille alussa asetetut tavoitteet ja se myös valmistui suunniteltuun ajankohtaan mennessä.

12 LÄHTEET

Aaltokoski, H. (2016). *Kuva*.

Betoniteollisuus Ry. (2016). *www.elementtisuunnittelu.fi*. Haettu 16.12.2016 osoitteesta
<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/laatat/ontelolaatat>

Hölttä, P. I. (2001). *Six Sigma päähkinänkuoressa*. Tampere: Metalliteollisuuden keskusliitto MET.

Karjalainen, T. K. (2002). *Six Sigma - Uuden sukupolven johtamis- ja laatumenetelmä* (Ensimmäinen painos p.).
 Hollola: Salpausselän Kirjapaino Oy.

Kume, H. (1991). *Laadun parantamisen tilastolliset menetelmät*. (D. A. Manninen, Käänt.) Tampere:
 Metalliteollisuuden Keskusliitto.

Leiviskä, M. L. (1998). *Tilastollinen prosessinohjaus: perusteet ja menetelmät*. Raportti B, numero 8, Oulun
 Yliopisto, Sääteotekniikan laboratorio, Infotech Oulu ja Prosessitekniiikan osasto, Oulu. Haettu 6.11.2016
 osoitteesta <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9514275209.pdf>

Luja Oy. (2015). *Lunetti, Luja-yhtiöiden intranet sivusto*. (Luja Oy) Haettu 15.11.2016 osoitteesta Lunetti:
<https://lunetti.luja.fi/>

Suomen Standardoimisliitto. (16.04.2012). Betonivalmisisosat, Ontelolaatat. *SFS-EN 1168 + A3(SFS/ICS 91.060.30; 91.100.30)*, 4. painos. Helsinki: Rakennustuoteteollisuus RTT.

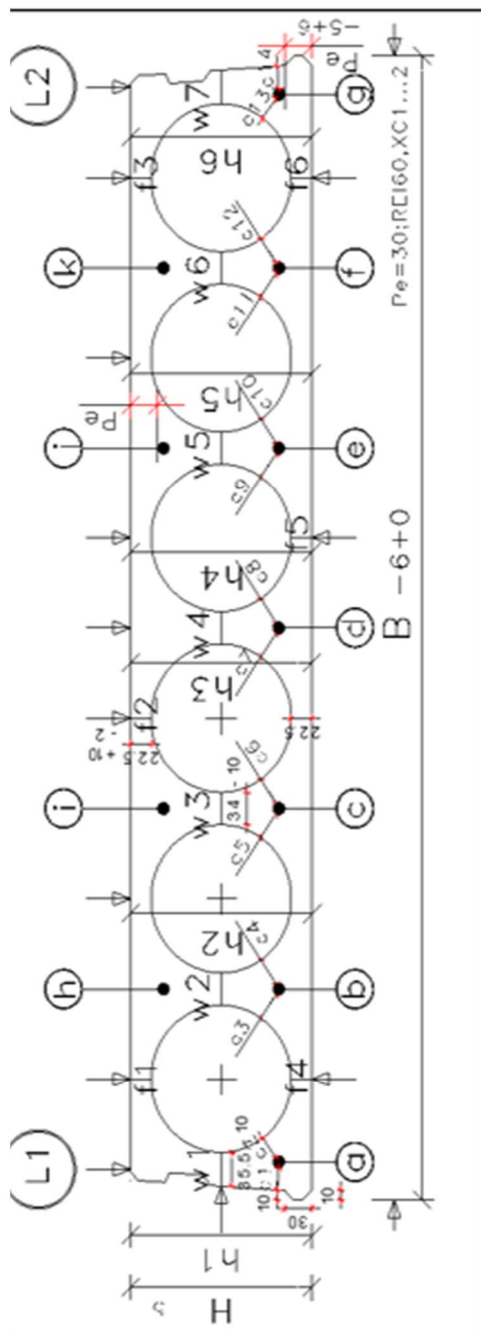
Suomen Standardoimisliitto. (17.6.2013). Betonivalmisisojen yleiset säännöt. *SFS-EN 13369, 2013, 3. painos*.
 Helsinki: Rakennustuoteteollisuus RTT ry.

Suomen Standardoimisliitto. (19.1.2015). SFS-EN 1992-1-1 +A1 + AC. *Betonirakenteiden suunnittelu, Eurokoodi 2*,
 2. painos. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.

Suomen Standardoimisliitto SFS. (24.11.2008). SFS 7016. *Esijännitetyiltä ontelolaatoilta eri käyttökohteissa
 vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot(ICS 91.060.30;91.100.30)*. Helsinki:
 Rakennustuoteteollisuus RTT ry.

Tanja Karjalainen, E. E. (2000). *Laatujohtamisoppien (TQM) soveltaminen PK-yritykseen - SPC, systeemiteoria,
 TOC-teoria* - (2. uudistettu painos p.). Hollola: Salpausselän Kirjapaino Oy.

LIITE 1



LAATU

L6

16.12.2016

Pöytä 1

1234

9 punosta #####

1100 N/mm²

Harjamentie 1
71800 SIILIJÄRVI
puh. 020 789 5500
fax. 020 789 55

Valu pvm

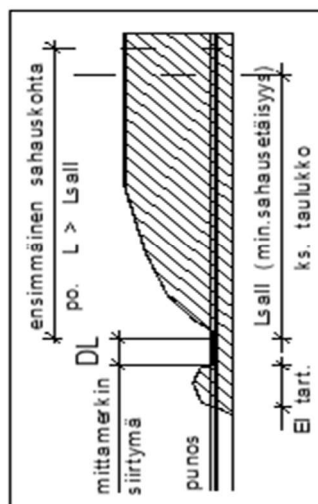
Pöytä nro

Ohjelma nro

Punostamäärä ja koko

Alkujännitys

Mittaajalhyväksyntä



TOLERANSSIMITTAUKSET: B2 kapea

Laatta nro	Tunnus	Nimellisleveys B ₁ - B ₂	Mittattu leveys B +0 f - 6	Mittattu pituus ##### 15	Laatan korkeus h1 h2 h3 h4 h5 h6	H = 200 + 5 f - 5	Uuman paksuus	#####	tol. -20 ylit. -10								
1	L6-123	B ₁	1200 mm	5450 mm	201 mm	204 mm	206 mm	204 mm	204 mm	35,2 mm	33,0 mm	34,0 mm	32,0 mm	36,0 mm	35,0 mm	36,0 mm	
	123456	B ₂	1200 mm	4000 mm	KA	202,7	NIM.	195 ... 205	NIM.	202,7	YHT.	241,2	MIN.	227			
Yläkannat f ₁ - f ₄ ... f ₁₃		Alkukannat ##### 33		Punosten etäisyys alipinnasta, keskiarvo		##### -5		Yksittäisiä punos alle toleranssia		Punosten etäisyys yläpinnasta							
f1	f2	f3	f4	f5	f6	a	b	c	d	e	f	g	i	j	k		
27 mm	28 mm	35 mm	32 mm	30 mm	33 mm	30,0 mm	33,0 mm	32,0 mm	#####	#####	26,0 mm	#####	35,0 mm	#####	32,0 mm		
KA	30,0	Korkeus	KA	31,7	KA	29,6	NIM.	25 ... 36	Yksittäisen punoksen toleranssi	+10 f - 5 mm , min 25 mm		Mittattu leveys					
Betoni pite onteloon/reunaan		Ehdoton minimi = 19 mm		Yksittäinen punosetäisyys alle 19 mm		##### 5		(Bkava+20)		Mittattu leveys							
c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10	c11	c12	c13	c14	B ₁	1158	1160 mm	
22,0 mm	25,0 mm	26,0 mm	24,0 mm	19,0 mm	18,0 mm	22,0 mm	24,0 mm	24,0 mm	25,0 mm	24,0 mm	26,0 mm	24,0 mm	24,0 mm	B ₂	1158	1161 mm	

Harjamentie 1

71800 SIILIJÄRVI

puh. 020 789 5500

fax. 020 789 55

Valu pvm

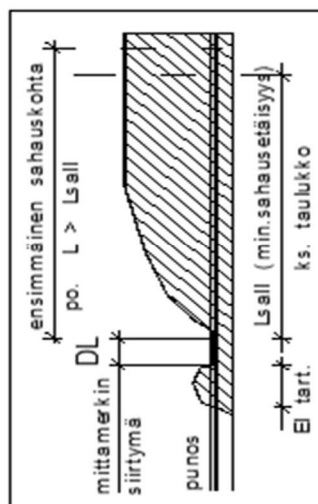
Pöytä nro

Ohjelma nro

Punostamäärä ja koko

Alkujännitys

Mittaajalhyväksyntä



TOLERANSSIMITTAUKSET: B2 kapea

Laatta nro	Tunnus	Nimellisleveys B ₁ - B ₂	Mittattu leveys B +0 f - 6	Mittattu pituus ##### 15	Laatan korkeus h1 h2 h3 h4 h5 h6	H = 200 + 5 f - 5	Uuman paksuus	#####	tol. -20 ylit. -10								
1	L6-123	B ₁	1200 mm	5450 mm	201 mm	204 mm	206 mm	204 mm	204 mm	35,2 mm	33,0 mm	34,0 mm	32,0 mm	36,0 mm	35,0 mm	36,0 mm	
	123456	B ₂	1200 mm	4000 mm	KA	202,7	NIM.	195 ... 205	NIM.	202,7	YHT.	241,2	MIN.	227			
Yläkannat f ₁ - f ₄ ... f ₁₃		Alkukannat ##### 33		Punosten etäisyys alipinnasta, keskiarvo		##### -5		Yksittäisiä punos alle toleranssia		Punosten etäisyys yläpinnasta							
f1	f2	f3	f4	f5	f6	a	b	c	d	e	f	g	i	j	k		
27 mm	28 mm	35 mm	32 mm	30 mm	33 mm	30,0 mm	33,0 mm	32,0 mm	#####	#####	26,0 mm	#####	35,0 mm	#####	32,0 mm		
KA	30,0	Korkeus	KA	31,7	KA	29,6	NIM.	25 ... 36	Yksittäisen punoksen toleranssi	+10 f - 5 mm , min 25 mm		Mittattu leveys					
Betoni pite onteloon/reunaan		Ehdoton minimi = 19 mm		Yksittäinen punosetäisyys alle 19 mm		##### 5		(Bkava+20)		Mittattu leveys							
c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10	c11	c12	c13	c14	B ₁	1158	1160 mm	
22,0 mm	25,0 mm	26,0 mm	24,0 mm	19,0 mm	18,0 mm	22,0 mm	24,0 mm	24,0 mm	25,0 mm	24,0 mm	26,0 mm	24,0 mm	24,0 mm	B ₂	1158	1161 mm	

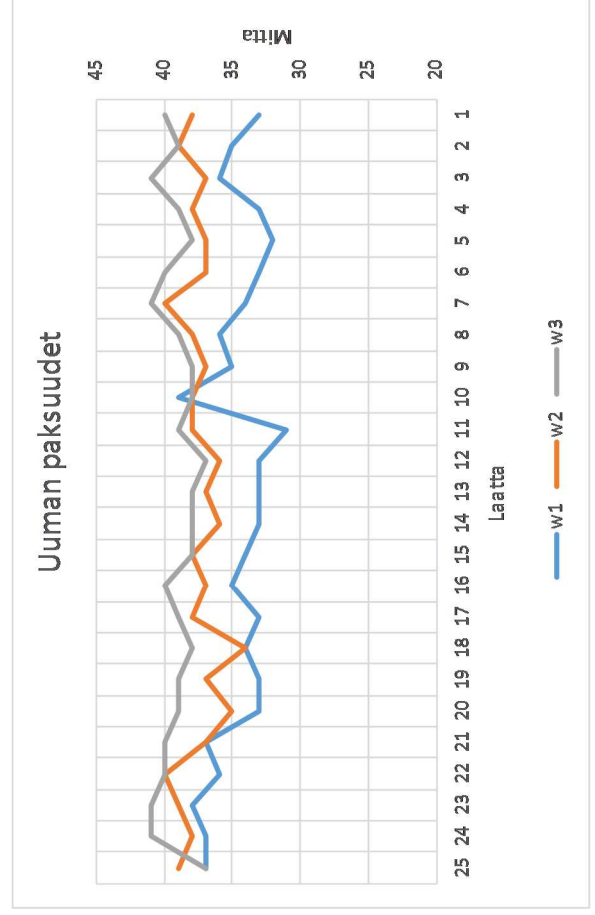
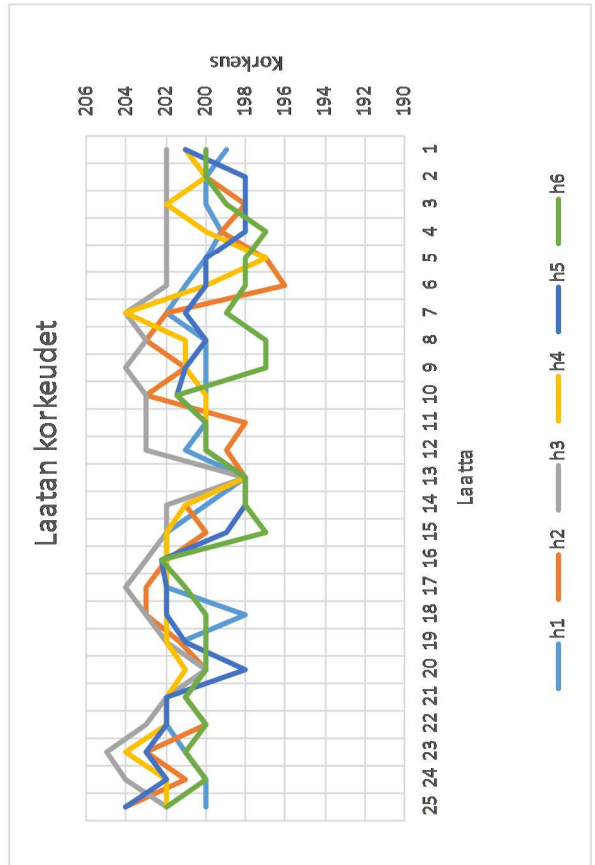
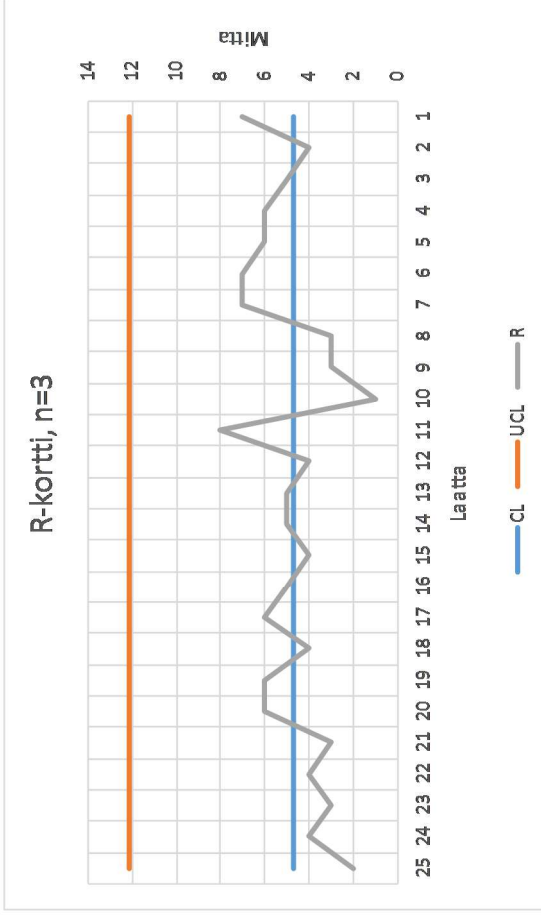
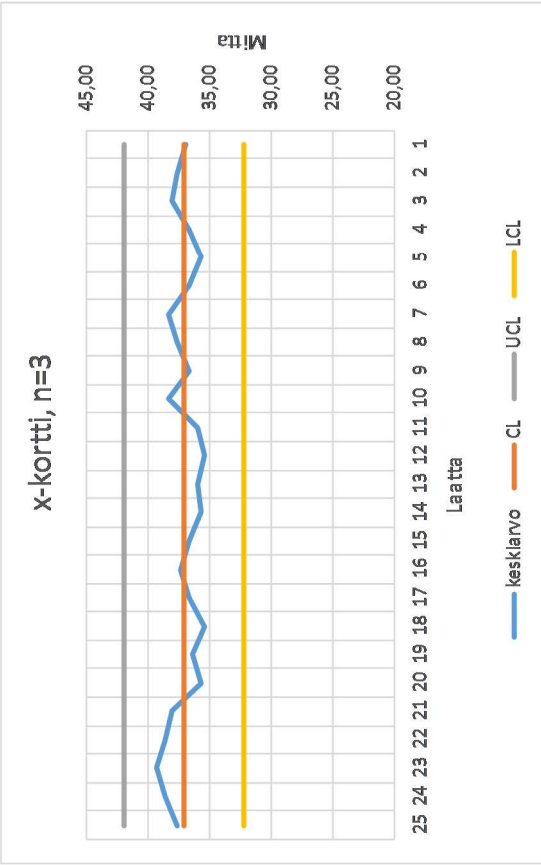
21.12.2016

Laatta Kaikki pöydän laatat

Tyyppi L6

Uuman paksuudet

Pöytä: Molemmat



LIITE 3

L6	Uuman paksuudet	21.12.2016
-----------	------------------------	------------

