

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Kemiantekniikka

Opinnäytetyö

Lallukka Sanna

SAVEN KORRELAATIOKERTOIMEN MÄÄRITTÄMINEN

Työn ohjaaja: Kemiantekniikan koulutuspäällikkö Maarit Korhonen

Työn teettäjä: Maxit Oy Ab / Leca-soratehdas, Mikael Raita

Tampere 2008

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kemiantekniikan koulutusohjelma

Kemiantekniikka

Lallukka, Sanna

Saven korrelaatiokertoimen määrittäminen

Opinnäytetyö

20 sivua

Työn ohjaaja

Kemiantekniikan koulutuspäällikkö Maarit Korhonen

Työn teettäjä

Maxit Oy Ab / Leca-soratehdas, valvoja Mikael Raita

Helmikuu 2008

Hakusanat

Leca-sora, korrelaatiokerroin

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää korrelaatiokerroin savelle, jota käytetään Leca-soran valmistamisessa Kuusankosken leca-soratehtaalla.

Opinnäytetyössä on määritetty korrelaatiokerroin kahdella erilaisella menetelmällä. Ensimmäisessä menetelmässä on otettu käyttöön kahdeksan kuukauden laboratoriossa tehtyjen mittausten tulokset saven raetiheydestä sekä prosessin antamat tiedot tuotantopainoista ja näitä on vertailtu keskenään. Toisena menetelmänä oli näytteenotto uuniin menevästä savesta sekä uuninluukusta otettu näyte, joita vertailtiin keskenään.

Tutkimusmenetelminä on käytetty prosessin antamien tietojen tutkimista sekä laboratoriotestien hyödyntämistä.

Ensimmäisellä testausmenetelmällä saatiin todella epäluotettava tulos. Toisella testausmenetelmällä saatiin suuntaa antava tulos, tosin sekin tarvitsisi suurempia näyte-eriä. Tämä työ tarvitsee jatkossa lisätutkimuksia, jotta saataisiin virallinen korrelaatiokerroin määritettyä savelle.

TAMPERE POLYTECHNIC

Chemical engineering

Chemistry technology

Lallukka, Sanna

Determination of correlation factor for clay

Engineering thesis

20 pages

Thesis supervisor

Head of chemical engineering programme Maarit Korhonen

Commissioning company

Maxit Oy Ab / LWA factory, supervisor Mikael Raita

February 2008

Keywords

lightweight aggregate, correlation factor

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate a correlation factor for clay that is used when Light Weight Aggregate (LWA) is produced. The investigation is done in Maxit, a LWA factory in Kuusankoski.

The correlation factor is determined two different ways. In first process results of eight months laboratory measurements of bulk density is used and they are compared to information of production weight gathered from the real process. In second method the clay that is going to kiln and the clay that is in the kiln are compared.

Research methods used in this study are investigation of the results given by the process and exploitation of the laboratory experiments

With the first method of measurement is obtained a very unreliable result. The second method of measurement gives a bit more directional result even though it would need bigger sample amounts. This study will need further investigation in future, that more precise correlation factor is determined.

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Maxit Oy Ab:n Leca-soratehtaalle. Kysyin opinnäytetyön aihetta Leca-soratehtaalta, koska olen työskennellyt kyseisessä yrityksessä viisi kesää. Aiheita löytyi useampia ja valitsin aiheeksi saven korrelaatiokertoimen määrittämisen.

Kemiantekniikan koulutuspäällikkö Maarit Korhonen on valvonut työn tekemistä TAMK:ssa ja laatupäällikkö Mikael Raita on ohjannut ja valvonut työtäni Leca-soratehtaalla.

Kiitän mainittuja henkilöitä sekä kaikkia niitä, jotka ovat olleet apuna työni tekemisessä.

Kuusankoskella helmikuussa 2008

Sanna Lallukka

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO	5
1 JOHDANTO	6
2 KORRELAATIO	6
2.1 Pearsonin korrelaatiokerroin, r	6
2.2 Pearsonin korrelaatiokertoimen matemaattinen määritelmä	7
3 LECA-SORAN TUOTANTOPROSESSI	8
3.1 Tuotteet, ominaisuudet ja reseptit	10
3.2 Tuotannonohjaus	10
4 TESTAUSMENETELMÄT	11
4.1 Hehkutushäviö (LOI) -testi	11
4.2 Raetiheyden määrittäminen	12
5 NÄYTTEEN OTTO JA ESIKÄSITTELY	12
6 MITTAUKSET	14
7 TULOKSET	16
7.1 Kahdeksan kuukauden tuloksien vertailu	16
7.2 Kahden haetun näytteen vertailu	17
8 PÄÄTELMÄT	19
LÄHTEET	20

1. JOHDANTO

Kuusankosken Leca-soratehdas on ainoa kevytsoraa valmistava yksikkö Suomessa. /7./ Kevytsoraa käytetään pääasiallisesti kevennys- ja eristemateriaalina, maan- ja talonrakentamiseen sekä runkoaineena talonrakentamiseen käytettävissä tuotteissa. Leca-sora on ympäristöystävällinen luonnontuote.

Työn tarkoituksena on määrittää korrelaatiokerroin savelle. Tässä työssä on käytetty kahta eri tapaa saven korrelaatiokertoimen määrittämiseksi. Ensin käsitellään korrelaatiokertoimen määrittämistä tavalla, jossa käytössä on kahdeksan kuukauden laboratoriomittausten tulokset ja prosessin antamat tuotantopainoarvot. Toisella kertaa mittaukset tehtiin hieman eri tavalla: näyte otettiin uuninluukusta 4 ja vertailtavana näytteenä oli uuniin menevältä syöttimeltä haettu savinäyte.

2. KORRELAATIO

Korrelaatio on tilastotieteessä ja todennäköisyyslaskennassa käytetty käsite, joka kuvaa kahden muuttujan välistä riippuvuutta. Korrelaatiokerroin tarkoittaa aineistosta laskettua havaintojen välistä riippuvuutta. Tarkalleen korrelaatiokerroin on numeerinen mitta satunnaismuuttujien väliselle lineaariselle riippuvuudelle. Riippumattomien muuttujien välillä ei korrelaatiota ole. Korrelaatio on pohjimmiltaan muuttujien kovarianssi, joka on standardoitu välille $[-1,1]$. Yleensä korrelaatiolla tarkoitetaan Pearsonin korrelaatiokerrointa, r . /8./

2.1 Pearsonin korrelaatiokerroin, r

Pearsonin korrelaatiokerroin kuvaa lineaarisen riippuvuuden voimakkuutta. Korrelaatiokerroin voi saada arvoja, jotka ovat $-1:n$ ja $1:n$ välillä. Korrelaatiokertoimen arvo on $+1$ silloin, kun kaikki hajontakaavion pisteet ovat samalla nousevalla suoralla. Korrelaatiokertoimen arvo on -1 silloin, kun kaikki

hajontakaavion pisteet ovat samalla laskevalla suoralla. Jos korrelaatiokertoimen arvo on 0, se merkitsee, ettei muuttujien välillä ole minkäänlaista lineaarista riippuvuutta. Tällöin muuttujien välillä voi kyllä olla jonkin muunlaista riippuvuutta, mutta ei lineaarista riippuvuutta. Mitään mittayksikköä ei korrelaatiokertoimeen liity, joten eri muuttujapareille laskettuja korrelaatiokertoimia voi vertailla keskenään. Lähes aina otoksesta laskettu kahden muuttujan välinen korrelaatio poikkeaa nolasta. Tähän poikkeamaan syy voi olla sattuma tai se voi olla merkinä muuttujien välisestä todellisesta lineaarisesta riippuvuudesta. Tähän ei kuitenkaan pystytä määrittämään täsmällistä rajakohtaa, jota suurempi kerroin olisi osoitus todellisesta riippuvuudesta. Jos kyseessä on pieni otoskoko, tarvitaan suurempi kerroin lineaarisen riippuvuuden osoittamiseksi.

/6./

2.2 Pearsonin korrelaatiokertoimen matemaattinen määritelmä /8 ; 5/

Satunnaismuuttujien X ja Y välinen korrelaatio $p_{X,Y}$ on määritelty:

$$p_{X,Y} = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E((X - \mu_X)(Y - \mu_Y))}{\sigma_X \sigma_Y}, \quad (1)$$

missä μ_X ja μ_Y ovat muuttujien odotusarvot sekä σ_X ja σ_Y ovat muuttujien keskivirheet.

Koska $\mu_X = E(X)$ ja

$$\sigma_X^2 = E(X^2) - [E(X)]^2 \quad (2)$$

Voidaan yhtälö kirjoittaa myös muotoon:

$$p_{X,Y} = \frac{E(XY) - E(X)E(Y)}{\sqrt{E(X^2) - E^2(X)}\sqrt{E(Y^2) - E^2(Y)}} \quad (3)$$

Korrelaatio on määritelty vain, jos molemmat keskivirheet ovat äärellisiä ja poikkeavat nolasta.

Yksinkertaisin kaava korrelaatiokertoimen, r laskemiselle on:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(y_i - \bar{y})}{nS_x S_y}, \quad (4)$$

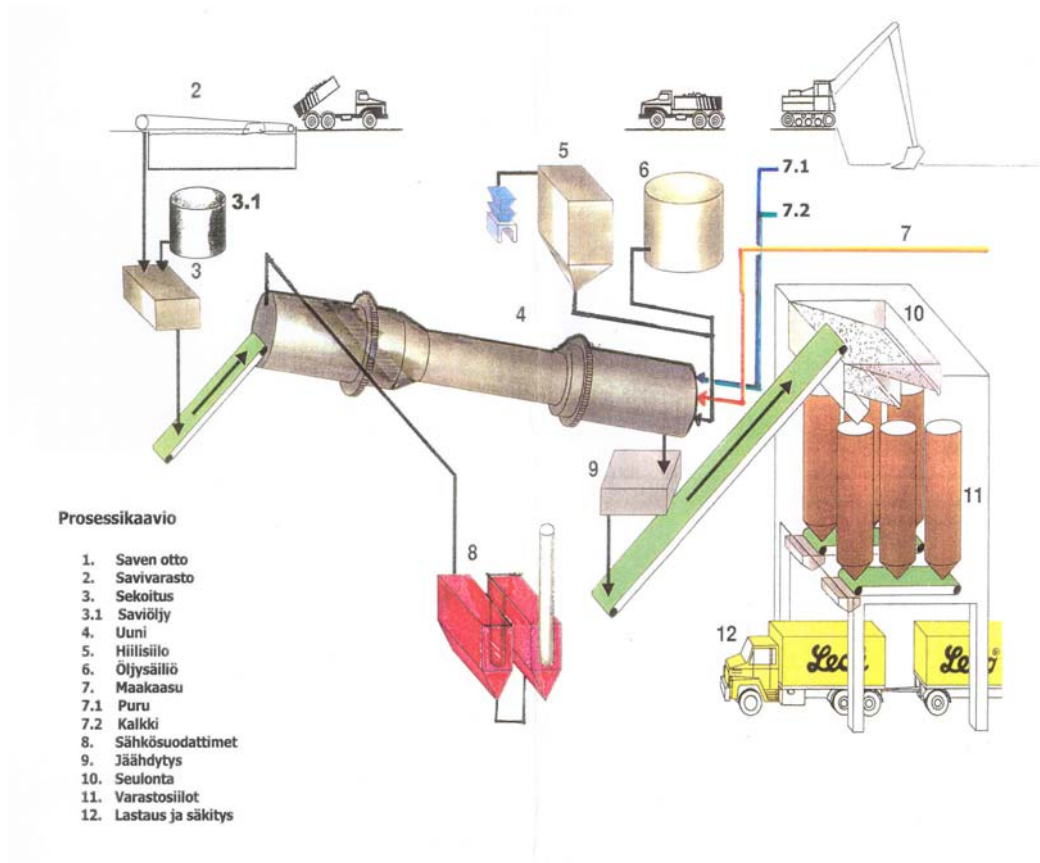
missä n on lukuparien X_i ja y_i lukumäärä,

S_x, S_y ovat muuttujien X ja y keskihajonnat ja

\bar{X}, \bar{y} ovat muuttujien X ja y keskiarvot.

3. LECA-SORAN TUOTANTOPROSESSI /2 ; 4 ; 7/

Leca-soran raaka-aineena käytetään savea, saviöljyä, kalkkia, sähkösuodattimen tuhkaa ja käytettyä valkaisuainetta. Kevytsoraa valmistetaan paisuttamalla savea pyörivässä putkiuunissa. Putkiuuni koostuu kahdesta osasta: kuivatusuunista ja polttouunista. Kuivatusuuni on 23 m pitkä, kapeimmasta kohdasta sen halkaisija on 2,5 m ja leveimmästä kohdasta 3,4 m. Polttouunin lämpötila on n. 1100 °C, sen pituus on 22 m ja halkaisija on 3,4 m. Tehtaan läheiseltä savialueelta kaivettu savi ajetaan sekoittajien kautta uuniin, jossa se ensin kuivuu ja lämpenee hitaasti. Lähestyessään uunin kuumaa osaa savirakeiden pinta sulaa. Sula, pyroplastinen pinta muodostaa rakeeseen tiiviin kuoren, joka estää rakeen sisällä muodostuvien kaasujen karkaamisen. Kaasunmuodostus aiheuttaa savirakeen paisumisen kevyeksi Leca-soraksi. Kevytsorauunilta saatava kuuma uunituotanto jäähdytetään ja seulotaan useaan eri fraktioon, joita sekoittamalla saadaan eri kevytsoralajitteita käyttökohteen mukaisesti. Kuvassa 1 havainnollistetaan Leca-soran tuotantoprosessi ja kuvassa 2 on valmistukseen tarvittava putkiuuni kokonaisuudessaan.



Kuva 1 Prosessikaavio /2, s.1./



Kuva 2 Uuni kokonaisuudessaan /1, s.27./

3.1 Tuotteet, ominaisuudet ja reseptit /2, s.2/

Kevytsoraa käytetään kevytsoraharkkojen valmistukseen, eristemateriaalina talonrakentamisessa sekä tien- ja maanrakennuksessa. Murskattua kevytsoraa käytetään lisäksi liukkauden estoon sekä puutarhan maanparannukseen.

Kevytsora on hyvin eristävää ja kevyttä materiaalia. Puhtaana luonnontuotteena se ei aiheuta vaaraa ympäristölle ja on palamattomuutensa ansiosta turvallista.

Uunituotannosta saatava kevytsora seulotaan viiteen eri fraktioon. Lisäksi tehdään kahta eri raekoon omaavaa murskettä. Näistä siilolajitteista sekoitetaan lastausvaiheessa reseptin mukaisia seoksia, joissa eri fraktioiden osuudet on määritetty tilavuusprosenttein. Lajikeresepit sovitaan myynnin ja asiakkaan kanssa tuotantomahdollisuudet huomioiden. Resepteistä vastaa ja niitä ylläpitää tehdaspäällikkö. Reseptin vaihteluvälien sallimissa rajoissa lähettäjä suhteuttaa lajitteet siten, että päivittäinen toimituskyky maksimoituu.

3.2 Tuotannonohjaus /2, s.2/

Tuotannosuunnittelusta vastaa tehdaspäällikkö. Suunnitelma perustuu myynnin antamaan vuosimyynniennusteeseen, myynnin toteutumaan, tilauskantaan sekä kokemukseen.

Tuotannonohjauksella varmistetaan suunniteltu tuotanto. Tuotannonohjauksessa käytetään apuna prosessinohjausjärjestelmää, joka automaattisesti kerää tietoa prosessin tilasta. Ohjausjärjestelmän antaman informaation pohjalta prosessia ohjataan kokemuspäällikkö.

Prosessinkäyttäjät valvoo sisään tulevan saven laatua. Uunituotannolla tarkoitetaan prosessin lopputuotetta eli Leca-soraa. Uunituotanto ajetaan seulomolle ja/tai eri varastoihin tilavuuspainon mukaan. Tuotetta arvioidaan myös silmämääräisesti kameran välityksellä.

Sovituissa painorajoissa oleva uunituote menee seulontaan tai välivarastoon, mikäli siiloihin ei mahdu. Uunituotannon oltua yli ½ tuntia rajojen ulkopuolella se ohjataan eri välivarastoon. Välivarastoista kevytsora on mahdollista seuloa hallitusti normaalipainoisen materiaalin joukkoon.

4. TESTAUSMENETELMÄT /3/

4.1 Hehkutushäviö (LOI) -testi

Hehkutushäviö on tärkeä osa savitutkimusta. Hehkutushäviössä lasketaan kristallivesi-, CO ja CO₂ ns. karbonaatti ja SO ja SO₂ sulfaattipitoisuudet.

Noin 20 g savea annetaan kuivua kuivauskaapissa 110 ± 5 °C yön yli. Kuivunut savi otetaan pois kuivauskaapista ja jäähdytetään huoneen lämpöiseksi eksikaattorissa. Sen jälkeen savi murskataan hienoksi jauheeksi ja otetaan 0,9000 – 1,1000 g kuivunutta savijauhetta (m_1) upokkaaseen. Upokas siirretään tämän jälkeen uuniin 1100 °C:seen ja annetaan olla uunissa 60 min. Sitten upokas otetaan pois uunista ja siirretään se jäähtymään eksikaattoriin. Jäähtynyt näyte punnitaan (m_2).

Hehkutushäviö (LOI) on

$$\left(\frac{m_1 - m_2}{m_1} \right) \times 100 \quad (5)$$

jossa m_1 on massa ennen hehkutusta ja m_2 on massa hehkutuksen jälkeen. Vastaus tulisi antaa kahden desimaalin tarkkuudella.

4.2 Raetiheyden määrittäminen

Ensin punnitaan noin 5 kpl Leca-palloja. Tunnettu määrä (ml) hiekkaa kaadetaan mittalasiin, jota isketään voimakkaasti noin 20 kertaa pöytään nostamatta hiekan pintaa ilmaan iskujen välillä. Mittalasin lukema otetaan ylös ja hiekka kaadetaan pois. Sitten laitetaan hieman hiekkaa mittalasin pohjalle, jonka päälle aletaan laittaa vuorotellen Leca-rakeita ja hiekkaa. Sitten taas isketään mittalasia noin 20 kertaa pöytää vasten ja otetaan lukema ylös.

Raetiheys saadaan laskettua kaavasta:

$$\frac{m}{V_1 - V_2} \quad (6)$$

jossa m on Leca-rakeiden massa, V_1 on Leca-pallojen + hiekan tilavuus ja V_2 on hiekantilavuus.

5. NÄYTTEENOTTO JA ESIKÄSITTELY

Näytteet otettiin uunin luukusta 4 (kuva 3) ja linjasyöttimeltä 309. Linjasyötin 309 sisältää savea, joka menee suoraan uuniin. Kun näyte oli otettu uunista, niin näyte laskettiin 4 mm seulakankaan läpi (kuva 4). Näytteen lämpötila oli noin 900 °C, kun se otettiin uuninluukusta 4.



Kuva 3 Näytteenotto uunin luukusta 4



Kuva 4 Seulakangas ja seulottu näyte

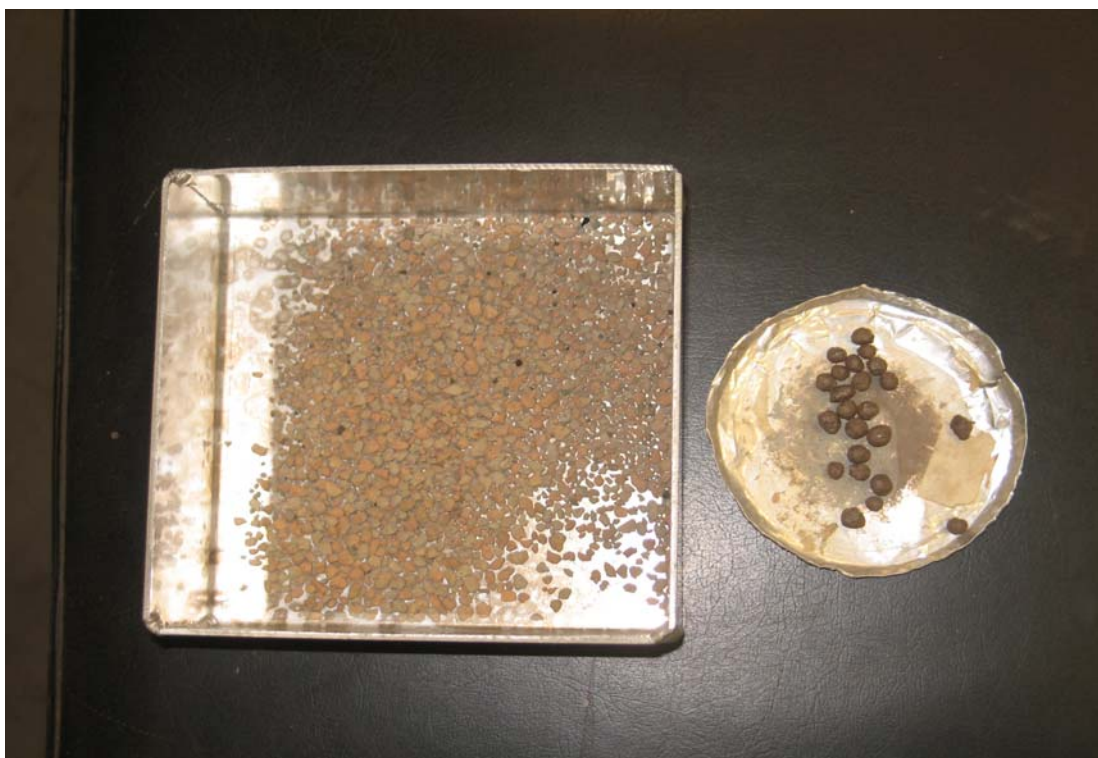
6. MITTAUKSET

Työssä käytetyt mittausarvot ovat kahdeksan kuukauden ajalta. Niitä käytetään hyväksi korrelaatiokertoimen määrittämiseen. Prosessin antamat arvot ovat otettu myös kahdeksalta kuukaudelta, jotta saataisiin mahdollisimman luotettava tulos.

Lisäksi tehtiin myös kaksi sellaista testiä, jossa otettiin näyte uuninluukusta 4 ja uuniin menevästä savesta. Kun näyte oli otettu uuninluukusta 4, se piti laskea 4 mm seulakankaan läpi ja sen jälkeen näytettä paisutettiin laboratorion uunissa 1135 °C:ssa (kuva 5). Paisutuksen jälkeen päästiin määrittämään raetiheys.



Kuva 5 Uuni, jossa näyte paisutettiin



Kuva 6 Näyte ennen paisuttamista sekä paisuttamisen jälkeen

Kuten kuvasta 6 huomaa, näyte paisui uunissa lähes kolminkertaiseksi. Kuvassa 7 puolestaan on erikokoisia Leca-sorareikeita.



Kuva 7 Erikokoisia Leca-sorarakeita /1, s.11./

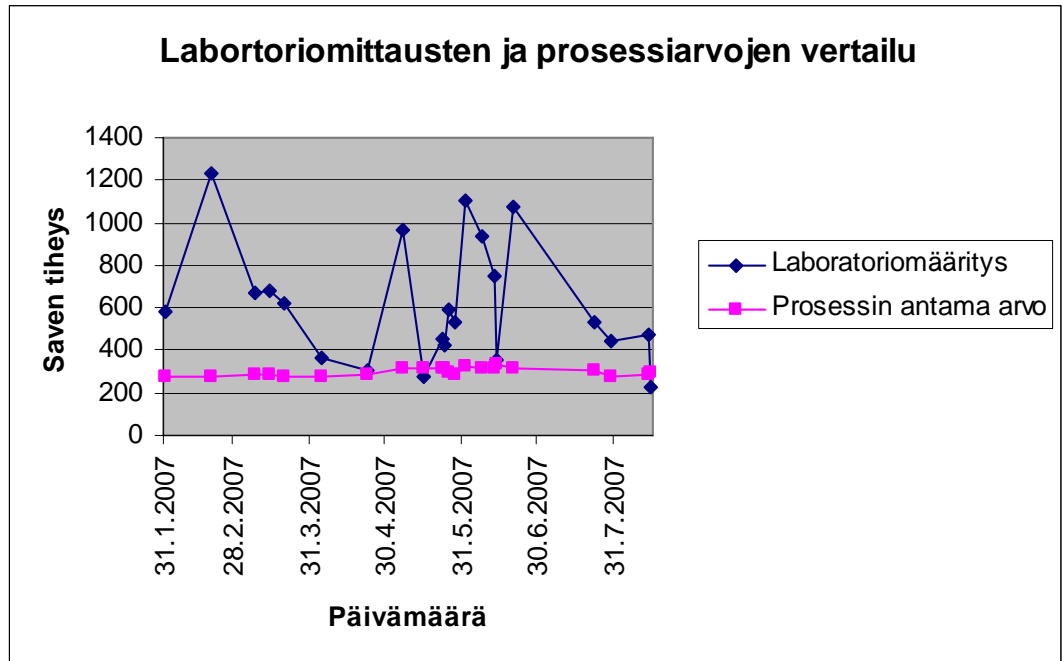
7. TULOKSET

7.1 Kahdeksan kuukauden tuloksien vertailu

Tuloksissa on vertailtu prosessin antamia tuotantopainoarvoja ja laboratoriossa mitattuja raaka-aineen raetiheysarvoja. Käyttöön otettiin kahdeksan kuukauden mitatut arvot sekä kahdeksan kuukauden prosessin antamat arvot, jotta saatiin mahdollisimman luotettavat tulokset.

Taulukko 1. Raaka-aineen raetiheydet sekä tuotantopainot 8 kk:n ajalta.

Päivämäärä	Raaka-aineen raetiheys [kg/m ³]	Tuotantopaino [kg/m ³]
31.1.2007	580	278
19.2.2007	1230	277
8.3.2007	671	283
14.3.2007	676	284
20.3.2007	622	272
4.4.2007	360	279
23.4.2007	304	290
7.5.2007	967	313
15.5.2007	275	311
23.5.2007	450	314
24.5.2007	425	319
25.5.2007	591	291
28.5.2007	531	285
1.6.2007	1100	324
8.6.2007	936	312
13.6.2007	753	313
14.6.2007	355	332
20.6.2007	1075	315
23.7.2007	537	304
30.7.2007	443	277
14.8.2007	471	286
15.8.2007	226	293



Kuva 8 Laboratoriomittausten ja prosessiarvojen vertailu

Kuten kuvasta 8 huomaa, laboratoriomäärityksissä on suurta vaihtelua. Vaihtelu johtuu siitä, että kun savinäytettä haetaan pelloilta, jokainen kauhallinen ei ole tasalaatuista savea. Pelloilta haetun saven tiheys riippuu siitä, kuinka syvältä näyte on kaivettu. Pintakerros on kaikkein painavinta, kun taas n. 4 m:ssä on parempilaatuista savea. Vaihtelu voi myös johtua siitä, että näytteen hakijoita ja näytteiden käsittelijöitä on ollut useita näiden kahdeksan kuukauden aikana. Kuvasta 8 on todella vaikea sanoa, minkälainen korrelaatiokerroin on kyseessä. Kun laskee korrelaatiokertoimen näillä 8 kuukauden tuloksilla, saadaan kertoimeksi 0,13.

7.2 Kahden haetun näytteen vertailu

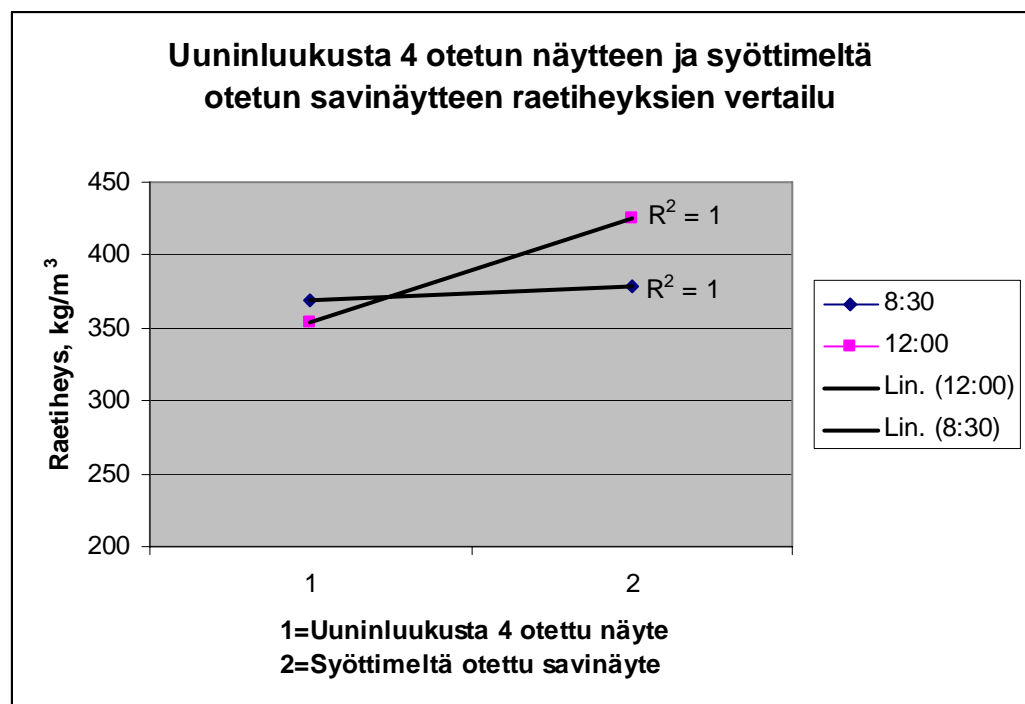
Kello 8:30 haettiin näyte uuniin menevästä savesta. Saven kosteus oli tuolloin 41,66 %. Hehkutushäviöksi sain 6,49 % ja raetiheydeksi 378 kg/m³. Näyte haettiin uuniluukusta 4 tunnin kuluttua, koska syöttimeltä savi liikkuu uunin loppupäähän noin tunnissa. Näytteen lämpötila oli tuolloin 898 °C. Seulomisen ja

paisuttamisen jälkeen raetiheydeksi saatiin 393 kg/m^3 .

Kello 12:00 haettiin jälleen näytte uuniin menevästä savesta. Tuolloin saven kosteus oli 40,83 %. Hehkutushäviöksi saatiin 6,84 % ja raetiheydeksi 425 kg/m^3 . Jälleen tunnin kuluttua haettiin näytte uuninluukusta 4. Näytteen lämpötila oli tuolloin $928 \text{ }^\circ\text{C}$. Seulomisen ja paisuttamisen jälkeen raetiheydeksi saatiin 354 kg/m^3 (taulukko 2).

Taulukko 2 Uuninluukusta 4 otetun näytteen sekä savinäytteiden raetiheydet

Kello	Uuninluukun 4 raetiheys [kg/m^3]	Savinäytteen raetiheys [kg/m^3]
8:30	369	378
12:00	354	425



Kuva 9 Uuninluukusta 4 otetun näytteen ja syöttimeltä haetun savinäytteen raetiheyksien vertailu

Kuvasta 9 huomaa, että raetiheyksien välillä on suurta lineaarista riippuvuutta. Korrelaatiokerroimen arvo näkyy suoraan kuvassa. Korrelaatiokerroin on molemmissa tapauksissa 1.

8. PÄÄTELMÄT

Ensimmäisessä tavassa, jolla määritin korrelaatiokerrointa, raetiheyksien erot olivat erittäin suuria. Korrelaatiokerroimeksikin sain vain 0,13, vaikka luulimme arvon olevan lähellä 1:ä. Tämä voi johtua siitä, että mittausten tekijöitä on ollut useampia. Yhtenä vaikuttavana tekijänä on se, että näytteet ovat haettu suoraan pellolta, eikä uuniin menevältä linjasyöttimeltä. Tuloksista nähdään, kuinka lisäaineet vaikuttavat saven turpoamiseen uunissa. Jos tällä määrittystavalla haluttaisiin luotettavia tuloksia, näytteet pitäisi hakea uuniin menevältä linjasyöttimeltä ja saman henkilön pitäisi tehdä kaikki näytesarjat.

Toisessa tavassa, jolla määritin korrelaatiokerrointa, on näyte-eriä vain kaksi. Kun korrelaatiokerrointa aletaan määrittää, otoskertoja pitäisi olla enemmän kuin minulla tässä viimeisimmässä tapauksessa. Tulokset ovat kyllä suuntaa antavia. Tässä tapauksessa korrelaatiokerroimeksi saatiin 1, kuten ajattelimme sen olevan. Laskimme uunista haetun näytteen 4 mm seulakankaan läpi, jotta näyte olisi lähes samankokoista kuin savesta tehtävät pallot. Tälläkin lienee vaikutusta saatuihin tuloksiin. Saven korrelaatiokerroimen määrittäminen tarvitsee jatkossa lisätutkimuksia.

Lähteet

Painetut lähteet

1. Wiklund Anders, Optimization of recycled oil use for LWA production. Diplomityö. Turun akateeminen yliopisto. Kemianosasto. Turku 2007. 132 s. + 5 liites.
2. Kuusankosken leca-soratehtaan toimintajärjestelmä. Kuusankoski 2005. 4 s.
3. Laboratorion työohjeet. Maxit Oy Ab, Leca-soratehdas
4. Leca-soran RT-kortti. RTK-36726. Helsinki 2005. 4 s.

Sähköiset lähteet

5. FSD. [www-sivu]. [viitattu 18.12.2007]. Saatavissa:
<http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/korrelaatio/korrelaatio.html>
6. Helia. [www-sivu]. [viitattu 18.12.2007]. Saatavissa:
<http://myy.helia.fi/~taaak/vkampus/spssm07.htm>
7. Maxit Oy Ab. [www-sivu]. [viitattu 14.12.2007]. Saatavissa:
<http://www.maxit.fi>
8. Wikipedia. [www-sivu]. [viitattu 18.12.2007]. Saatavissa:
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Korrelaatio>