

Lauri Olkinuora

Paahtoprosessin kosteudenhallinta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

11.12.2014

Tekijä(t) Otsikko	Lauri Olkinuora Paahtoprosessin kosteudenhallinta
Sivumäärä Aika	31 sivua + 2 liitettä 15.12.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Kappaletavara-automaatio
Ohjaaja(t)	Jani-Pekka Heikkinen, tuotannonohjaaja Raisa Vartia, lehtori
<p>Meira Oy on Suomen suurimpia kahvinpaahtimoita ja suurin osa paahdosta tapahtuu Helsingin Alppilassa. Insinööryön tavoitteena oli tutkia Meira Oy:n paahtimon prosessikosteuksia ja niiden arvoja eri vaiheissa paahtoprosessia. Kesän 2014 aikana huomattiin kahvin kosteuksissa poikkeuksellista nousua, joten työn tarkoituksena oli tutkia, missä vaiheessa paahtoa kosteus nousee, sekä siihen vaikuttavia tekijöitä ja niiden merkityksellisyyttä mittauksilla ja analyysillä.</p> <p>Mittaukset suoritettiin Meiran valvomossa normaalin paahton ohessa ja tulokset kirjattiin Microsoft Exceliin. Tämän jälkeen tuloksista etsittiin trendejä ja malleja, jonka perusteella tehtiin ohjeistuksia ja suosituksia jatkon suhteen.</p> <p>Syöttöveden huomattiin olevan merkityksellisin tekijä kahvin kosteudessa ja paahtoväriin olevan pienempi tekijä. Myös muiden, ulkopuolisten tekijöiden huomattiin vaikuttavan kosteuteen vähäisesti. Tuloksissa huomattiin kosteuden kasvua paahton jälkeen, ennen kahvin jauhatusta. Jauhatuksen jälkeen kosteus nousi, muttei yhtä merkittävästi.</p> <p>Työn perusteella tehtiin syöttöveden määrän suhteen muutoksia valvomotyöntekijöiden ohjeistukseen. Kosteuksien kehitystä jatkoseurataan.</p>	
Avainsanat	Kahvi, Meira, paahto, kosteus

Author(s) Title	Lauri Olkinuora Moisture control of the roasting process
Number of Pages Date	31 pages + 2 appendices 15 December 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Technology
Specialisation option	Manufacturing Automation
Instructor(s)	Jani-Pekka Heikkinen, Production Manager Raisa Vartia, Senior Lecturer
<p>Meira Oy is one of Finland's biggest coffee manufacturers. Most of their roasting takes place in Helsinki's Alppila. The purpose of this thesis is to study the roasting facility's process moistures and their development in different phases of the roasting process. During the summer of 2014 there was significant rise in the moisture values of the coffee after roasting. The purpose of this thesis is to discover the factors for this rise and at what stage of the roasting process it occurs through measurement and analysis.</p> <p>The measurements were conducted during a standard roasting process in Meira's process monitoring room and the data was entered into Microsoft Excel. After this trends and models were created. These results were then used to instruct the roasting staff on how to adjust the process to improve the result.</p> <p>Process input water was discovered to be a major factor in the moisture of roasted coffee while the colour of the coffee was found to be a less meaningful factor. It was also discovered that other, outside factors, affected the moisture to a lesser degree. There was a rise in moisture after the roasting before the grinding process. After the grinding, before the packing phase there was also a rise in the moisture, but not as significant.</p> <p>As a result of this thesis, the instructions for the roasting staff regarding the amount of input water used have been changed. In the future the results will be monitored.</p>	
Keywords	Coffee, Meira, roasting, moisture

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta	1
1.2	Yritys	1
1.3	Työn tavoitteet ja toteutus	2
1.4	Rajaukset	2
2	Paahtoprosessi ja mittausmenetelmät	2
2.1	Paahtoprosessi	2
2.2	Mittaukset	4
2.3	Mittausten kirjaus	6
3	Tulokset	7
3.1	Paahtokone II	7
3.1.1	Paahtolämpötilan ja värin vaikutukset	8
3.1.2	Syöttöveden määrän vaikutus kosteuteen	12
3.1.3	Deltakosteus	17
3.1.4	PK II syksyn yhteenveto	22
3.2	Paahtokone III	23
4	Päätelmät	28
5	Virhearviointi	29
6	Kehitysehdotukset	29
6.1	Automaattioratkaisut	29
6.2	Henkilöstön ohjeistus	31
	Lähteet	32

Liitteet

Liite 1: Korrelaatiokertoimet ja selitysasteet PK II

Liite 2: Regressioanalyysi PKII vesi-kosteus

Lyhenteet ja termit

PK II = Paahtokone 2

PK III = Paahtokone 3

Korrelaatiokerroin = Käsite, joka kuvaa kahden muuttujan välistä riippuvuutta, välillä [-1,1]. Jos arvo -1 tai 1, tarkoittaa täydellisen (positiivinen tai negatiivinen) lineaarinen riippuvuus, eli X:n voi laskea Y:stä tai päinvastoin. [1, 2, 3, 4]

Selitysaste = R^2 . Käsite, joka kuvaa kuvaajan tai mallin kykyä selittää tulokset. Välillä [0,1]. Voidaan ajatella myös prosentteina 0-100 %. 1 tai 100 % selittää täysin ja 0 ei selitä ollenkaan. Käytännön ilmiöiden mittauksissa jo 50% selitysaste on hyvä. [1, 2, 3, 4]

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Työ suoritettiin Vallilassa sijaitsevalle Meira Oy:lle. Kesän aikana huomattiin epäsäännöllisyyttä kahvin kosteudessa paahdon jälkeen mitattuna ja verrattuna mittauksiin pakatusta kahvista, varsinkin paahtokoneen II osalta. Muutaman päivän ajan tehtiin mittauksia ja tulosten taulukointia, mikä johti tämän insinööriyön tekemiseen. Toimin Meiralla valvomo-operaattorina toukokuusta heinäkuun loppuun kesällä 2014.

Meiralla on käytössään erä-paahtokoneita sekä jatkuvan paahdon paahtokoneita. Erä-paahtokoneessa kahvia paahdetaan tietty määrä kerrallaan, minkä jälkeen erä siirtyy jäähdytykseen ja seuraava erä paahtettavaksi. Jatkuvassa paahdossa kahvia paahdetaan ja jäähdytetään keskeytyksettä.

Työn taustalla on selvittää kosteuden nousun syitä, ja mahdollisimman pienillä linjastoon tehtävillä muutoksilla miettiä parannusehdotuksia nykyiseen järjestelmään. Meira voi pohtia tämän työn perusteella, mihin toimenpiteisiin se ryhtyy jatkoa ajatellen.

1.2 Yritys

Meira Oy on osa italialaista Massimo Zanetti Beverage -konsernia, joka on Euroopan suurimpia kahviyrityksiä. Massimo Zanetti Beverage osti Meiran vuonna 2002. Meira aloitti kahvinpaahdon vuonna 1914, maustetehtas aloitti toimintansa vuotta myöhemmin. Alun perin tehdas oli Helsingin Erottajalla, josta se siirtyi 1930-luvulla nykyiselle paikalleen Helsingin Aleksis Kiven kadulle. Nykyään Meira tuottaa noin viidenneksen suomalaisten vuosittain käyttämästä yli 50 000 000 kilosta kahvia. Suomalaiset juovat vuosittain 9 - 10 kiloa kahvia henkilöä kohden vuodessa ja ovat näin maailman suurimpia kuluttajia muiden Skandinavian maiden ohella. Meira myös vie kahviaan Tanskaan ja Baltian maihin. Meiran suurimpiin kahvimerkkeihin kuuluvat Kulta Katriina, Saludo, Cafe HIENO ja Reilu kahvi. [5, 6]

1.3 Työn tavoitteet ja toteutus

Kahvinpaahtoprosessissa tarkkaillaan paahtetusta kahvista sen väriä, kosteutta ja ominaispainoa (tiheyttä). Tässä työssä tutkitaan kahvin kosteutta, siihen vaikuttavia tekijöitä, sen parempaa hallintaa ja sitä miten prosessia voitaisiin parantaa. Työ suoritetaan tutkimalla tilastollisesti eri tekijöiden vaikutusta kosteuteen, jonka jälkeen tulokset analysoidaan ja niiden perusteella tehdään johtopäätöksiä, miten prosessin kosteutta voitaisiin parhaiten hallita. Lopuksi laaditaan parannusehdotuksia automaation kannalta.

Analyysi ja tilastointi suoritetaan käyttäen Microsoft Office Excel 2010. Analyysinä tul-
laan käyttämään regressioanalyysia.

1.4 Rajaukset

Mittaukset tehdään vain yhdellä kahvimerkillä (Kulta Katriina), jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia. Siitä huolimatta osa vaihteluista johtuu eri kahvilaaduista ja eri resepteistä saman kahvimerkin sisällä, mutta tätä vaihtelua on käytännössä mahdoton eliminoida mittauksista. Tulosten analysoinnissa keskitytään lähinnä kosteuden tarkaste-
luun, mutta myös väriin kiinnitetään huomiota. Molemmat ovat kahvin laadun kannalta oleellimmat tekijät. Ominaispainoa mitattiin, mutta tekijöiden vaikutusta siihen ei tarkastella tässä työssä.

Kosteuden M-arvot löytyvät liitteistä.

2 Paahtoprosessi ja mittausmenetelmät

2.1 Paahtoprosessi

Meiralle saapuu jatkuvasti eri kahvilajikkeita eri tiloilta eri puolilta maailmaa, mutta sekoittamalla eri laatuja keskenään saadaan kahvimerkin maku pysymään hyvin samana, vaikka sen eri komponentit vaihtuisivatkin. Reseptit laaditaan makutesteillä laatulaboratoriossa. Reseptit kirjataan ylös ohjelmaan, josta ne siirretään valvomon ohjelmaan, joka osaa tämän jälkeen punnita kahvilaaduille oikean määrän raakakahvi-

komponentteja oikeassa suhteessa. Tämän jälkeen kahvisekoite kuljetetaan paahtokoneen syöttösäiliöihin.

Työssä tullaan tarkkailemaan paahtokonetta II ja paahtokonetta III. Paahtokone II (Probat-radiaali-turbo-paahdin, tyyppimerkintä RZ 4000) [7] on erä-paahtokone: Kahvisekoitus mitataan ensin ja sekoitetaan syöttösäiliöön, josta se pudotetaan paahtomalljaan erinä. Kahvia lämmitetään sekä paahtomalljan metallin että kuumen syöttöilman avulla. Kun kahviseos saavuttaa annetun lämpötilan, syötetään kahvin sekaan vettä annettu määrä, jolloin seoksen lämpeneminen pysähtyy ja seos pudotetaan jäähdyttäjään. Kun erä putoaa jäähdyttäjään, sen annetaan jäähtyä siellä noin kolme minuuttia, jonka jälkeen se siirretään paahtetun kahvin säiliöihin odottamaan jauhatusta. Kun edellinen erä putoaa jäähdyttimeen, otetaan seuraava erä paahtoon. Jokaisesta erästä tulee näyte valvomoon, kun se siirretään jäähdyttäjistä eteenpäin eli noin joka kuudes minuutti.

Paahtokone III on jatkuvan paahton paahtokone (jatkuvatoiminen ruuvipaahdin). Kun kahvisekoitus on mitattu ja sekoitettu syöttösäiliöön, menee kahvia jatkuvasti prosessin läpi: ensin paahto-osan läpi, jäähdytysosan läpi ja sen jälkeen paahtetun kahvin säiliöön. Jatkuva paahto ei ole yhtä nopea kuin eräpaahto, joten PKIII ei kykene yhtä nopeaan tuotantoon kuin II. Paahtokoneella III ei näytteitä tule kuin tilauksesta valvomoon. [7]

Paahton jälkeen molemmat koneet siirtävät kahvin papusäiliöihin, joissa kahvi seisoo muutamasta tunnista vuorokauteen odottamassa jauhatusta. Paahton ja papusäiliöiden välissä on seuloja, joilla erotellaan raakakahvin mukana mahdollisesti olleet pienet kivet ja roskat pois kahvin seasta. Kahvi voidaan myös johtaa suoraan pakkaus koneille papukahvia varten. Kahvi jatkaa vielä papusäiliöissä kypsymistään hieman ja se tummu hieman lisää paahtamisen jälkeen. Kun kahvi on pakattu, otetaan niistä satunnaisnäytteitä joka työmääräyksestä, ja jos ne eivät ole Meiran laatustandardien mukaisia, ei niitä toimiteta eteenpäin, vaan ne puretaan. Juuri näiden näytteiden liian suurien kosteusprosenttien ja niiden ero paahtausvaihteen mittauksiin johti tämän työn aiheena olevaan seurantaan.

Paahtokoneissa voidaan säätää kohdelämpötilaa, paahtoaikaa ja syöttöveden määrää. Yleensä säädetään vain paahtolämpötilaa, mikä tehdään valvomo-ohjelmalla. Paahtoajan säätö vaatii muutoksia valvomosoftan sisäisiin, kahvikohtaisiin, paahto-ohjelmiin.

Syöttöveden määrää voi paahtokoneessa II säätää valvomo-ohjelmasta, mutta paahtokoneessa III syöttöveden määrää voi muokata vain fyysisesti koneen luota.

Paahtimon laatutarkkailulaboratorion henkilökunta hakee satunnaisnäytteitä noin viidesti päivässä ja ilmoittaa, jos kahvin mittausarvot eivät noudata standardeja. Joka viikko jauhettua kahvia testataan myös makutesteillä, joilla arvioidaan myös mittausarvojen vaikutusta kahvin makuun sekä päätetään, meneekö työmääräyksen kahvi eteenpäin tehtaasta. Mittauksissa käytetyn Kulta Katriinan värin olisi oltava 20,5 - 21,5 kahvipaketeissa.

2.2 Mittaukset

Osa mittauksista suoritettiin kesän aikana. Pääpaino on kuitenkin syyskuun 2014 insinööriyön aikana suoritetuilla mittauksilla, joissa säädettiin myös vesimäärää, eikä vain loppulämpötilaa normaalin paahtotoiminnan tapaan.

Paahtokoneen lämpiäminen kestää noin tunnin, mutta tästä huolimatta vertailukelpoisia tuloksia saadaan vasta kymmenien minuuttien jälkeen paahdon alun jälkeen. Paahtomaljan metallilla kestää lämmitä täysin tunteja, mistä johtuen voidaan huomata paahdon loppulämpötilojen laskemista, kun kahvi kypsyy sekä maljan toimesta, että kuuman syöttöilman.

Kahvinäytteet jauhetaan valvomossa, jonka jälkeen niistä mitataan kahvin väri ja kosteus. Väri mitataan jauhetusta kahvista HunterLab D25 L -optisella sensorilla (kolometri), joka ilmoittaa värin asteikolla 0 - 100, jossa 0 on täysin musta ja valkoinen 100. Kosteus mitataan Mettler Toledon HB43-S -kosteusmittarilla (halogen moisture analyzer), joka mittaa näytteen kosteuden haihduttamalla veden pois näytteestä. Kosteusmittariin punnitaan jauhetusta näytteestä noin 5,5 grammaa kahvia ja mittari laskee kosteuden painon muutoksesta haihdutuksen jälkeen. Meira on antanut kahvilleen laaturajat, joihin kahvi on paahdettava. Mittauksissa käytetyn Kulta Katriinan värin rajat ovat 21,8 - 22,3 paahdon jälkeen, mutta yleisenä käytäntönä on ollut paahtaa mieluummin hieman alemmaksi. Kahvi tummuu paahdon jälkeen vielä jonkin verran, joten tällä päästään sopivaan tummuuteen kahvipaketissa. Ominaispainon mittauksessa kahvi jauhetaan karkeammaksi kuin muissa mittauksissa, jonka jälkeen sitä punnitaan 70 gramman näyte 100 millilitran mittalasiin. Tämän jälkeen sitä tiivistetään täryttämällä

200 iskun verran, jonka jälkeen luetaan mitta-astian kyljestä näytteen korkeus, joka merkitään ominaispaino-kohtaan millilitroina. Täryttämiseen käytettävä laite on JEL (J. Engelsmann Ag) STAV 2003 ("Stampfvolumeter"). Tämä vaikuttaa lähinnä jauhatushenkilökuntaan, he osaavat täten jauhaa kahvin siten, että jokainen 0,5 kilon kahvipaketti on samankokoinen.

Kesän 2014 mittauksissa mitattiin normaalipaahdon ohessa, eli säätäen vain lämpötilaa riippuen paahtoväristä. Ensimmäisenä päivänä (19.8.2014) PK II osalta otettiin joka erästä näyte, toisena (20.8.2014) joka kolmannesta. PK III osalta näytteet otettiin joka 15 - 20 minuutti. Ominaismassa mitattiin vaihtelevin välein.

Syksyn ensimmäisenä mittauspäivänä (23.9.2014) mitattiin kosteus ja kahvin väri joka toisesta erästä eli noin joka 12. minuutti. Lämpötila pyrittiin pitämään mahdollisimman tasaisena, mutta tarvittaessa sitä säädettiin, jotta kahvin väri pysyy annetussa annetuissa rajoissa. Vesimäärää kasvatettiin tasaisesti yhden litran nostolla jokaista kuutta erää kohden, eli kolme mittausta litran nostoa kohden. Vesimäärä aloitettiin 26 litrasta ja lopetettiin normaalisti käytettyyn 33 litraan. Mittaukset aloitettiin seitsemännestä erästä, kun alkulämmityksen epätasaiset tulokset ovat tasaantuneet normaaleihin paahtoparametreihin. Ominaismassa mitattiin joka kymmenestä erästä, koska se ei ole tämän työn kannalta kovin oleellinen, sekä sen vaihtelu on havaittu aiemmin suoritetuissa mittauksissa hyvin vähäiseksi. Iltapäivällä saatiin mylläys- ja jauhatuskosteuksia aamulla paahtetuista kahveista.

Toisena mittauspäivänä (24.9.2014) seurattiin paahtokoneen III kosteutta. Koska PK III syöttöveden määrän säätö tapahtuu fyysisesti paahtokoneen luota, päädyttiin tarkastelemaan vain lämpötilan merkitystä prosessikosteuteen ja seuraamaan paahton jälkeisen kosteuden ja myllypuolen kosteuden riippuvuutta. Näytteidenottoväliksi valittiin noin joka 15. minuutti, koska lämpötilan säädön vaikutukset näkyvät vasta 14 minuuttia säädön jälkeen. Ominaispaino tyydyttiin mittaamaan joka työmääräyksen alusta, PK III:n ominaispaino ei vaihtelee juurikaan, eikä se ole pääasiallisena tarkkailun kohteena tässä työssä. Mitattiin myös edellisen päivän paahtokoneen II mylläys- ja jauhatuskosteuksia sekä pakkauskosteuksia. Paahtokoneelta III puuttuu mylläys ja pakkauskosteuksia, koska en ollut paikalla henkilökohtaisesti niitä suorittamassa.

Kolmantena mittauspäivänä (22.10.2014) noudatettiin samaa kaavaa kuin 23.9.2014, mutta syöttöveden määrä jatkettiin aina 35 litraan asti, eli mittaukset suoritettiin välillä

26 – 35 litraa. Litran nosto suoritettiin jälleen joka kuudennessa erässä (1 litran nosto per säiliö). Mittaukset aloitettiin jälleen seitsemännestä erästä ja mitattiin joka toisesta erästä. Ominaispaino mitattiin joka työmääräyksen alusta. Mylläyskosteuksien mittaus- ta ei päästy suorittamaan. Lämpötilaa ei jouduttu juurikaan säätämään.

2.3 Mittausten kirjaus

Mittaukset, mittausajat, paahton työmääräykset ja säiliöt kirjattiin ylös Excelliin valvo- mossa. Joka paahtopuolen mittauksesta ei ole vastaavaa pakkauspuolen mittaus- ta, joten tuloksissa jouduttiin käyttämään ajoittain keskiarvoja paahtomittauksista.

Taulukkoon on kirjattu ylös:

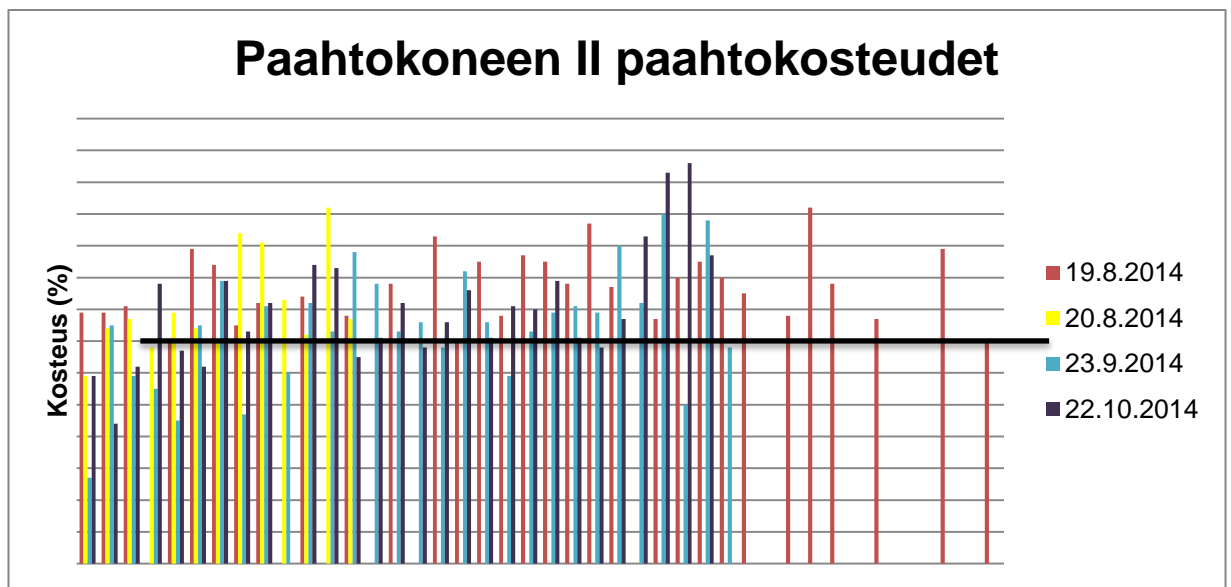
- Mittauspäivämäärä
- Kahvierän työmääräys. Numerointi aloitetaan alusta aina vuoden ajaksi, ja jatketaan niin pitkälle kuin tarpeellista.
- Satsin numero, tarkoittaen päivän paahtoerän järjestysnumeroa.
- Mittauksen kellonaika. Tarkoittaa paahtomittausten aikaa, mylläys ja pak- kausmittaukset yritetty saada vastaamaan samaa osaa paahtosta kuin paahtomittaukset.
- Lämpötila, tarkoittaen paahton kohdelämpötilaa, johon asti kahvi paahte- taan.
- Vesimäärä, syöttöveden määrä, jolla kahvia jäähdytetään.
- Väri, värimittauksella saatu 0 - 100 arvo kahville
- Kosteusprosentti, saadaan kosteusmittauksesta.
- Ominaispaino, kahvin tilavuus, saadaan mittauksella.
- Pakkaus- ja mylläyspuolelta mitattuja kosteusprosentteja.
- Pakkauspuolelta mitattuja kahvin värejä.

Loput taulukoidut arvot ovat edellä mainituista laskemalla saatuja tuloksia.

3 Tulokset

3.1 Paahtokone II

Paahtokoneella II huomattiin kesän laboratorikokeissa kosteuden nousuja, jotka olivat jopa yli yhden prosenttiyksikön, eivätkä pysyneet Meiran antamissa laatustandardeissa. Meiran ohjeiden mukaan paahtettu kahvi saa olla valvomönäytteissä M1 kosteus maksimissaan, mutta ohjearvo on M2 (musta viiva, kuva 1). Kuvaajasta huomataan, että elokuun mittauksissa 19.8.2014 ja 20.8.2014 (keltaiset ja punaiset palkit) ylittävät lähes sääntönä ohjearvon. 23.9.2014 ja 22.10.2014 mittaukset (siniset ja violetit palkit) ylittävät rajan odotetusti johtuen syöttöveden määrän nostosta myöhemmissä mittauksissa.



Kuva 1. Paahtokoneen II paahtokosteudet kaikissa mittauksissa

Pakkauskoosteuksissa Meiran maksimiarvo on M3 , jonka muutama elokuun mittaus ylittää (kuva 2). Ohjearvona on M4 (musta viiva), jonka kaikki mittaukset ylittävät.



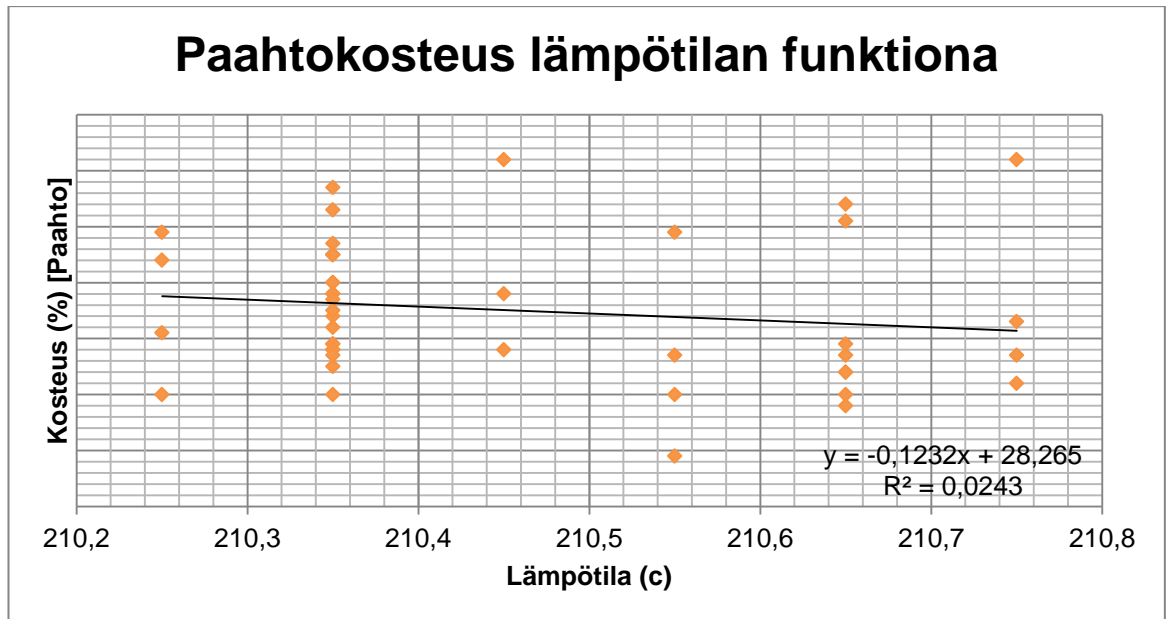
Kuva 2. Paahtokoneen II pakkauskosteudet kaikissa mittauksissa

Syyskuun mittauksissa ylitetään usein myös ohjearvo (siniset ja violetit palkit, kuva 1). Mittauksissa saatiin pakkauskosteuksien ja paahtokosteuksien välille M5 prosenttiyksikön nousu kosteudessa sekä värissä -0,51 (kahvi tummui).

3.1.1 Paahtolämpötilan ja värin vaikutukset

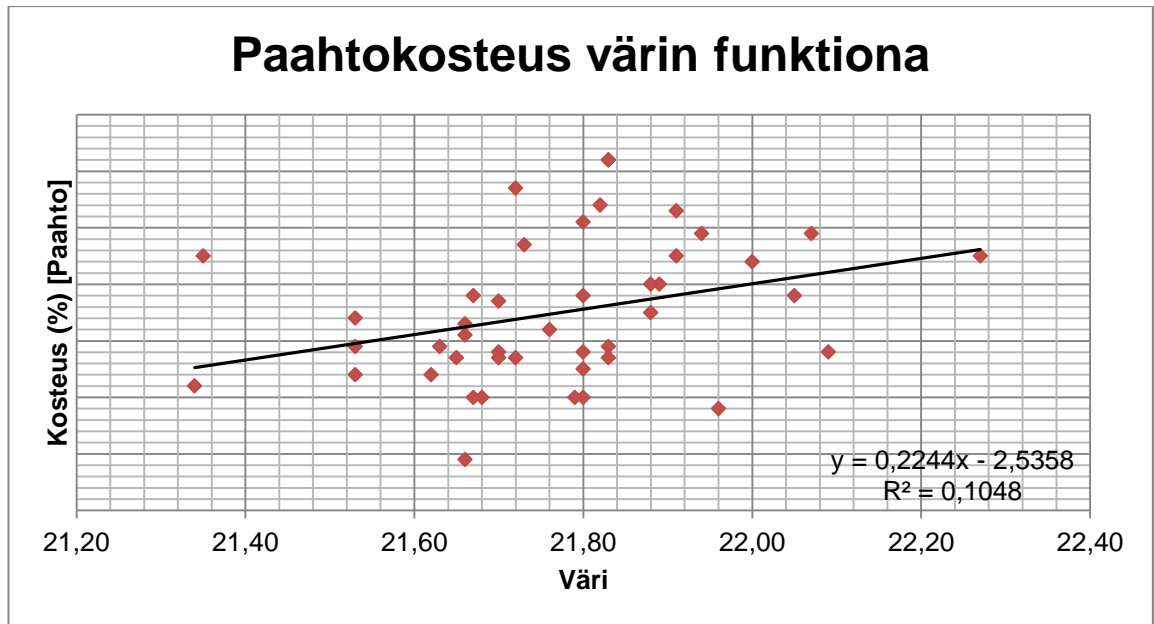
Kesällä suoritetuissa mittauksissa syöttöveden määrä oli aiemmin vakiomääränä käytetty 33 litraa ja säätö tapahtui puhtaasti käyttäen paahton loppulämpötilaa. Nämä mittaukset ovat siis hyvä mittari siitä, kuinka hyvin paahtolämpötila vaikuttaa kosteuteen paahton jälkeen ja pakkausnäytteissä. Tässä osiossa ei siis käsitellä syys- ja lokakuun tuloksia, koska ne eivät ole vertailukelpoisia johtuen vesimäärän säätämisestä lämpötilan säätämisen sijaan.

Kuten loogisesti voisi odottaa, kun kahvia paahdetaan kuumempaan loppulämpötilaan, siitä tulee myös kuivempaa. Kuvaaja (kuva 3) kuitenkin selittää vain noin 2,5 % (R^2 on 0,0243) tuloksista, joten sitä ei voida pitää kuin lähinnä suuntaa-antavana. Lämpötilan lisäksi paahtoon vaikuttaa esimerkiksi ottoilman lämpötila (ulkolämpötila), ilmankosteus, koneen ja putkiston puhtaus ja muut säätöön liittymättömät tekijät. [1, 2, 3, 4]



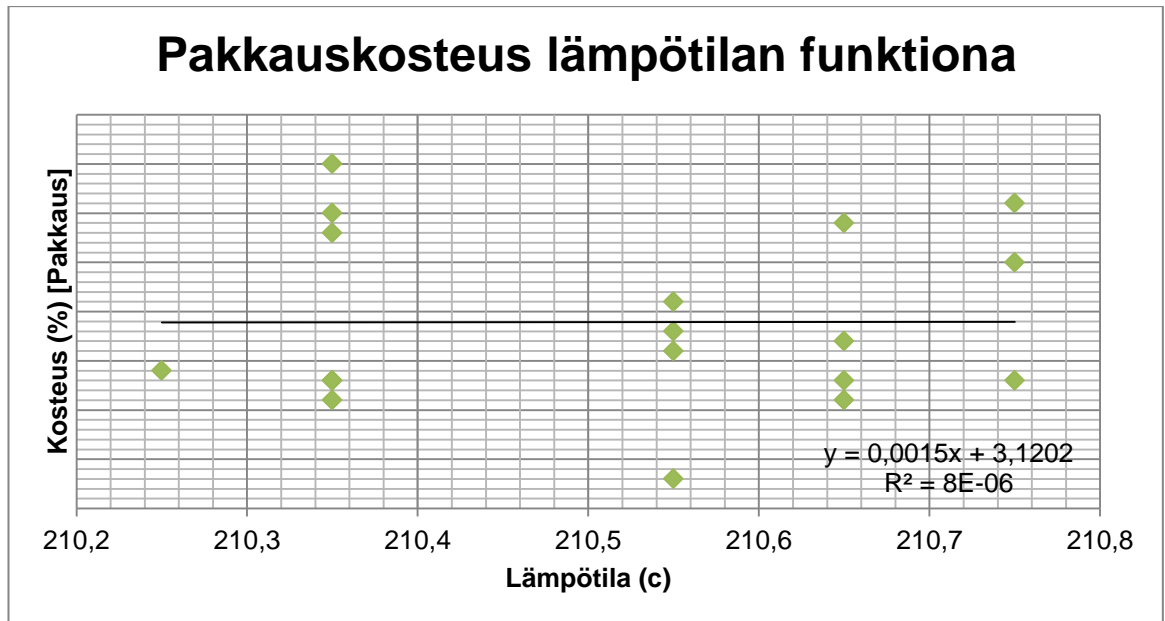
Kuva 3. Paahtokoneen II paahton jälkeiset kosteusarvot paahtolämpötilan funktiona

Kun tarkastellaan lämpötilan sijaan väriä (Kuva 4), huomataan selittävyyden olevan jo huomattavasti parempi, toki ei vielääkään merkittävä (R^2 on 0,1048). Väri on lämpötilaa parempi selittäjä kosteudelle, koska se kertoo enemmän kuinka kypsäksi kahvipavut ovat paahtuneet kuin pelkkä loppulämpötila. Koska kypsemmässä pavussa on vähemmän kosteutta kuin raaemmassa, on väri parempi peruste ennusteelle mikä on pavun kosteus. [1, 2, 3, 4]



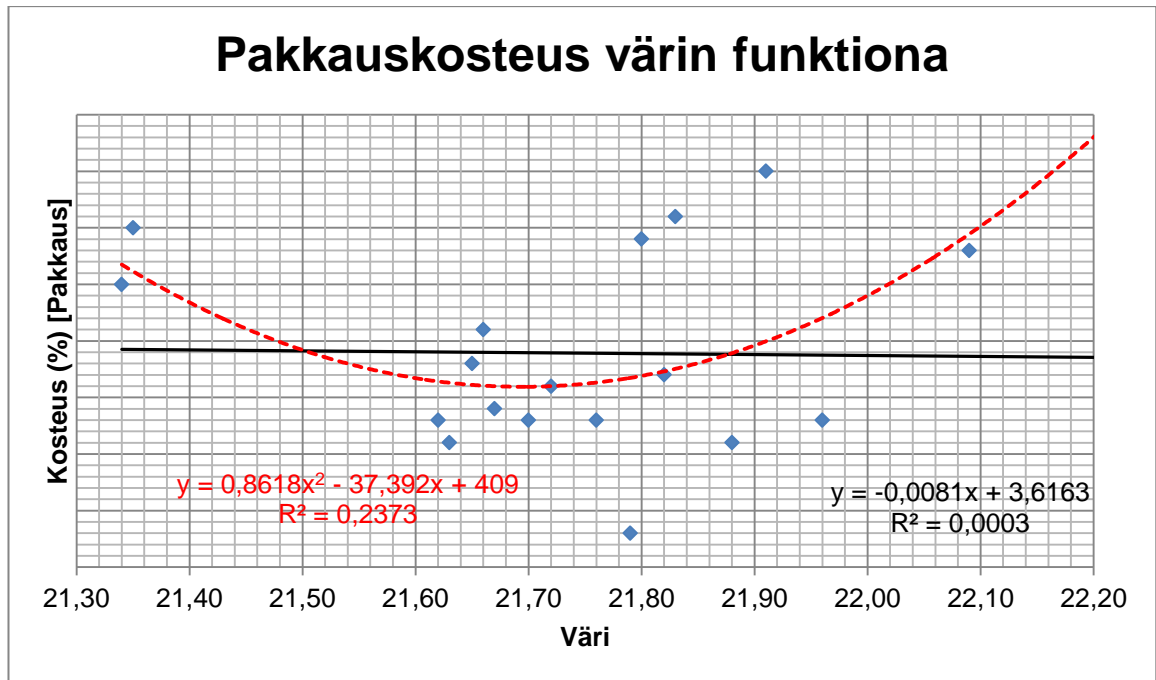
Kuva 4. Paahtokoneen II paahton jälkeiset kosteusarvot kahvin värin funktiona

Kun taas siirrytään tarkastelemaan pakkauskosteuksia (kuva 5), selittävyysaste putoaa lähes nolliin (R^2 on 0,000008). Tämä selittyy sillä, että kun kahvipavut jauhetaan ja pakataan, on sillä aikaa seistä ja imeä takaisin kosteutta, joka haihtui paahtossa. Erotus pakkauskosteudella siihen, mikä mitattiin heti paahton jälkeen, on noin prosenttisyyskikköä. Kohdelämpötila ei siis ole hyvä säätötapa prosessin kosteutta ajatellen, varsinkin pakkauskosteuksia ajatellen. [1, 2, 3, 4]



Kuva 5. Paahtokoneen II kahvipakkauksista mitatut kosteusarvot paahtolämpötilan funktiona

Kuten aiemmassa lämpötilan kuvaajassa, tässäkin kuvaajassa (kuva 6) suoran selityskerroin on lähellä nollaa (R^2 on 0,0003). Mutta jos sovittaa tuloksiin suoran sijaan paraabelin (kuvaajassa merkitty punaisella), nousee selityskerroin jo merkittävämmäksi (R^2 on 0,2373). Selityskerroin ei vielä ole kovin suuri, mutta jo tästä voidaan vetää johtopäätös, että optimiväri kosteutta ajatellen on 21,60 - 21,80 välissä, joka sattumoisin on myös väristandardien mukainen. [1, 2, 3, 4]



Kuva 6. Paahtokoneen II kahvipakkausista mitatut kosteusarvot kahvinpaahton jälkeisen värin funktiona

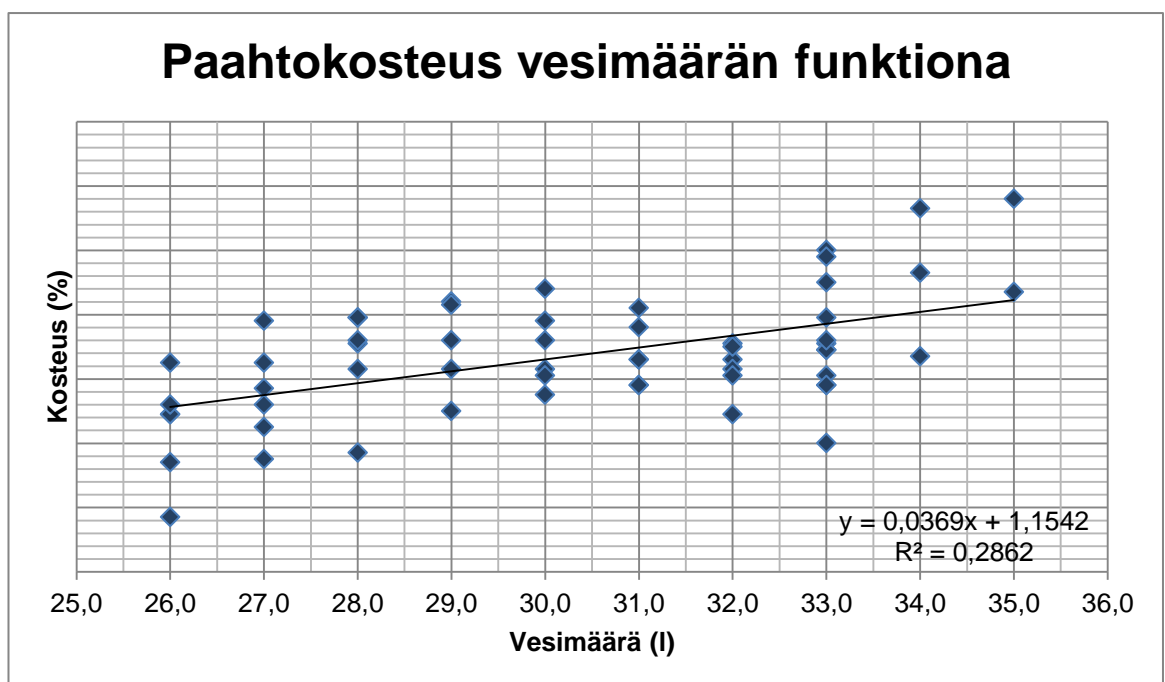
Kesällä mitattuja tuloksia paahtokoneelle II tuli 56 kappaletta, joista myös pakkausista otettiin mittaukset 18:sta. Tämä osittain selittää myös, miksi pakkausmittausten kuvaajat eivät selittäneet läheskään yhtä hyvin tuloksia, kuin paahtopuolen tulokset, joissa oli mittauksia huomattavasti enemmän. Kosteuden keskiarvo paahtopuolella oli M5 (ylittää ohjearvon M2) ja keskihajonta 0,124 (5,3 % keskiarvosta). 95 % luottamusväliksi kosteudelle saadaan M6. Pakkauspuolella kosteuden keskiarvo oli M7 (jälleen, ylittää ohjearvon M4 lähestyy jo maksimia M3) ja keskihajonta 0,085 (2,48 % keskiarvosta), 95 % -luottamusväliksi M8 (huom. näytekoiko vain 18). Värin kohdalla huomataan paljon tasaisempaa tulosta: Paahtopuolen värimittausten keskiarvo oli 21,79 ja keskihajonta 0,191 (0,88 % keskiarvosta), 95%-luottamusväli 21,737 - 21,839. Pakkauspuolella keskiarvo oli 21,44 ja keskihajonta 0,095 (0,44 % keskiarvosta), 95%-luottamusväli oli 21,392 - 21,486 (huom. näytekoiko vain 18). Näistä huomaamme, että väri tummuu noin 0,4 ja kahvi imee kosteutta noin prosentin lisää. [1, 2, 3, 4, 8]

3.1.2 Syöttöveden määrän vaikutus kosteuteen

Syksyllä 2014 suoritetuissa mittauksissa tutkittiin paahton loppulämpötilan sijaan sitä, miten syöttöveden määrä vaikuttaa prosessikosteuteen. Lämpötila-mittausten jälkeen oli huomattu kuinka vähän lämpötila vaikuttaa kosteuteen, joten oli järkevää olettaa,

että syöttövesi olisi suurempi vaikuttaja. Tässä osiossa huomioidaan vain syksyn tulokset, joissa säädettiin syöttöveden määrää. [1, 2, 3, 4]

Kuten kuvasta 7 huomataan, on tuloksissa selvästi riippuvuutta, mutta myös paljon hajontaa, josta johtuu suhteellisen alhainen selitysaste, 0,2862. Korrelaatiokertoimeksi saatiin 0,5350, eli positiivinen korrelaatio (nouseva suora). Tarkistetuksi selityskertoimeksi saatiin regressio analyysi-makrolla 0,2608 (taulukko 1). P-arvoksi saatiin erittäin pieni $2,13 \cdot 10^{-5}$, joten voidaan varmasti todeta, että syöttövedellä on merkitystä paahtokosteuteen, ja että malli on merkittävä. F-testin arvoksi saatiin 21,4708 (taulukko 2). [Liite 5]

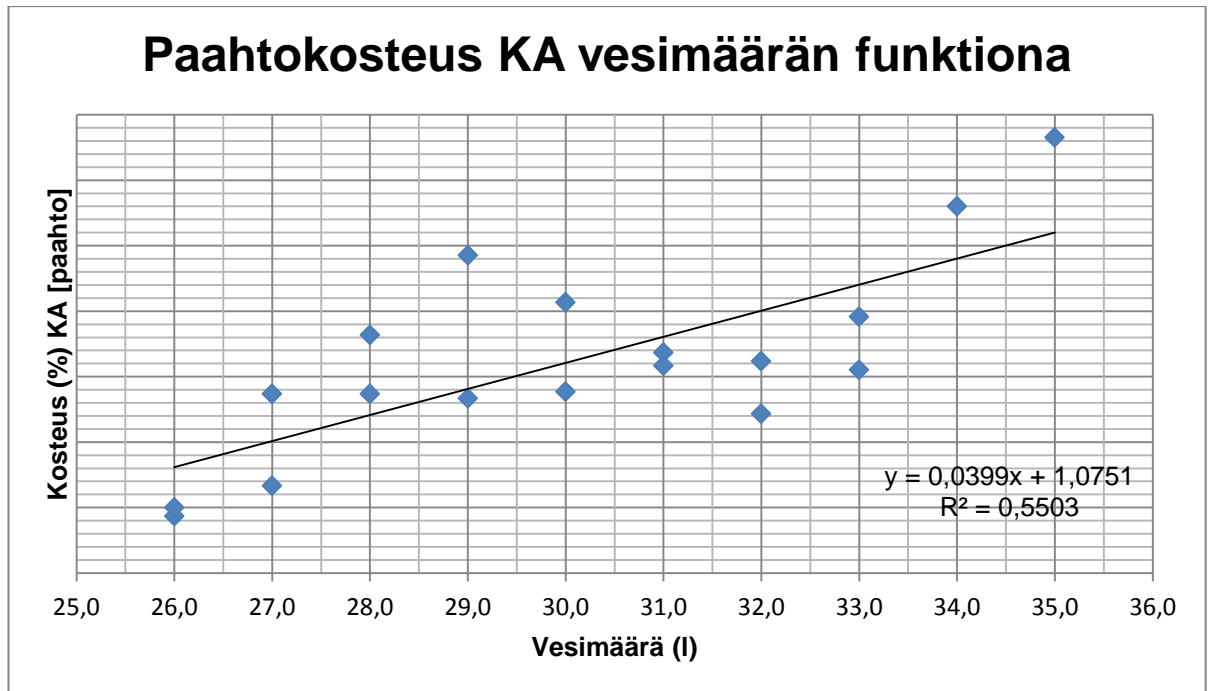


Kuva 7. Paahtokosteus syöttöveden määrän funktiona

Regressiotunnusluvut	
Kerroin R	0,52308228
Korrelaatiokerroin	0,273615072
Tarkistettu korrelaatiokerroin	0,260871476
Keskivirhe	2,290423842
Havainnot	59

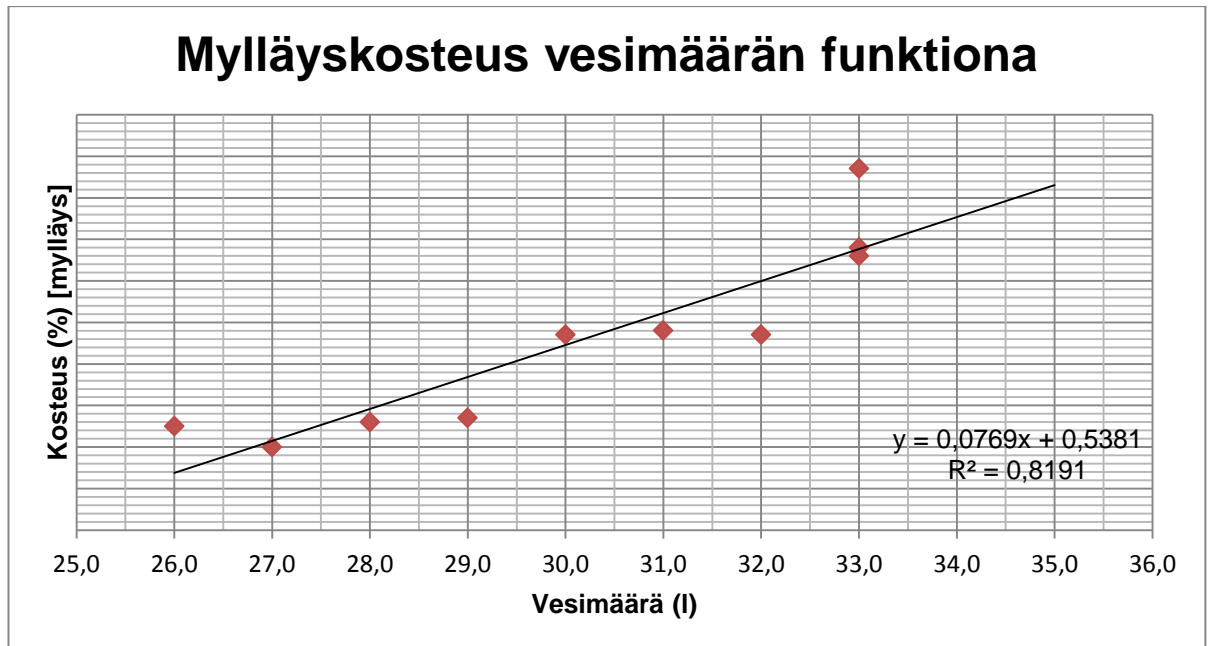
Taulukko 1. Regression tunnusluvut syöttövesi-kosteus, liite 5

Jos eliminoidaan tuloksista samalle X-arvolle olevat Y-arvot, eli jokaista syöttöveden litramäärää vastaa vain yksi kosteuden arvo (per mittauspäivä), käyttämällä kosteuden keskiarvoja jokaiselle lämpötilalle, saatiin alla oleva kuvaaja (kuva 8). Kuvaajassa on kahden mittauspäivän tulokset, yksi piste kuvaa sen päivän vesimäärän kosteuden keskiarvoa (kaksi Y arvoa per X arvo). Tällä eliminoidaan normista paljon poikkeavien tulosten vaikuttavuus kuvaajaan ja korrelaatioon. Korrelaatiokertoimeksi saatiin näin 0,7418 ja selittävyyskertoimeksi hyväksyttävä 0,5503. Kun katsotaan pisteiden sijaintia, voidaan kuvitella, että kolmannen asteen polynomisen kaava sopisi paremmin kuvaajaksi, mutta tämä voidaan olettaa olevan sattumaa. Näiden kahden kuvaajan (kuvat 7 ja 8) perusteella voidaan päätellä, että jos halutaan alittaa kosteuden ohjearvo M2 olisi sopiva syöttöveden määrä 28 litraa tai alle. [1, 2, 3, 4]



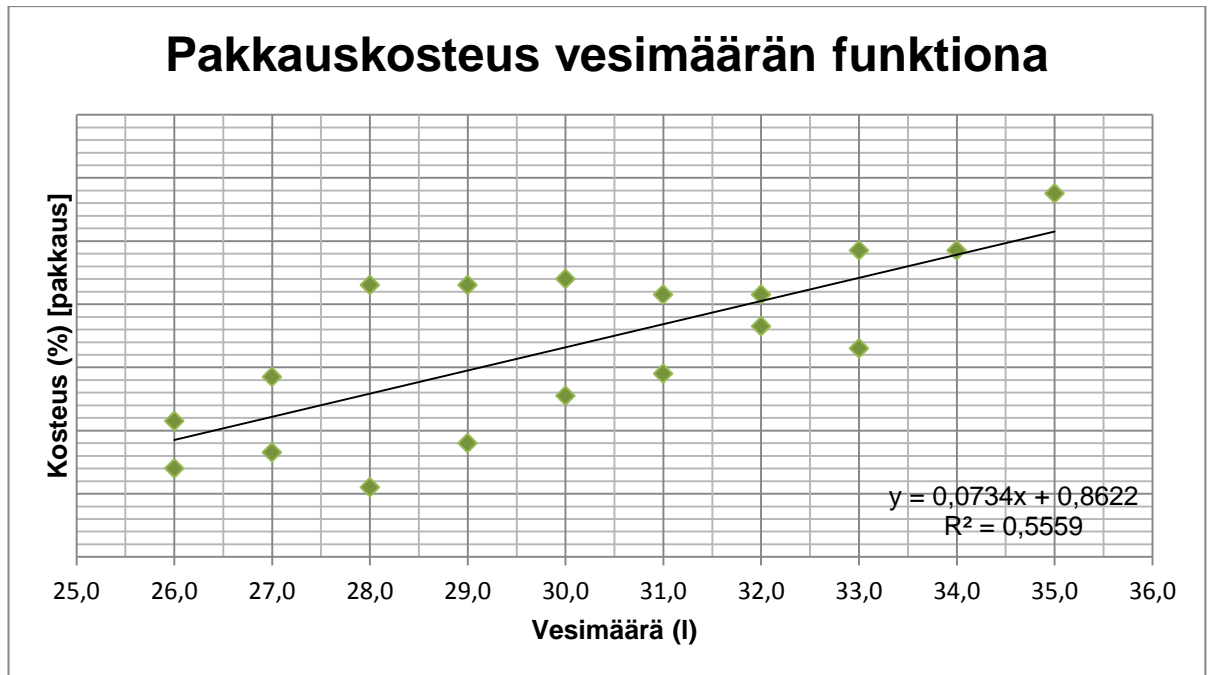
Kuva 8. Paahtokosteuksien keskiarvo syöttöveden määrän funktiona

Kun tarkastellaan syöttöveden vaikutusta mylläyskosteuteen (kuva 9), riippuvuus on selvempi. Tämän voidaan olettaa johtuvan kosteuden tasoittumisesta, kun paahtetut pavut ehtivät seisomaan tunteja (riippuu päivän paahtusaikataulusta sekä muista seikoista). Korrelaatiokertoimeksi saadaan 0,9051 ja selitysasteeksi 0,8191, joka on erittäin hyvä, mutta selittyy osittain näytekoon (9 kpl). Mylläyskosteus nousi keskimäärin M9 prosenttiyksikköä paahton jälkeisistä mittauksista. [1, 2, 3, 4]



Kuva 9. Jauhatuskosteus syöttöveden määrän funktiona

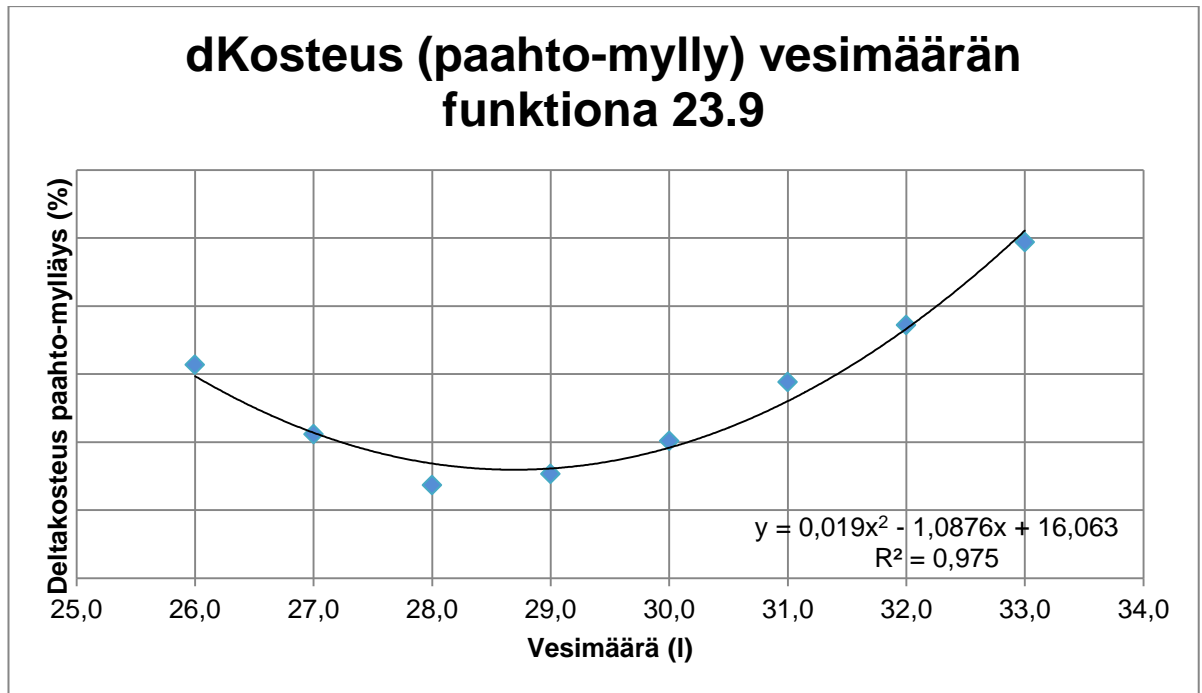
Pakkauskoosteuksia tarkastellessa näyteko (18 kpl) kasvaa hieman, joten selitysasteikin heikkenee 0,5559 (kuva 10). Korrelaatiokertoimeksi saadaan 0,7456. Keskimäärin kosteus kasvaa mylläysmittauksista M10 prosenttiyksikköä, eli hyvin vähän. Ero paahdon jälkeisten mittausten ja pakkausmittausten välillä on keskimäärin M11 prosenttiyksikköä näissä mittauksissa. Vaikka värin muutos onkin suhteellisen irrelevanttia näissä mittauksissa, se tummui 0,51 paahdon jälkeisten mittausten ja pakkauksista otettujen näytteiden välillä (verraten kesän mittausten 0,4 tummumiseen). Kaikki mitatut (kosteus-)arvot ylittävät ohjearvon M3 mutta alittavat maksiarvon. Mittauksia vaadittaisiin lisää siitä mikä aiheuttaa mylläys-pakkaus-välillä kosteuden nousun. Kun syy löytyy, tämä nousun syy tulisi eliminoida. [1, 2, 3, 4]



Kuva 10. Pakkauskosteus syöttöveden määrän funktiona

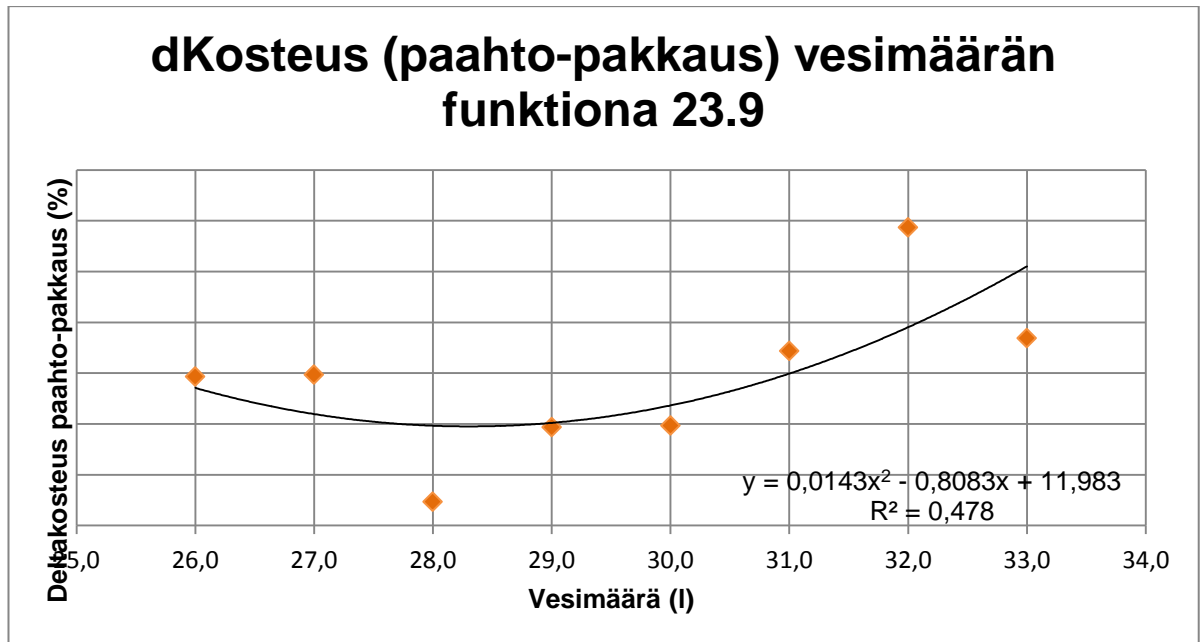
3.1.3 Deltakosteus

Kun tarkastellaan kosteuden erotuksia ensimmäisenä mittauspäivänä (23.9.2014), huomataan kiinnostavan trendi, deltakosteus (kosteuden muutos) noudattaa lähes täydellisesti paraabelia (kuva 11), selitysaste on 0,975. Näytekokoo on kyseenalainen (8 kpl), toki kolme viimeistä säiliötä on yhdistetty yhdeksi arvoksi (kaikissa 33l syöttövettä) ottamalla keskiarvo niistä. Jos kuvaajaan lisätään 22.10.2014 tehty ainoa mylläysmittaus, heikkenee selitysaste (0,5698), mutta kahden eri mittauspäivän kosteudet riippuvat jo niin paljon päivän ilmankosteudesta, ulkolämpötilasta ja muista tekijöistä, etteivät ne ole täysin vertailukelpoisia tässä tilanteessa, jossa puhutaan erotuksista ja erittäin pienistä arvoista. Näiden perusteella pienin (havaittu) kosteuden nousu tapahtuu välillä 28 - 29 litraa, joten tämän perusteella voitaisiin sitä suositella syöttöveden määräksi.



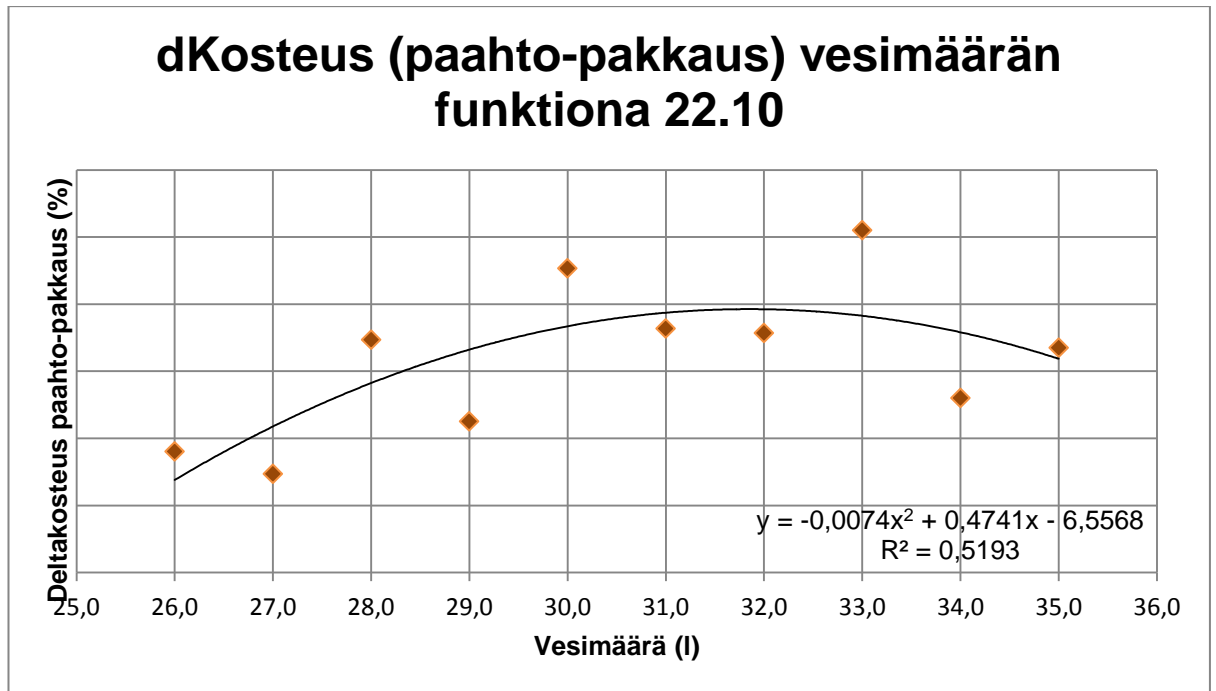
Kuva 11. Kosteuden muutos välillä paahto-jauhatus vesimäärän funktiona 23.9.2014

Sama trendi on havaittavissa 23.9.2014 pakkauskosteuksissa (kuva 12), mutta selitysaste on heikompi kuin mylläys-mittauksissa, 0,478. Jälleen 28 - 29 litraa havaitaan optimi syöttöveden määräksi. [1, 2, 3, 4]



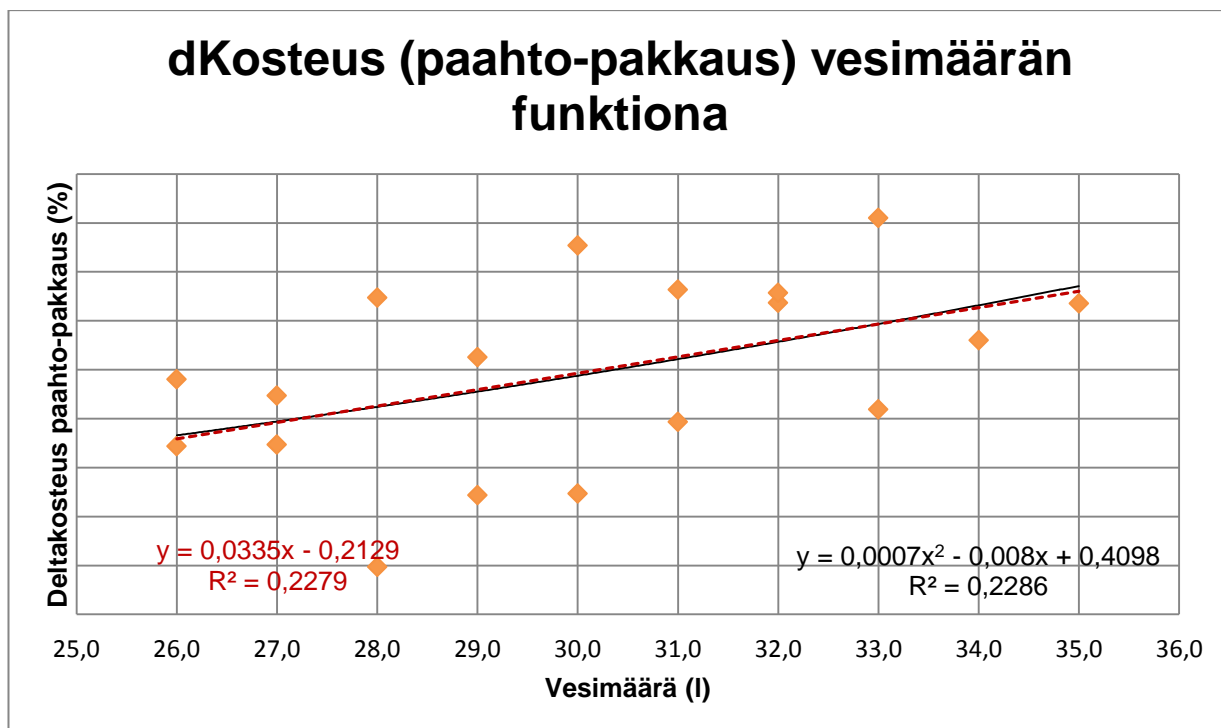
Kuva 12. Kosteuden muutos välillä paahto-pakkaus vesimäärän funktiona 23.9.2014

Edellisen kuvaajan (kuva 12) ehdottama malli on lähes päinvastainen kuin 22.10.2014 saatuihin mittauksiin sovitettu kuvaaja (kuva 13), kuvaaja on jälleen paraabeli, mutta tällä kertaa negatiivisella kertoimella (alaspäin aukeava paraabeli). On siis järkeenkäypää kyseenalaista johtuuko sovitus vain sattumasta ja näytekokojen pienestä koosta. [1, 2, 3, 4]



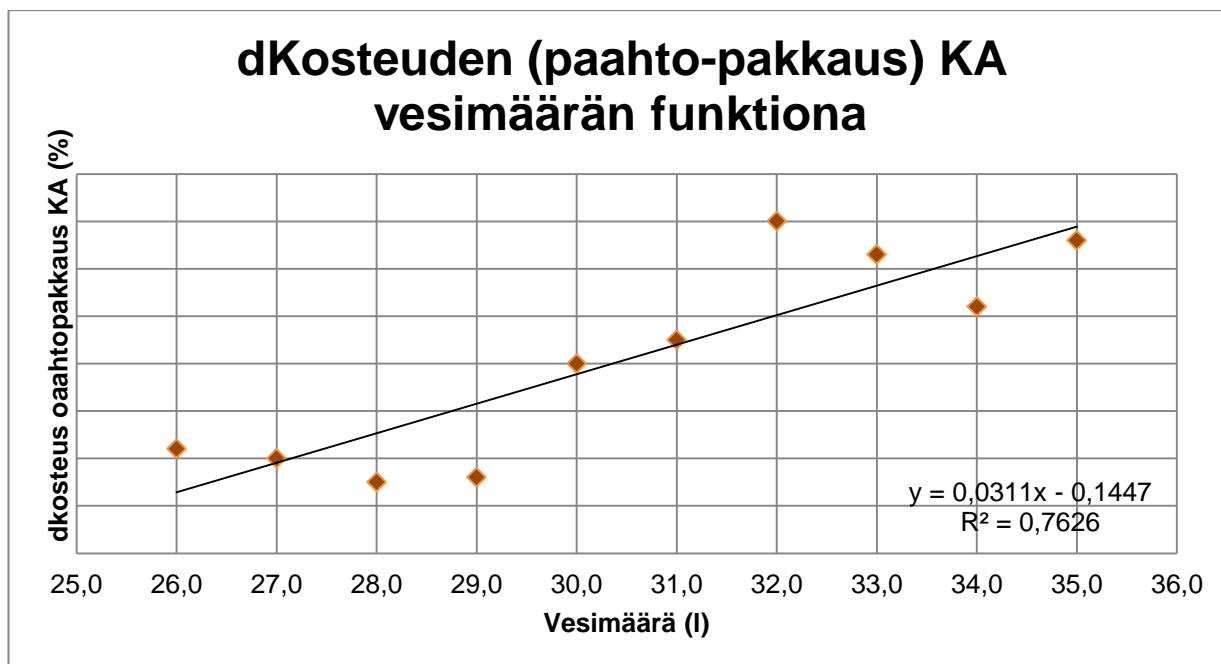
Kuva 13. Kosteuden muutos välillä paahto-pakkaus vesimäärän funktiona 22.10.2014

Kun yhdistetään molempien päivien mittaustulokset samaan kuvaan (kuva 14), paraabeli-kuvaaja (musta trendikuvaaja) on jo lähes suora (punainen katkoviiva trendikuvaaja). Tulosten perusteella syöttöveden määrän kasvatus johtaa myös kosteuden nousuun paahton jälkeen, sen lisäksi että kahvi on kosteampaa heti paahton jälkeen. Selettävyysasteiden ero on marginaalinen, joten voidaan olettaa suoran toimivan tässä yhteydessä yhtä hyvin. Eri päivien tulosten vertailu näin pienien lukujen kuvaajassa on kyseenalaista, joten tuloksista ei saada kiistatonta päätelmää. [1, 2, 3, 4]



Kuva 14. Kosteuden muutos välillä paahto-pakkaus vesimäärän funktiona, kaikki tulokset

Kun otetaan molempien päivien mittaukset, otetaan joka syöttöveden litramäärän mittaustuksista keskiarvo, joten jälleen jokaista X-arvoa vastaa yksi Y-arvo, saadaan alla oleva kuvaaja (kuva 15). Kuvaajan suora on huomattavasti siistimpi ja paremmin selitettävä (0,7626) kuin kuva 14. Osa aikaisemmista epäsäännöllisyyksistä selittyy siis pelkästään hajontana. Jälleen, kosteuden nousu on vähäisempää alemmilla syöttöveden määrillä. [1, 2, 3, 4]



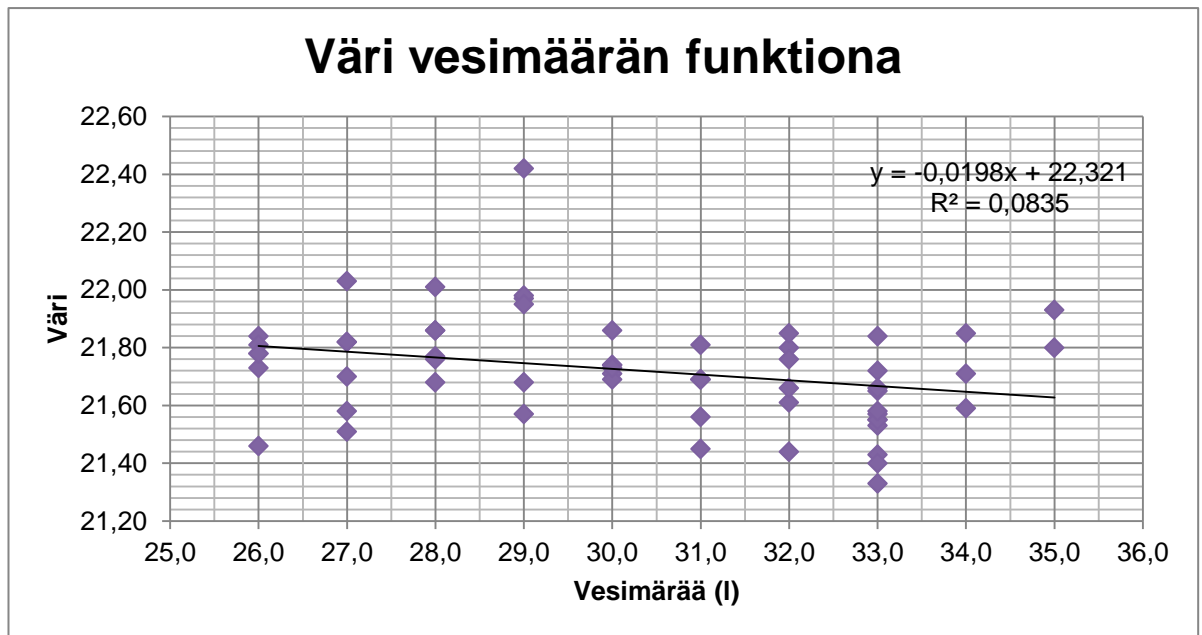
Kuva 15. Kosteuden muutos välillä paahto-pakkaus keskiarvot vesimäärän funktiona, kaikki tulokset

3.1.4 PK II syksyn yhteenveto

Syksyn mittauksissa kertyi paahtomittauksia 59 kappaletta ja pakkauksista otettuja mittauksia 18 kappaletta. Kuvaajat olivat selittävämpiä kuin lämpötilamittaukset, varsinkin pakkauspuolen mittauksista tehdyt, joka toki selittyy pienellä näytekoolla. Kosteuden keskiarvoksi kertyi M12 (toki vesimäärää ajettiin eri arvoilla), keskihajonta 0,185 (8,11 % keskiarvosta). Väriin keskiarvoksi tuli 21,72, keskihajonnaksi 0,18 (0,85 % keskiarvosta), väriin 95%-luottamusväli 21,7167 - 21,7254. Väriin vaihtelu vesimäärää säädettyäessä on hyvin tärkeä huomio, koska huomataan, että jos ohjeistusta muutetaan syöttöveden suhteen, ei se juurikaan vaikuta lämpötila-säätöihin. Väriin ohjearvo on paahton jälkeen 21,8 - 22,3, mutta kahvi olisi hyvä paahtaa tämän haarukan alakanttiin, eli 21,72 on täysin hyväksyttävä tulos. Pakkauspuolen kosteuden keskiarvoksi saatiin M13 ja väriin 21,32 (luottamusväli 21,2922 - 21,3438).

Vaikkei väri olekaan pääpainona tässä työssä, tarkastellaan syöttöveden määrän vaikutusta kahvin väriin paahtovaiheessa (kuva 16). Korrelaatiokertoimeksi saatiin -0,2890 (laskeva suora) ja selitysasteeksi 0,0835. Käyttämällä aikaisemmin käytettyä keskiarvo-metodia, saatiin selityskertoimeksi marginaalisesti parempi 0,1121. Tästä voidaan

päätellä, että riippuvuus on hyvin heikko, aivan kuten lämpötilan vaikutuksessa kosteuteen. [1, 2, 3, 4, 8]



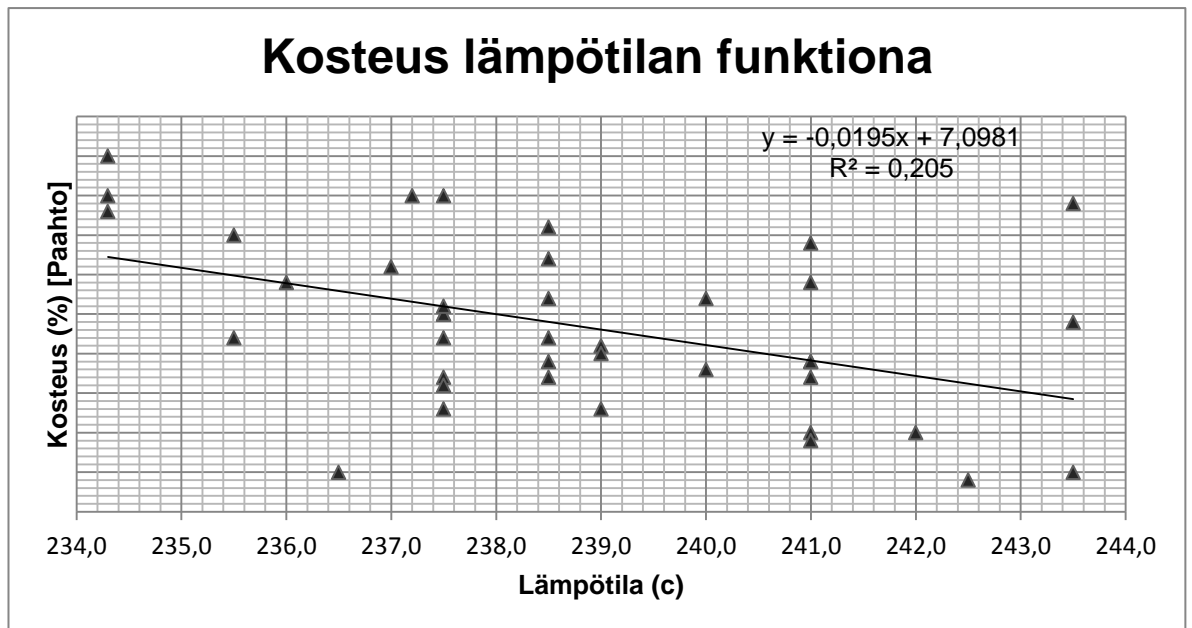
Kuva 16. Väri syöttöveden määrän funktiona

3.2 Paahtokone III

Paahtokoneella III suoritetuista mittauksista osa tehtiin kesällä (27.8.2014), osa 24.9.2014. Yhteensä mittauspisteitä kertyi 40 kappaletta. Paahtokoneella III kosteussäätö on mahdotonta valvomosta käsin, sekä erittäin hankalaa, joten päädyttiin käyttämään III:lla vain lämpötilaa säätökeinona, kuten normaalissa paahtotoiminnassa. Pakkaus- ja mylläyskosteuksia ei ole myöskään kirjattu ylös tarpeeksi, jotta niistä pystyttäisiin tekemään johtopäätöksiä. Tästä johtuen käytetään vain paahtokosteuksia paahtokoneella III, jonka ei pitäisi olla ongelma, koska kosteusarvot heittelivät paljon rajummin paahtokoneen II paahto- ja pakkauskosteuksien välillä.

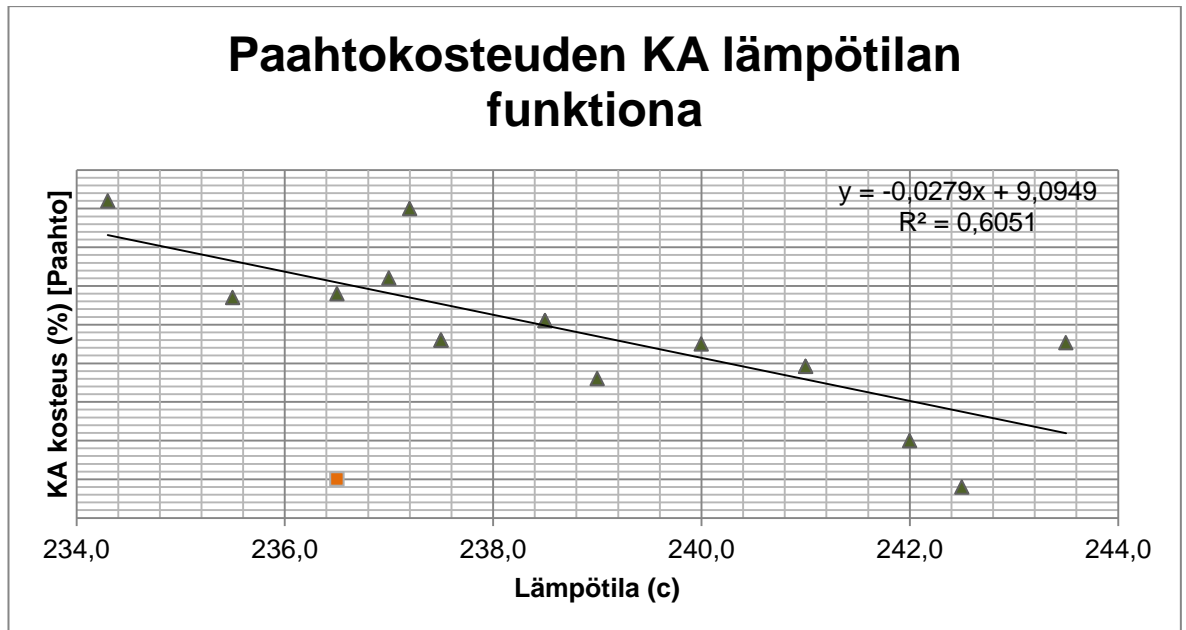
Huomataan heti sama trendi kuin paahtokoneella II: kuumemmaksi paahtaessa kosteuden määrä vähenee. Tuloksissa on hajontaa (kuva 17), mutta paljon vähemmän kuin paahtokoneen II vastaavassa kuvaajassa (kuva 3, s.9). Korrelaatiokertoimeksi saatiin -0,4528, eli kuten PK II paahtokosteus syöttöveden määrän funktiona kuvaajasta (kuva 7, s.12) voidaan huomata, on lämmöllä negatiivinen korrelaatio kosteuteen (laskeva suora). Selitysaste on III-koneen kohdalla noin 0,2 verrattuna paahtokoneen II

heikkoon 0,02. Paahtokoneen III lämpötila selittää siis kosteuden noin kymmenen kertaa paremmin kuin paahtokoneella II. [1, 2, 3, 4]



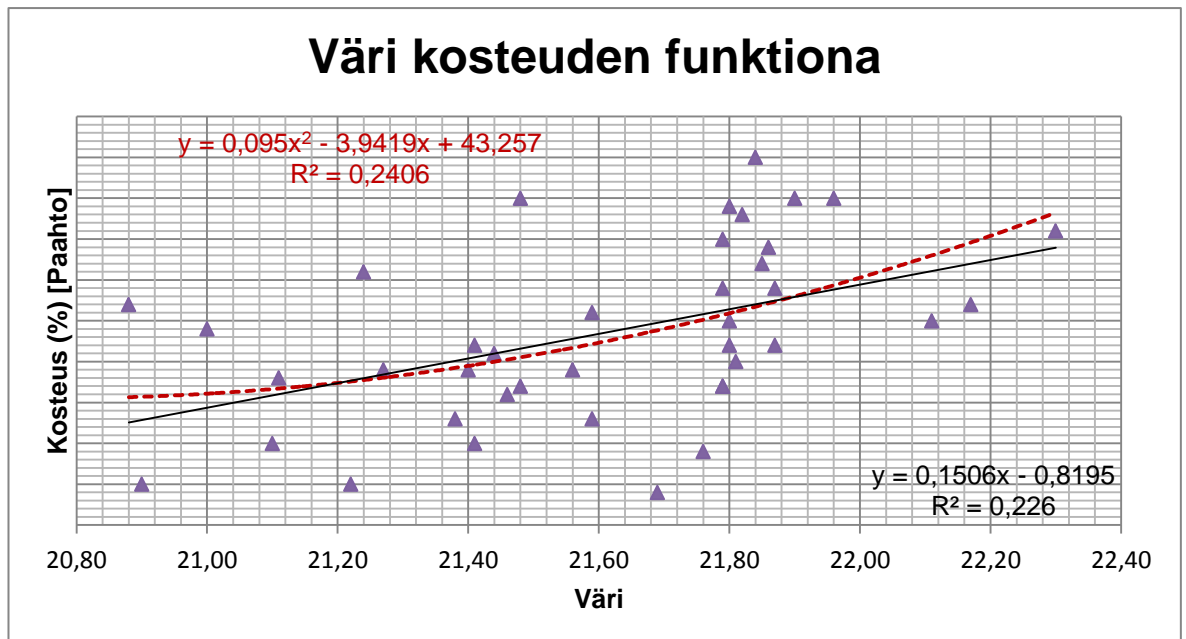
Kuva 17. Paahtokoneen III paahton jälkeiset kosteusarvot paahtolämpötilan funktiona

Jos eliminoidaan tuloksista samalle X-arvolle olevat Y-arvot, eli jokaista lämpötilaa vastaan vain yksi kosteuden arvo, käyttämällä kosteuden keskiarvoja jokaiselle lämpötilalle, saatiin alla oleva kuvaaja (kuva 18). Kuvaajasta on poistettu yksi, hyvin paljon poikkeava arvo (merkitty tumman oranssilla neliöllä). Kun näin tehdään, saadaan lämpötilan ja kosteuden keskiarvon selittävyysaste jo 0,6151, joten kun eliminoidaan turha melu tuloksista, lämpötila selittää jo hyvin paahtokosteutta paahtokoneella III. Tulosten perusteella voidaan suositella kahvi paahtettavan mahdollisimman kuumalla loppulämpötilalla, toki huomioiden värin pysymisen sopivissa rajoissa. [1, 2, 3, 4]



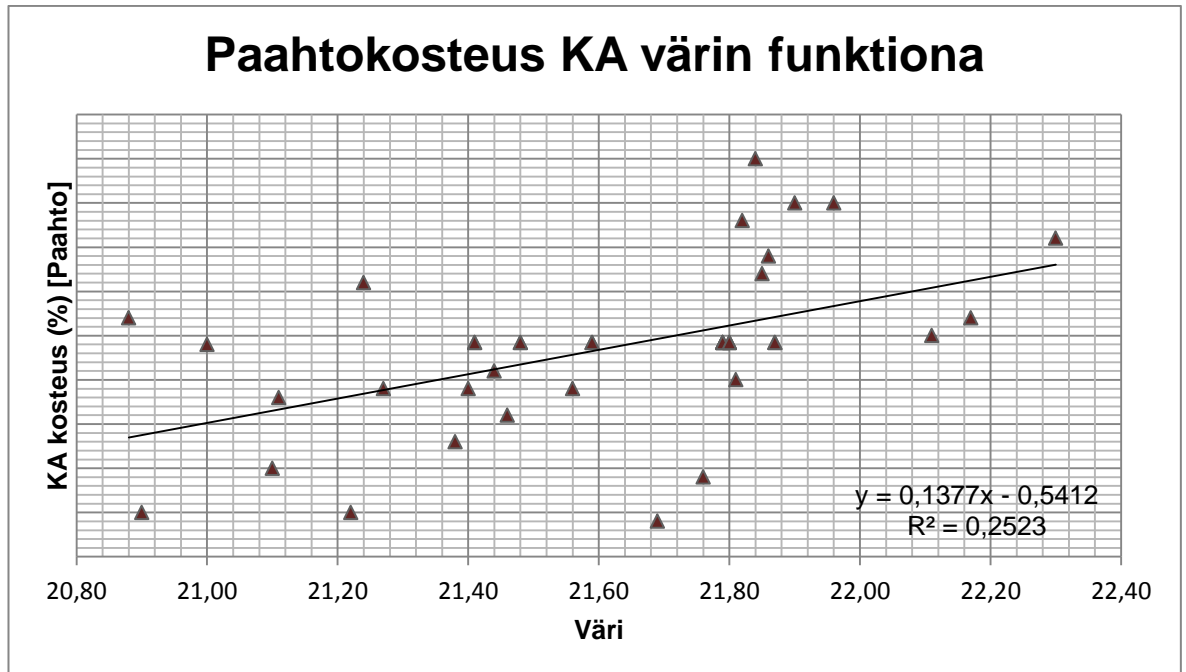
Kuva 18. Paahtokoneen III paahton jälkeisten kosteusarvojen keskiarvo paahtolämpötilan funktiona

Väri toimii marginaalisesti parempana selittäjänä kuin lämpötila kosteudelle (kuva 19), aivan kuten paahtokoneella II (kuva 4, s. 9). Korrelaatiokertoimeksi saatiin 0,4754 (nouseva suora) ja selitysasteeksi (suoralle) 0,2260. Selitysaste saatiin hieman paremmaksi (0,2406) käyttämällä paraabelia (merkitty punaisella) suoran sijaan (kuva 19). [1, 2, 3, 4]



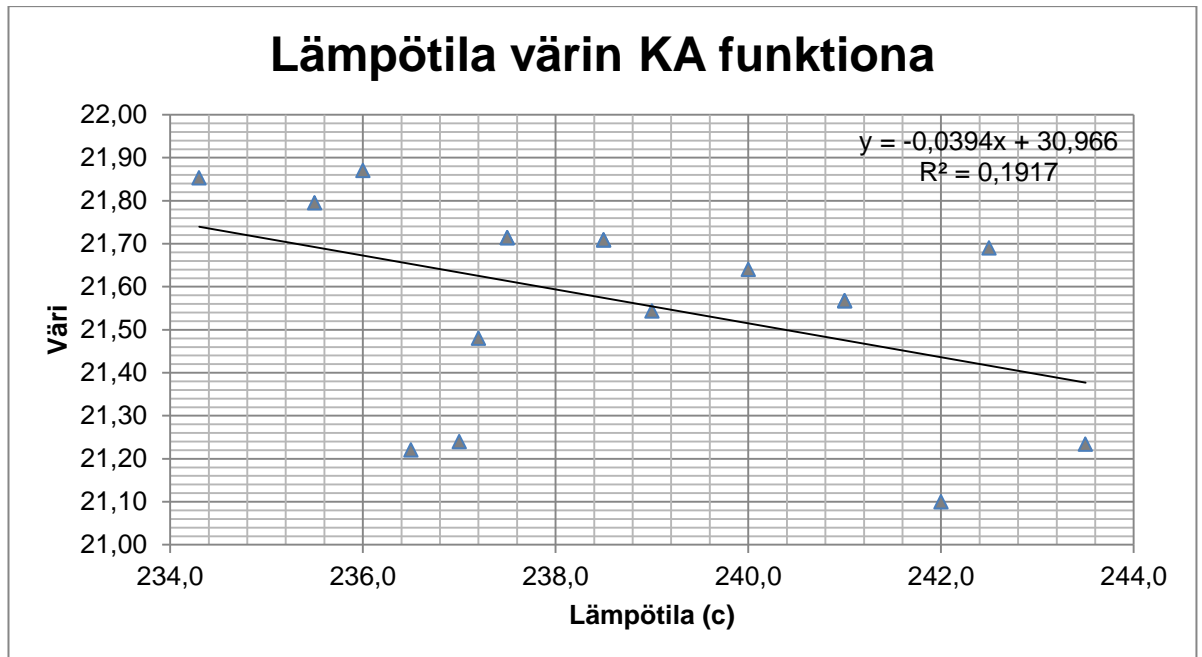
Kuva 19. Paahtokoneen III paahton jälkeiset kosteusarvot paahton jälkeisen värin funktiona

Tässä kuvaajassa (kuva 20) jälleen eliminoitiin kaksoisarvot X-akselilta käyttämällä samaa metodia kuin aikaisemmin lämpötilan suhteen, eli otettiin keskiarvot kosteuksista, jotka vastasivat samaa väriarvoa. Toisinkuin lämpötilassa, tässä parannus ei ollut yhtä merkittävä, koska samanlaista päällekkäisyyttä kuin lämpötiloissa ei ole väriarvoissa, joten selittävyysaste nousi vain hieman, 0,2523 asti. [1, 2, 3, 4]



Kuva 20. Paahtokoneen III paahton jälkeisten kosteusarvojen keskiarvo paahton jälkeisen värin funktiona

Vaikkei lämmön riippuvuus olekaan tämän työn pääpainona, tarkastellaan sitä lyhyesti, jotta voidaan selittää hieman lämpö-kosteus ja väri-kosteus riippuvuuksien eroja: korrelaatiokerroin on -0,3634 ja selittävyysaste 0,1320. Eliminoitiin jälleen turha melu tuloksista käyttämällä keskiarvo-metodia (kuva 21). Värin 95%-luottamusväliksi saatiin PK III paahtoissa 21,499 – 21,716. [1, 2, 3, 4]



Kuva 21. Paahtokoneen III paahton jälkeisten värien keskiarvo paahtolämpötilan funktiona

Tällä saadaan selittävyysaste nousemaan 0,1917, joka ei sekään ole kovin merkittävä (kuva 21). Koska käytännön kautta tiedetään, että lämpötila on hyvin merkittävä tekijä kahvin värin (paahtoasteen) suhteen, voidaan päätellä, että tuloksiin vaikuttaa muitakin tekijöitä. Tulokset eivät myöskään huomioi paahtokoneen III alipaahtoa. Tuloksista saataisiin myös parempia, jos lämpötilaa nostettaisiin pikkuhiljaa, ja joka askelmalta otettaisiin esimerkiksi 2 - 5 näytettä, mutta käytännössä olisi mahdotonta, koska kahvista pitää myös saada myyntikelpoista laatua. [1, 2, 3, 4]

4 Päätelmät

Jos mittauspäiviä olisi useiden kuukausien ajalta ja mittauspisteitä olisi satoja, saataisiin tarkempia tuloksia, mutta jo näillä mittauksilla saadaan tiettyjä johtopäätöksiä vedettyä.

Kesän mittauksissa havaittiin selvästi sekä paahtokosteuksien, että pakkauskosteuksien ohjearvon ylityksiä lähes säännönmukaisesti, joten toimenpiteisiin on ryhdyttävä. Viimeisimmän mittauksen aikaan valvomossa olikin otettu jo ohjeeksi käyttää syöttövedessä 28 litran arvoa, aikaisemman 33 litran sijaan.

Paahtokoneen II osalta saatiin tuloksia lämpötilan säädön ja syöttöveden säädön vaikutuksista paahto-, mylläys- ja pakkauskosteuksiin. Tuloksista huomattiin, että syöttöveden säädöllä saadaan aikaiseksi muutosta edellä mainittuihin kosteuksiin (kuvat 7, 8, 9 ja 10; s. 12-15). Lämpötilan vaikutus huomattiin vähäiseksi, joten sitä ei voida sanoa sopivaksi säätömenetelmäksi kosteuden suhteen (kuvat 3, 4, 5 ja 6; s. 9-11). Huomattiin myös, että näiden kahden seikan lisäksi muut asiat, oletettavasti ulkoiset tekijät, kuten papujen alkuperäinen kosteus, laatu ja alkuperä, ulkoilman lämpötila sekä ilman kosteus vaikuttavat osaltaan paahtetun pavun kosteuteen. Huomattiin myös, että pavut imevät kosteutta itseensä paahton jälkeen seistessään lähes prosenttiyksikön lisää.

Optimi syöttöveden arvoksi saatiin noin 28 litraa, millä saatiin paahtokosteus ohjearvon M2 alle. Osassa tuloksissa myös havaittiin, että kosteuden erotus välillä pakkauspaahto on vähäisintä tällä välillä (28 - 29 l), mutta nämä tulokset ovat pienestä näytekoosta sekä eri mittauspäivien tulosten vertailun takia kyseenalaisia (kuvat 11, 12, 13, 14 ja 15; s. 12-19). Silti pakkauskosteus ylittää ohjearvonsa, johtuen noin prosenttiyksikön kosteuden noususta paahton jälkeen. Jos mahdollista, olisi kannattavaa tutkia seisonta-ajan (papusäiliöissä) merkitystä kosteuden imeytymiseen. Sopivaksi paahtetun kahvin väriksi kosteuden kannalta havaittiin 21,60 - 21,80, johon paahtajat muutenkin pyrkivät, joten sen osalta ohjeistus ei vaadi muutoksia.

Paahtokoneella III ei ole tuloksiltaan läheskään yhtä huolestuttava kuin PK II, mitatut pakkauskosteudet olivat M4 alle (95%-luottamusväli: M14) mikä on hyväksyttävä tulos. Paahton jälkeiset kosteudet ovat hieman koholla (yli M15) joten on suositeltavaa tutkia syöttöveden määrän mahdollista laskemista (niin hankalaa kuin se onkin käytännössä)

ja tutkia sen vaikutusta kosteuteen. Jos väri saadaan pysymään rajoissa, saadaan kosteuskin pysymään suurin piirtein rajoissaan.

5 Virhearviointi

Mittauksia suoritettiin joka mittauskohdasta vain yksi kappale. Luotettavampiin tuloksiin päästäisiin esimerkiksi ottamalla joka mittauspisteestä kolme näytettä, mutta koska valvomossa on vain yksi kosteusmittari, ja mittausaika on lähemmäs kaksi minuuttia, ei käytännössä ole mahdollista mitata niin monta näytettä päivän aikana muun paahdon ohessa. Koska kosteusmittarin toiminta perustuu näytteen kuumentamiseen, on kyseenalaistettava miten mittarin jatkuva käyttö vaikuttaa loppupään tuloksiin, kun mittari käynyt kuumana jatkuvasti monta tuntia.

6 Kehitysehdotukset

6.1 Automaatoratkaisut

Paras malli olisi saada jatkuvia, online-mittauksia paahdon jälkeen, sekä jauhatuksen jälkeen, mitkä voitaisiin näyttää valvomo-ohjelmassa, sekä lisätä logiikalle toimintoja, jos arvot ovat liian korkeita (esimerkiksi syöttöveden automaattinen säätö tai varoitusnäyttö valvomoon). Instrumenttia voitaisiin päivittää kalibroida käyttäen jo olemassa olevia kosteusmittaus-metodeja.

Mikroaaltorezonanssi-metodi vaikuttaa lupaavalta tavalta suorittaa jatkuvia mittauksia paahtoprosessissa. Sen hyviä puolia ovat:

- Tarkka, nopea mittaus
- Ei tuhoa tai vaikuta tuotteeseen
- Kalibraatio on pitkäaikainen ja vakaa
- Väri, tiheys ja paino eivät vaikuta mittaukseen
- Ei vaadi erikseen jauhatusta.

[9, 10]

Mittaus perustuu siihen, että instrumentti lähettää pienellä virralla (maksimissaan 10 mW) sähkömagneettista kenttää, joka vaihtaa polariteettia suurella taajuudella (enemmän kuin 1000 miljoonaa kertaa sekunnissa, >1 GHz), johon vesimolekyylit reagoivat koska ovat niin pieniä, ja ne sisältävät vahvan dipoli-sidoksen. Tästä johtuen vesimolekyylit ehtivät reagoida polariteetin muutoksiin, alkavat oskilloida ja pyöriä ulkoisien magneettikenttien mukana. Tämä taas vaikuttaa ulkoiseen, instrumentin muodostamaan kenttään tavalla, joka voidaan mitata. Tästä instrumentti taas laskee näytteen kosteuspitoisuuden:

$$MW = \arctan \frac{\Delta B}{\Delta f} = \frac{B}{A} = \arctan \frac{W_m - W_0}{f_0 - f_m} \quad (1)$$

Kaavassa 1 MW on näytteen kosteus, ΔB (parametri B) on taajuuden puoliarvonleveyden muutos hertseissä, Δf (parametri A) on resonanssitaajuuden muutos hertseissä, f_0 tyhjän näytteen resonanssitaajuus hertseissä, W_0 on tyhjän näytteen resonanssin puoliarvonleveys hertseissä, W_m mitattavan näytteen resonanssin puoliarvonleveys hertseissä. [9, 10]

Mittaus voidaan sijoittaa putkeen tai sen ympärille, ja näytteen paksuus pitää vain olla noin 3 - 5 senttimetriä, eli esimerkiksi putki tai linja, jossa paahdettu kahvi saadaan kulkemaan ohuena kerroksena. [9, 10]

Toinen mahdollinen tapa olisi tehdä linjasta/putkesta haarautuva osa (mahdollisesti avautuva luukku), jossa tehtäisiin vastaava haihdutukseen perustuva kosteusmittaus kuin valvomossa, mutta automaattisesti. Mittaukset tulisivat logikalle ja valvomosoftaan. Tämä olisi hankalampi ratkaisu toteuttaa, mutta todennäköisesti halvempi. Ehdotuksena:

- Avautuva luukku servolla jauhatuksen jälkeen, joka aukeaa haarautuvaan mittaus-putkeen
- Pieni haara pää-kuljetusputkesta
- Haihdutuskammio ja kosteusmittari online-yhteydellä
- Kammion tyhjennys luukusta hävitysputkeen ja paineilmalla kammion puhdistus.

6.2 Henkilöstön ohjeistus

Luvun 4 (s. 27) perusteella tulisi ohjeistusta PK II osalta vaihtamaan 33 litran syöttöveden määrästä 28 litraan ja tarkkailemaan paahtokosteuksia. Jos rajat vieläkin ylittyvät, voi vesimäärää vielä laskea. Paahtokoneen II kosteuksien muutosta tulisi myös tarkkailla ja jos kahvi jatkaa kosteuden imemistä paahton jälkeen syöttöveden laskusta huolimatta, pitää tarkastella miksi näin tapahtuu. Lämpötilaa ei kosteuden vuoksi tarvitse muuttaa, jos väri pysyy rajojen sisällä, mieluiten vielä tummanpuolelle ohjerajoja, eli noin 21,60 - 21,80.

Paahtokoneen III osalta kosteustasoja kannattaa seurata, muttei tehdä muutoksia parametreihin. Jos kosteus tulee ongelmaksi, kunnossapidon kanssa voitaneen miettiä syöttöveden määrän säätämistä paahtokoneelta. Syöttöveden määrä voidaan säätää samalla tarkkaillen valvomosta miten paahtokosteudet reagoivat säätöön. Paahtokoneen III osalta kuitenkin tilanne on monimutkaisempi verrattuna PK II.

Lähteet

1. Mellin, Ilkka. 2006. Tilastolliset menetelmät: Lineaarinen regressioanalyysi. <http://math.aalto.fi/opetus/sovtoda/oppikirja/Regranal.pdf>, luettu 12.11.2014
2. Regressioanalyysi, KvantiMOTV. <http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/regressio/analyysi.html>, luettu 12.11.2014
3. Taavitsainen, Veli-Matti. 2010. Tilastomatematiikan peruskurssin opintomoniste. s. 34 - 76
4. Karjalainen, Leila. 2004. Tilastomatematiikka
5. Meira Oy yritystiedot ja historiaa. www.meira.fi/yritys, luettu 15.9.2014
6. Suomalaisten vuosittainen kahvinkulutus, Kahvinet, <http://kahvinet.virtual35.nebula.fi/index.php?k=110973>, luettu 30.9.2014
7. Heikkinen, Jari-Pekka. 2004. Paahtoparametrien vaikutus ominaispainoon. Espoo-Vantaan ammattikorkeakoulu. s. 19-21
8. Launonen, Sorvali, Toivonen. 1996. Teknisten ammattien matematiikka 3E. WSOY
9. Claudia C. Corredor, Dongsheng Bu, Douglas Both. 2011. Comparison of near infrared and microwave resonance sensors for at-line moisture determination in powders and tablets. Analytica Chimica Acta. http://microsite.sartorius.com/fileadmin/Image_Archive/microsite/PAT/pdf/App1_Analytica_Chimica_Acta.pdf, luettu 13.10.2014
10. Microwave moisture measurement based on the resonator method, TEWS Elektronik, https://www.labmakelaar.com/fjc_documents/5789_Tews2.pdf, luettu 13.10.2014
11. Kananen, Jorma. 2011. Kvantitatiivisen opinnäytetyön kirjoittamisen käytännön opas

Liite 1: Korrelaatiokertoimet ja selitysasteet PK II

Korrelaatio vesi-paahtokosteus 0,5660	R ² vesi-paahtokosteus 0,3203
Korrelaatio vesi-KA paahtokosteus 0,7524	R ² vesi-KA paahtokosteus 0,5661
Korrelaatio vesi-väri -0,2890	R ² vesi-väri 0,0835
Korrelaatio vesi-väri KA -0,3348	R ² vesi-väri KA 0,1121
Korrelaatio vesi-mylläskosteus 0,9051	R ² vesi-mylläskosteus 0,8191
Korrelaatio vesi-pakkausosteus 0,7456	R ² vesi-pakkausosteus 0,5559
R ² deltakosteus paahto-mylläys 0,4771	0,2276

Liite 2: Regressioanalyysi vesi-kosteus PKII

YHTEENVETO TULOSTUS

<i>Regressiotunnusluvut</i>	
Kerroin R	0,52308228
Korrelaatiokerroin	0,273615072
Tarkistettu korrelaatiokerroin	0,260871476
Keskivirhe	2,290423842
Havainnot	59

ANOVA

	<i>va</i>	<i>NS</i>	<i>KN</i>	<i>F</i>	<i>F:n tarkkuus</i>
Regressio	1	112,6366586	112,6366586	21,47079	2,1331E-05
Jäännös	57	299,0243583	5,246041374		
Yhteensä	58	411,6610169			

	<i>Kertoimet</i>	<i>Keskivirhe</i>	<i>t Tunnusluvut</i>	<i>P-arvo</i>	<i>Alin 95%</i>	<i>Ylin 95%</i>	<i>Alin 95,0%</i>	<i>Ylin 95,0%</i>
Leikkauspiste	13,09669902	3,718439151	3,522095828	0,000851	5,650653059	20,54274	5,650653	20,54274
Muuttuja X 1	7,551475633	1,629700511	4,633658504	2,13E-05	4,28805665	10,81489	4,288057	10,81489

JÄÄNNÖSTULOSTUS

TODENNÄKÖISYYS TULOSTUS

<i>Havainto</i>	<i>Ennustettu Y</i>	<i>Jäännökset</i>	<i>Normalisoidut jäännökset</i>	<i>Prosenttipiste</i>	<i>Y</i>
		-			
1	26,46281089	0,462810891	-0,203828207	0,847457627	26
		-			
2	30,08751919	4,087519194	-1,800199009	2,542372881	26
		-			
3	28,87928309	2,879283093	-1,268075408	4,237288136	26
		-			
4	28,57722407	1,577224068	-0,694630916	5,93220339	26
		-			
5	27,8220765	0,822076505	-0,362053666	7,627118644	26
		-			
6	30,08751919	3,087519194	-1,359785417	9,322033898	26
		-			
7	31,14472578	3,144725783	-1,384979977	11,01694915	27
8	27,97310602	0,026893983	0,011844476	12,71186441	27
		-			
9	30,54060773	2,540607732	-1,118918176	14,40677966	27
10	28,95479785	0,045202151	0,019907641	16,10169492	27
		-			
11	30,61612249	1,616122489	-0,711176231	17,79661017	27
		-			
12	29,93648968	0,936489682	-0,412442784	19,49152542	27
		-			
13	31,82435859	-1,82435859	-0,803472319	21,18644068	28

		-			
14	31,06921103	1,069211027	-0,470895068	22,88135593	28
15	29,93648968	0,063510318	0,027970807	24,57627119	28
16	30,16303395	0,836966049	0,368611224	26,27118644	28
17	29,5589159	1,4410841	0,634673024	27,96610169	28
		-			
18	31,37127005	0,371270052	-0,163512377	29,66101695	28
19	30,16303395	1,836966049	0,809024815	31,3559322	29
20	28,87928309	3,120716907	1,374406141	33,05084746	29
21	29,93648968	2,063510318	0,90879799	34,74576271	29
22	30,38957822	2,61042178	1,149665232	36,44067797	29
23	30,54060773	2,459392268	1,083149782	38,13559322	29
24	30,38957822	2,61042178	1,149665232	39,83050847	29
25	31,9753881	1,024611897	0,451253006	41,52542373	30
26	30,61612249	2,383877511	1,049892057	43,22033898	30

27	32,73053567	0,269464334	0,118675755	44,91525424	30
28	28,19965029	4,800349714	2,114139258	46,61016949	30
29	32,57950615	0,420493847	0,185191205	48,30508475	30
30	29,5589159	3,4410841	1,515500207	50	30
		-			
31	28,87928309	2,879283093	-1,268075408	51,69491525	31
		-			
32	27,74656175	1,746561748	-0,769209532	53,38983051	31
		-			
33	29,10582736	3,105827362	-1,367848583	55,08474576	31
		-			
34	31,06921103	4,069211027	-1,792135843	56,77966102	31
		-			
35	29,48340114	2,483401144	-1,093723617	58,47457627	31
		-			
36	29,10582736	2,105827362	-0,927434992	60,16949153	31
		-			
37	31,14472578	3,144725783	-1,384979977	61,86440678	32
		-			
38	29,93648968	1,936489682	-0,852856376	63,55932203	32
		-			
39	30,61612249	2,616122489	-1,152175901	65,25423729	32
		-			
40	31,48454219	2,484542186	-1,094226148	66,94915254	32

		-			
41	31,52229956	2,522299565	-1,11085501	68,6440678	32
		-			
42	31,44678481	2,446784808	-1,077597285	70,33898305	32
43	29,33237163	0,667628369	0,294032608	72,03389831	33
44	29,78546017	0,214539831	0,094486257	73,72881356	33
		-			
45	30,61612249	0,616122489	-0,271348718	75,42372881	33
46	29,5589159	1,4410841	0,634673024	77,11864407	33
47	30,16303395	0,836966049	0,368611224	78,81355932	33
48	30,91818151	0,081818486	0,036033973	80,50847458	33
49	29,78546017	2,214539831	0,975313441	82,20338983	33
50	30,54060773	1,459392268	0,64273619	83,89830508	33
51	30,46509298	1,534907024	0,675993915	85,59322034	33
52	31,14472578	1,855274217	0,817087981	87,28813559	33
53	29,78546017	3,214539831	1,415727032	88,98305085	33
54	29,5589159	3,4410841	1,515500207	90,6779661	33
55	30,23854871	3,761451293	1,656594273	92,37288136	34
56	32,20193237	1,798067628	0,791893422	94,06779661	34
57	33,7122275	0,287772502	0,126738921	95,76271186	34
58	33,93877177	1,061228233	0,467379338	97,45762712	35
59	31,74884383	3,251156166	1,431853364	99,15254237	35
