

Jenni Kallunki

BRIKETÖINNIN LAADUN KEHITTÄMINEN

BRIKETÖINNIN LAADUN KEHITTÄMINEN

Jenni Kallunki
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, tuotantotalous

Tekijä: Jenni Kallunki

Opinnäytetyön nimi: Briketöinnin laadun kehittäminen

Työn ohjaajat: yliopettaja Lasse Pesonen, kehitysinsinööri Sakari Tuomikoski

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2014 Sivumäärä: 68 + 5 liitettä

Opinnäytetyö tehtiin Rautaruukki Oyj:n Raahen briketöintilaitokselle. Tehtaalla syntyviä sekundäärisiä raaka-aineita alettiin kierrättää briketöintilaitoksella vuonna 2012, kun sintraamon toiminta oli lopetettu. Korkea brikettituotanto ja riittävän hyvä laatu ovat edellytyksenä briketin suurelle panostusmäärälle ma-suunissa. Briketin laatuun vaikuttavia tekijöitä on useita, ja laadunkehittämisessä edetään vaiheittain. Tämän työn tavoitteena oli keskittyä briketöintikoneen tarkasteluun ja sen säätömahdollisuuksiin. Betonin kosteuden optimointi ja liian vesimäärän vaikutusten dokumentointi kuuluivat myös työn tavoitteisiin. Lisäksi etsittiin laadun tarkkailuun sopivaa mittaria tai laitteistoa, jolla briketin laatua pystyttäisiin arvioimaan jo ennen jälkihoidon päättymistä kuivatushallissa. Lopuksi tuotannolle laadittiin ohjeistus briketin laadun varmistamiseksi.

Kosteuden optimointitesteissä betonin kosteutta nostettiin portaittain ja jälkihoidon saaneet briketit testattiin rumpulujuustestillä. Liian veden vaikutuksia tuotantoon tarkasteltiin kuvaamalla kriittiset kohteet ensin puhtaina ja uudestaan kolmen tunnin tuotantoajan jälkeen. Koneen säätöjä testattiin muuttamalla eri säätöparametreja ja tarkkailemalla säätöjen vaikutusta brikettien lujuuksiin. Värähtelymittauksia käytettiin koneen tärinän arvioinnissa.

Kosteustesteissä havaittiin, että briketin lujuus paranee, mitä kosteampia briketit ovat. Tuotannossa kannattaa siis pyrkiä mahdollisimman kosteaan seokseen. Kosteaa betonia lisää kuitenkin siivouksen tarvetta, joten veden lisäys on tehtävä maltillisesti. Testeissä selvisi, että muotin täyttö ei ole tasaista ja aluslevyn etelä- ja pohjoispuolen briketit ovat laadultaan heikompia. Täytön optimointiin kannattaa tulevaisuudessa keskittyä. Värähtelymittauksista huomattiin, että värähtelyissä on eroja eri mittausten välillä. Selittäviä tekijöitä värähtelytason ja briketin laadun välille ei tämän työn yhteydessä havaittu. Briketin laatua on mahdollista tarkkailla jo ennen jälkihoidon päättymistä määrittämällä tuoreen briketin tiheys tai nopeuttamalla lujuudenkehitystä lämpökaapilla, jolloin lujuustestaus voitaisiin tehdä nykyistä aiemmin. Betonin laatua voidaan tarkkailla IC-testerillä.

Asiasanat: briketit, kosteus, laatu

ALKULAUSE

Tämä insinööri työ on tehty Rautaruukki Oyj:n Raahen terästehtaalla. Uudella laitoksella laatua on kehitetty jo pitkään, mutta työtä riittää vielä tulevaisuudessakin. Oli mahtavaa tutustua ja tarttua tähän mielenkiintoiseen ja haastavaan työhön. Työ oli monipuolinen, ja se varmasti kehitti minua jokaisella osa-alueella ja paransi valmiuksiani työelämään siirryttäessä.

Haluan kiittää kaikista saamistani ohjeista ja neuvoista työn ohjaajia kehitysinsinööri Sakari Tuomikoskea Ruukki Metals Oy:stä, konetekniikan osaston yliopettaja Lasse Pesosta sekä kielen ohjauksesta lehtori Tuija Juntusta Oulun ammattikorkeakoulusta. Suuret kiitokset myös briketöintilaitoksen koko henkilökunnalle avusta ja neuvoista. Sain työni varrella runsaasti tukea ja apua useilta alansa ammattilaisilta, joille haluan myös osoittaa kiitokset.

Läheisten tuella sain vietyä tämän urakan onnistuneesti loppuun, kiitos. Nyt valmistuminen on enemmän kuin lähellä!

Raahessa 25.4.2014

Jenni Kallunki

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	7
1 JOHDANTO	9
2 BRIKETÖINTI RAAHEN TERÄSTEHTAALLA	11
2.1 Briketöintiprosessi	11
2.2 Briketöntikone	13
3 LAATU	15
3.1 Ulkoinen ja sisäinen asiakas	16
3.2 Briketin laatutekijät	16
3.2.1 Rumpulujuustesti	17
3.2.2 Raaka-ainevalintojen vaikutus briketin laatuun	18
3.2.3 Briketin jälkihoidon vaikutus briketin laatuun	19
3.2.4 Briketöntikoneen ja sen säätöjen vaikutus briketin laatuun	19
4 VÄRÄHTELYMITTAUKSET	21
4.1 Värähtelyn parametrit	22
4.2 Värähtelymittausten suorittaminen	24
4.3 Värähtelymittauksen anturit	24
4.4 Värähtelymittaukset osana kunnonvalvontaa	25
4.4.1 Vianmäärityksen vaiheet	28
4.4.2 Vianmäärityksen analysointi ja johtopäätökset	28
5 LAADUN KEHITTÄMINEN BRIKETÖINTILAITOKSELLE	30
5.1 Veden määrän optimointi	30
5.1.1 Pikatestien tulokset	31
5.1.2 Liiallisen kosteuden vaikutukset briketöintiprosessissa	33
5.2 Briketöntikoneen säätöparametrien vaikutus briketin laatuun	33
5.2.1 Muotin täyttö ja laadun tasaisuus normaalin tuotannon aikana	34
5.2.2 Testit muuttaen tärypöydän säätöparametreja	36
5.2.3 Testit muuttaen muotin täytön aikaisia asetuksia	38
5.3 Värähtelymittaukset briketöntilaitoksella	39

5.3.1 Värähtelymittauksien suorittaminen briketöintilaitoksella	39
5.3.2 Värähtelymittausten analysointi	42
5.4 Testitulosten yhteenveto ja kehitysehdotukset	46
5.4.1 Kosteustestit	46
5.4.2 Koneen säätöparametritestit	47
5.4.3 Briketöintikoneen värähtelymittaukset	48
5.5 Ohjeistus tuotannolle laadun varmistamiseksi	48
6 VAIHTOEHTOJA NOPEUTTAMAAN BRIKETIN LAADUN TARKKAILUA	50
6.1 Tuoreen briketin tiheyden määrittäminen	51
6.2 Mahdollisuudet betonin ja briketin laadun tarkkailuun	52
6.3 Lujuudenkehityksen nopeuttaminen lämpökaapin avulla	52
7 YHTEENVETO	53
LÄHTEET	54
LIITTEET	
Liite 1 Lähtötietomuistio	
Liite 2 Briketöinnin prosessikaavio	
Liite 3 Testien aikana käytössä ollut resepti	
Liite 4 Betonin paatamiskuvat	
Liite 5 Ohjeet briketin laadun varmistamiseksi	

SANASTO

Agglomerointi	tapahtuma tai prosessi, jossa raaka-ainepartikkeleista muovataan kappale (1, s. 12)
Aluslevy	puinen tai muovinen alusta, jonka päälle brikitit valmistetaan ja jolla niitä kuljetetaan
ARUL-testi	brikin pehmenemiskäyttäytymistä masuunissa ennustava testi, advanced reduction under load -testi (2, s. 67)
Briketti	raaka-ainepartikkeleista kappalemuotoon kokoonpuristettu kappale (1, s. 15)
EZ-Analyst	ohjelma värähtelyn ja akustiikan analysointiin
EZ-Tomas	ohjelma värähtelyn seurantaan ja analysointiin
IC-tester	Intensive Compaction tester, betonilaatujen kehittämiseen ja testaukseen (3, s. 7)
Jälkihoito	olosuhteet, joissa briketeillä on mahdollisuus saavuttaa riittävät lujuusominaisuudet
Kuivatushalli	brikettien välivarasto, jossa vallitsevat lämpimät ja kosteat olosuhteet
Kynsirata	salpakuljetin
MLTD-testi	pelkistyslujuustesti, jolla testataan brikin kestävyyttä pelkistävissä atmosfäärissä masuunin ylä- ja keskiosissa, modified low temperature degradation -testi (2, s. 65)
Paataminen	seos jää kiinni prosessilaitteistoon, huonontaa brikin laatua ja lisää siivoamisen määrää
Panos	paukku, on kerrallaan mikserissä valmistettavan seoksen määrä, jokainen panos saa oman tunnistenumeron
Pellettialite	hieno pellettimurske, joka ei kelpaa sellaisenaan masuuniin panostettavaksi

Rapidsementti	nopeasti kovettuva portlandseossementti (4)
Resepti	valmistusohje, jonka mukaan raaka-aineet annostellaan
TQM	kokonaisvaltainen laadunhallinta, Total Quality Management (5, s. 17)
UPS	varavoimalaite, joka takaa tasaisen virransyötön syöttöjännitteen epätasaisuuksissa tai lyhyissä katkoksissa, Uninterruptible Power Supply
V/s-kerroin	veden ja sementin sekoitussuhde

1 JOHDANTO

Rautaruukki Oyj:n (myöhemmin Ruukki) Raahen terästehtaalla sekundääriset raaka-aineet on alettu kierrättää sintraamon sulkemisen jälkeen briketöintilaitoksen kautta. Brikitit käytetään masuunissa panosmateriaalina. Edellytyksenä brikkien suurelle panostusmäärälle masuunissa ovat korkea brikkituotanto sekä tasainen ja riittävän hyvä laatu. Nämä tekijät vaikuttavat merkittävästi koko tehtaan kustannustehokkuuteen.

Brikin laatua tarkkaillaan jatkuvasti. Brikin laatuun vaikuttavia tekijöitä on useita, joten yksinkertaista ja tarkkaa ohjetta hyvälaatuisen brikin tekemiseen on mahdotonta antaa. Aiemmin tehdyissä diplomitöissä on tutkittu muun muassa brikköintikoneen tärytysajan ja -voiman, sekoittimen märkäsekoitusajan, kovettumishallinolosuhteiden sekä raaka-ainevalintojen vaikutusta brikin laatuun (2, s. 88 - 98; 6, s. 74, 76 - 80). Brikin laadun kehittämisessä edetään vaiheittain ottamalla eri tekijöitä huomioon ja toisaalta eliminoimalla toisia.

Tässä työssä jatketaan brikin laadun kehittämistä. Työssä keskitytään itse brikköintikoneen tarkasteluun ja sen säätömahdollisuuksiin. Samalla tutkitaan koneen eri osien ja niiden toimivuuden vaikutusta brikin laatuun. Oleellinen osa brikköintiprosessia on muotin täytön ja tiivistämisen aikainen tärytys, sillä tärinä auttaa brikin tiivistymisessä. Koneen tärinän arvioinnissa käytetään värähtelymittausta. Värähtelymittauksia varten koneeseen asennetaan kiihtyvyyssanturit tämän työn ajaksi. (Liite 1.)

Toisena tavoitteena on veden määrän optimointi. Vesimäärän vaihtelun vaikutusta tutkitaan lisäämällä vettä portaittain ja seuraamalla tuloksia brikin kylmälujuudessa. Työn aikana raportoidaan myös liiallisen vesimäärän vaikutukset tuotantoon.

Opinnäytetyön osatavoitteena on etsiä brikin laadun tarkkailuun sopiva mittari tai laitteisto, jolla brikin laatua pystyttäisiin arvioimaan jo ennen jälkihoidon päättymistä kuivatushallissa. Tällä hetkellä brikkien kylmälujuutta voidaan testata rumpulujuustestillä vasta parin päivän päästä, jälkihoidon jälkeen. Niin sanotulla pikatestillä brikin huono laatu pystyttäisiin ennakoimaan ja muutokset

esimerkiksi reseptiin tai briketöintiprosessin koneiden asetuksiin voitaisiin tehdä jo nykyistä aiemmin.

Tarkkaa ohjeistusta briketin hyvän laadun tekijöiksi on hankala antaa, sillä hajontaa ilmenee muun muassa raaka-aineiden partikkelikokojakaumassa sekä raaka-aineen kosteuspitoisuudessa, vaikka resepti pidettäisiin samana. Tarkoituksena on kuitenkin laatia tuotannolle mahdollisimman tarkka ohjeistus tarvittavista säätötoimenpiteistä briketin hyvän laadun takaamiseksi, mikäli laatumittareilla voidaan osoittaa laadun riittämättömyys.

2 BRIKETÖINTI RAAHEN TERÄSTEHTAALLA

Ruukki on erikoistunut teräkseen ja teräsrakentamiseen. Vahvuutena Ruukilla ovat vahva teräsosaaminen sekä energiatehokkaat ratkaisut. Ruukki on myös mukana alati kehittyvillä markkinoilla. Ruukilla on työntekijöitä tällä hetkellä noin 9 000 ja toimintaa noin 30 maassa. (7.)

Kun Ruukin Raahen tehtaalla masuunit siirtyivät täyspellettiajoon ja sintraamo lopetti toimintansa vuonna 2011, kierrätettävät materiaalit alettiin hyödyntää briketöintiprosessin avulla. Briketöintiprosessista on esitetty kaavio liitteessä 2 (8). Raudan- ja teräksenvalmistuksen yhteydessä syntyvät sekundääriset, hienot raaka-aineet kylmäagglomeroidaan briketeiksi. Sidosaineena käytetään sementtiä. Kappalemuotoon puristettuja raaka-ainepartikkeleja eli brikettejä voidaan panostaa masuuniin. Tämä vaikuttaa koko tehtaan kustannustehokkuuteen. (9.)

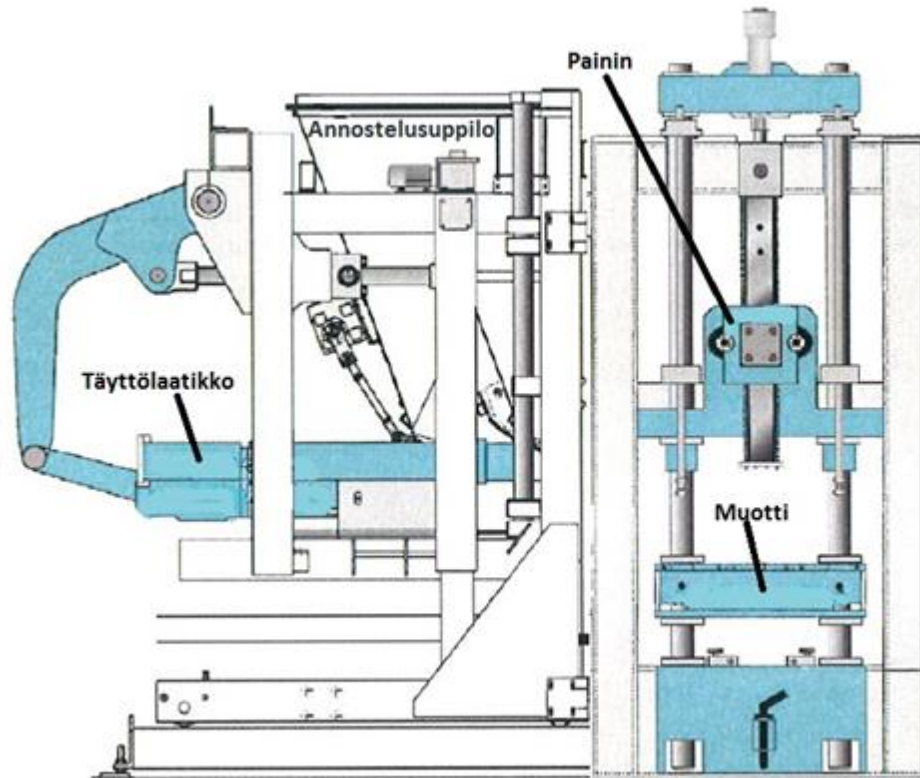
2.1 Briketöintiprosessi

Briketöintiprosessin tarkoitus Raahen tehtaalla on tuottaa brikettejä erilaisista rautarikkaista ja hiilipitoisista sivutuotteista, joita terästeollisuudessa muodostuu, ja kierrättää ne takaisin masuuniin. Briketille laaditaan resepti mukaillemalla syntyvien raaka-aineiden massavirtoja. Raaka-aineita ovat muun muassa valsihilse, mikseri- ja teräsromu sekä pellettialite. Ennen kuin raaka-aineet kuljetaan briketöintilaitokselle, ne varastoidaan raaka-ainekentällä ja osa niistä seulotaan tai murskataan riippuen materiaalista ja halutusta partikkelikoosta. Myös masuunin pölysäkin ja pölynpoiston pölyä sekä koksaaon pölyä käytetään briketeissä. Masuunin kannalta näitä raaka-aineita kutsutaan sekundäärisiksi raaka-aineiksi. (6, s. 22 - 23.) Reseptiin lisätään myös sideaineena käytettävä sementti ja hydratoitumiseen tarvittava vesi (10, s. 29, 39).

Raaka-aineet kulkevat hihnoja pitkin annostelulaitokselta briketöintilaitokselle. Annostelumäärät lasketaan hihnavaakojen avulla. Briketöintilaitoksella kokonaispanoksen punnituksen jälkeen raaka-aineet kuljetetaan kipponostimella sekoittimeen. Sekoittimessa kuivasekoituksen aikana raaka-aineet sekoitetaan sideaineena käytettävän rapidsementin kanssa, joka annostellaan omasta siilostaan sementtivaa'an kautta punnittuna. Kuivasekoitusajan jälkeen lisätään

vesi, joka on punnittu vesivaa'alla. Veden sekoittamista sementin ja raaka-aineiden kanssa kutsutaan märkäsekoitusvaiheeksi.

Sekoitusten jälkeen panos purkautuu sekoittimesta betonikuljettimelle, jota pitkin se kuljetetaan briketöintikoneen (kuva 1) annostelusuppiloon. Suppilosta betoni annostellaan täyttölaatikkoon ja muotin solut täytetään.

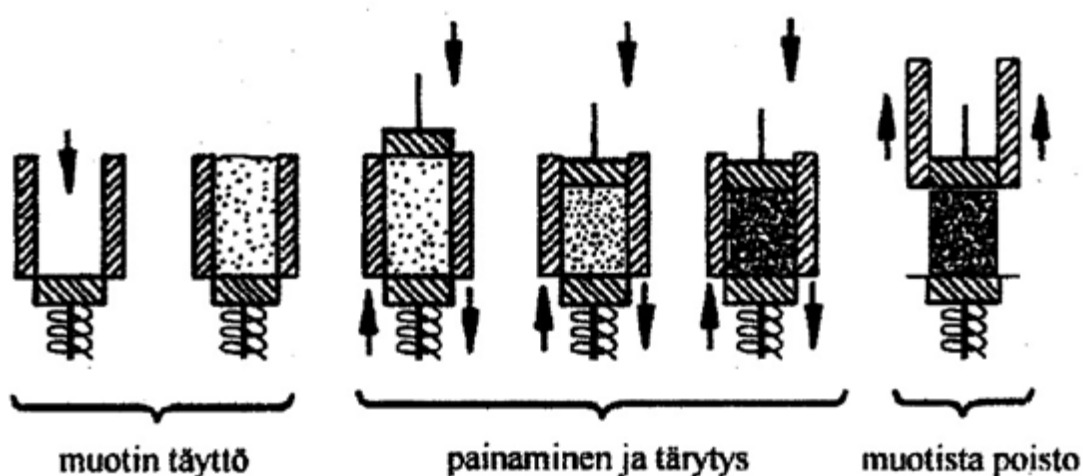


KUVA 1. Periaatekuva briketöintikoneesta (vrt. 11, s. 29)

Tuoreet briketit kuljetetaan puisen tai muovisen aluslevyn päällä kuivatushalliin kovettumaan. Kuivatushallissa vallitsee kosteat ja lämpimät olosuhteet. Kuivatushalliin mahtuu kerrallaan yli 12 000 aluslevyä (6, s. 26). Muutaman päivän kuivatushallissa kovettumisen jälkeen briketit siirretään ulos välivaraston kautta pitkäaikaiseen varastoon. Varastointi kestää vähintään neljä viikkoa, jolloin briketit saavuttavat tarvittavan lujuuden masuuniin panostusta varten. Briketöinti-prosessissa tyhjä aluslevy kulkeutuvat kynsirataa pitkin takaisin kierto. Ennen briketöintikoneetta aluslevy harjataan puhtaaksi ja käännetään, jotta ne säilyisivät pidempään hyväkuntoisina.

2.2 Briketöintikone

Ruukin Raahen tehtaan briketöintilaitoksella on käytössä Hessin RH2000-3VA-briketöintikone. Koneen toimintaperiaatteena on pääasiassa punch-and-die-paineagglomerointimenetelmä (kuva 2). Paineagglomeroinnissa partikkelit altistetaan ulkoiselle voimalle suljetussa muotissa. Tuloksena saadaan uusia ja aiempaa suurempia agglomeraatteja eli pienistä kiintoainepartikkeleista muodostuneita kappaleita. Briketöintikone voidaan luokitella keskipaineagglomerointilaitteeksi, sillä briketin lujuuden saavuttamisessa käytetään paineen lisäksi apuna sideainetta, sementtiä (1, s. 229, 319 - 320; 6, s. 27.)



KUVA 2. Punch-and-die-menetelmän periaate (12, s. 16; vrt. 1, s. 320)

Briketin valmistus voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen: muotin täyttö, tiivistäminen ja muotista purku. Muotin täyttövaiheessa muotti lasketaan aluslevyn päälle. Betonilla täytetty täyttövaunu käy muotin päällä ja täyttää muotin 451 solua. Täytön aikana käytettävällä esitärytyksellä on suuri merkitys brikettien onteloiden täyttymisessä. Näin muotissa olevalle betonille saadaan tasaisen korkea tiivistymisaste, joka on edellytys valmiin briketin laadulle. (11, s. 22, 24.)

Muotin täytön jälkeen painin lasketaan muottiin ja täytetyt muotin solut sulkeutuvat. Päätärytyksen voimakkuus, taajuus ja kesto vaikuttavat briketin tiivistymiseen. Päätärytyksen ja puristusvaikutuksen ansiosta betoni tiivistyy haluttuun massatiheyteen. Tärytyksen voimakkuus ja värähtelyn amplitudi määräävät liikkeen voimakkuuden tiivistymistäpahtuman aikana. (11, s. 25.) Päätärytysvoima pystytään säätämään epäkeskoakselin kulman ja kierrosluvun avulla (6, s. 28.)

Nyrkkisääntönä oikealle tärytyksen säädölle on tasaisesti värähtelevä ääni. Hakkaavaa ääntä tulee välttää. Jos tärytyksen kesto on säädetty liian pitkäksi, tärytinvoimat siirtyvät jo tiivistyneestä betonista vaimentumattomana painimeen ja se alkaa hyppiä. Liian voimakas tärytys voi johtaa betonin seosrakenteiden rikkoutumisen. Painimen paine säädetään niin, että se voi seurata tärytinpöydän värähtelyjä. Mikäli painimen paine on liian alhainen, painin alkaa hyppiä jo pää-tärytyksen alussa. Jos paine on liian korkea, tärytinvoima vaimenee liikaa ja betonin laskeutuminen ja asettuminen estyy (11, s. 25 - 26.)

Betonin tiivistämisen jälkeen muottikotelo nostetaan. Painin jää aluksi paikoilleen pitämään valmiita, tuoreita brikettejä aluslevyllä. Painin lukitaan koneen runkoon painimen jarrujen avulla. Se nostetaan ylös vasta silloin, kun muottikotelo on kokonaan irronnut brikettien ympäriltä. Näin valmis briketti pysyy paremmin koossa. Lopulta aluslevy briketteineen työnnetään koneelta poiskuljetettavaksi. Kuljetuksen pitäisi tapahtua mahdollisimman tasaisesti ja nykäyksittä. (11, s. 21, 26 - 27.)

3 LAATU

Tuotteen laadun määrittely riippuu tuotteesta. Aineellisessa tuotteessa tuotteen ominaisuudet ja soveltuvuus ovat olennaisia. Tuotteen ominaisuudet ovat yleensä mitattavissa. Perusajatus tuotteen laadusta on sen soveltuvuus asiakkaan tarpeisiin ja odotuksiin. (13.)

Laatuun liitetään usein tarve jatkuvasti parantaa suoritustasoa niin nopeasti kuin kehitys sen sallii. Kehittämissimpulssit voivat tulla systemaattisesta laatutyöstä tai ulkopuolisesta maailmasta kuten kilpailijoiden toiminnasta ja yhteiskunnan muutoksista. Laadun määritelmään on aina kuulunut se, ettei virheitä tehdä. Kuitenkin virheettömyyttäkin tärkeämmäksi asiaksi kokonaislaadun kannalta on nostettu oikeiden asioiden tekeminen. Joseph Juran on määritellyt laadun niin, että laatu on soveltuvuutta käyttötarkoitukseen. (5, s.18 - 19.)

TQM (Total Quality Management) eli kokonaisvaltainen laadunhallinta laajentaa laadun käsitettä entisestään. Laadunohjauksen ja laadunvarmistuksen lisäksi TQM sisällyttää laadun myös johtamiseen, strategiseen suunnitteluun ja organisaation kehittämiseen. Laatutoiminnan perustana ovat kuitenkin asiakkaiden tarpeet. (5, s. 17.)

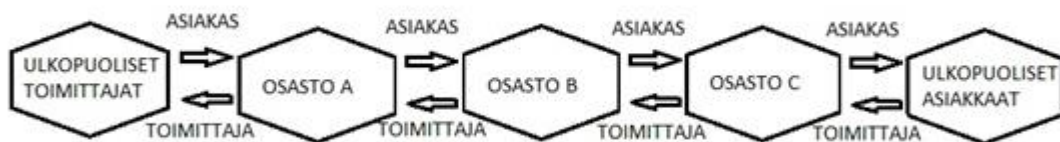
TQM-ajatteluun perustuen laadun kannattavuuteen on useita syitä. Laatu vaikuttaa yritykseen sisäisesti ja ulkoisesti. Hyvällä laadulla tarkoitetaan tuotteiden virheettömyyttä ja alhaisia laatukustannuksia, lopulta myös kustannustehokkuutta. Lisäksi laadulla on vaikutusta yrityksen katteeseen ja kannattavuuteen. Laadulla pystytään vaikuttamaan yrityksen sisäisen asioiden lisäksi myös markkinoihin. Asiakkaiden tarpeet, vaatimukset ja odotukset täytetään hyvällä laadulla. Hyvä laatu parantaa yrityksen asemaa markkinoilla ja tuo yritykselle enemmän vapautta hinnoitella tuotteita. Yrityksen kannattavuus parantuu laadukkaan toiminnan sisäisten ja markkinavaikutuksen yhteisestä seurauksesta. Yrityksen kannattavuus ja laatu mahdollistavat yritykselle pitkäjänteisen toiminnan. (5, s. 24.)

Laadun käsite on laajentunut viime vuosien aikana. Laatu käsitetään nykyään entistä useammin yrityksen laaja-alaiseksi kehittämiseksi ja johtamiseksi. Tavoitteena on asiakkaiden tyytyväisyys, kannattava liiketoiminta ja kilpailukyvyyn

säilyttäminen ja kasvattaminen. Samalla laatu käsitteenä on muuttunut tarkoittamaan kaikkea yrityksen toimintaa, niin tuotteen laatua kuin toimintaprosesseja ja asiakasyhteyksien kehittämistäkin. Yleinen määritelmä laadulle on kyky täyttää asiakkaan tarpeet ja vaatimukset. (14, s. 15.)

3.1 Ulkoinen ja sisäinen asiakas

Laadun määrittelee lopulta asiakas. Oikeiden asioiden tekemisen varmistamiseksi ja kehittämistyön tueksi on mietittävä, kuka oikeastaan on yrityksen asiakas. Laatuajattelussa asiakaskäsite on laaja. Ulkoinen asiakas on toiminnan lopullinen rahoittaja. Ulkoisten asiakkaiden lisäksi yrityksessä on myös sisäisiä asiakkaita. Kuvassa 3 on esitetty tuotteen valmistus- ja toimitusprosessi. Jokaisessa prosessivaiheessa muodostuu toimittaja-asiakassuhde, kun työn tulos luovutetaan seuraavalle käsittelijälle. Mikäli sisäinen asiakkuus ei toimi halutulla tavalla, näkyy se yleensä myös ulkoiselle asiakkaalle tuote- tai palveluvirheen muodossa. Toimitusketjun laadun määrää yleensä sen heikoin lenkki. (5, s. 79 - 81.)



KUVA 3. Ulkoiset ja sisäiset asiakkaat (5, s. 81)

Sisäisellä laadulla tarkoitetaan yrityksen sisäisten toimintojen erinomaisuutta. Tällöin työtoverit nähdään sisäisinä asiakkaina. Sisäinen laatu saavutetaan, kun työntekijät huomioivat toiminnassaan koko asiakasketjun sisäisistä ulkoisiin. Yritys voi sisäisellä laadukkaalla toiminnalla hallita esimerkiksi kustannuksia, joita syntyy virheiden korjaamisesta. (15.)

3.2 Briketin laatutekijät

Briketin laatua tarkkaillaan masuunin häiriöttömän toiminnan edistämiseksi. Masuunin panosmateriaaliksi eivät sovellu liian hienojakoiset raaka-aineet sellaisinaan, sillä raekooltaan liian pienet raaka-aineet poistuvat masuunista ylöspäin suuntautuvien voimakkaiden kaasuvirtausten mukana. Kaasujen läpäisevyys ja kaasuvirtaukset voivat myös häiriintyä masuunin kuilussa, jos hienojakoinen

aines tukkii panosmateriaalien väliset onkalot. Toisaalta raekokojakauma ei saisi olla suuri, sillä hieno aines lajittuu helposti panosmateriaalia syötettäessä. Lajittumisesta voi seurata epätasaiset ja vaikeasti hallittavat kaasuvirtaukset masuunissa. (16, s. 29.)

Briketin laatutekijät voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan: kylmä- ja kuumalujuus sekä kemiallinen koostumus (6, s. 32). Hyvä kylmälujuus mahdollistaa brikettien kuljetukset varastointipaikkojen välillä sekä panostamisen masuuniin ilman, että briketit hajoavat liikaa käsittelyssä (2, s. 62). Brikettien kylmälujuutta testataan rumpulujuustestillä. Myös briketin tiheyttä eli massaa ja korkeutta seurataan säännöllisesti. Tiheyden on todettu mukailevan kylmälujuuden tuloksia, sillä tiheämmällä briketillä on yleensä parempi kylmälujuus.

Brikettien kuumalujuudella on merkitystä masuunin kuumissa ja pelkistävässä olosuhteissa. Masuuniolosuhteiden vaikutusta voidaan testata MLTD-testillä. ARUL-testillä selviää brikettien pelkistymis- ja pehmenemiskäyttäytyminen masuunin yläosasta koheesiovyöhykkeelle asti. (2, s. 62)

Briketin kemiallinen koostumus vaikuttaa masuunin tehokkaaseen toimintaan, oikeanlaiseen kuonan muodostumiseen sekä raakaraudan tavoitteen mukaiseen koostumukseen. Etenkin haitallisten komponenttien, kuten rikki ja sinkki, käyttöä on rajoitettava. Briketin raaka-aineet ja niiden määrät on tarkasti säänneltyjä ja niiden tulee olla masuuniprosessiin sopivia. (6, s. 32.)

3.2.1 Rumpulujuustesti

Brikettien kylmälujuutta testataan rumpulujuustestillä. Näin ollen myös tätä opinnäytetyötä varten tehtävien testien tuloksia seurataan rumpulujuustestin avulla. Ruukin rumpulujuustesti on muokattu omaan käyttöön sopivaksi ISO-standardin mukaisesta rumpulujuustestistä. Näytekokoo on 15 kg ja rummutusaika 8 minuuttia. Rummun kierrosnopeus on 25 kierrosta minuutissa eli rumpu pyörii yhteensä 200 kierrosta koko testin aikana. Rummutuksen jälkeen näyte seulotaan. Seulaan jäänyt halkaisijaltaan yli 6,3 mm:n fraktio eli ylite punnitaan ja sitä verrataan alkuperäisen näytteen massaun. Rumpulujuusindeksi kuvaa kylmälujuutta, ja se voidaan laskea kaavalla 1. (2, s. 63 - 64.)

$$RL_{indeksi} = \frac{m_{>6,3 \text{ mm}}}{m_{näyte}} * 100\%$$

KAAVA 1

$RL_{indeksi}$ = rumpulujuusindeksi (%)

$m_{>6,3\text{ mm}}$ = seulonnan, yli 6,3 mm, ylitteen massa (g)

$m_{näyte}$ = alkuperäisen näytteen massa (g)

3.2.2 Raaka-ainevalintojen vaikutus briketin laatuun

Raaka-aineiden partikkelikoon vaikutusta briketin lujuuteen on tutkittu paljon. Tutkimuksissa on havaittu, että seoksen kokonaisraekoon kasvaessa brikettien lujuus heikkenee huomattavasti. Ruukilla Pisilän 2007 tekemässä tutkimuksessa kylmälujuuden suhteen lujin briketti on saatu alle 3 mm maksimiraekoon seoksella (16, s. 35 - 37). Vuonna 2008 tehdyssä Pisilän tutkimuksessa vertailtiin alle 6 mm ja alle 10 mm maksimiraekoon seoksella valmistettuja brikettejä ja taas pienemmällä raekoolla saatiin lujempia brikettejä (18, s. 42 - 43).

Poletin vuonna 2009 tehdyssä tutkimuksessa on todettu, ettei briketin raaka-aine voi olla raekooltaan liian hienoa, sillä suuremmat partikkelit toimivat briketissä tukirakenteena. Briketin sidosaine ei riitä sitomaan kaikkia pintoja, kun ominaispinta-ala on suurempi. (19, s. 23 - 25.)

Sementin valinta vaikuttaa briketin laatuun sekä sen lujuuteen oleellisesti. Sen toiminta perustuu hydratoitumisreaktioon. Hydratoitumisreaktiossa kalsiumsilikaatit, joista sementti pääosin muodostuu, reagoivat veden kanssa. Sementti toimii sekä hydraulisena sideaineena että vaikuttaa briketin kemialliseen koostumukseen. Ruukin Raahen briketöintilaitoksella sementtinä käytetään portlandsementtiä, joka sopii masuuniprosessiin niin kemiallisten kuin mekaanisten ominaisuuksienkin kannalta. Kalsiumsilikaatit toimivat masuunissa kuonanmuodostajina. Portlandsementti ei sisällä prosessin kannalta haitallisia aineita. (20, s. 356, 360; 21, s. 50 - 51.)

Briketin laadun kannalta myös veden ja sementin sekoitussuhteella on oleellinen merkitys. Tehokas hydratoituminen voidaan taata lisäämällä riittävästi vettä betoniin. Toisaalta betonin on todettu menettävän lujuusominaisuuksiaan liian veden vaikutuksesta. Liiallinen vesi hidastaa hydrataation etenemistä ja hydratoitumisen loputtua ylimääräinen vesi haihtuu pois. Veden haihduttua betoniin jää tyhjiä huokosia, mikä heikentää sen lujuutta. (11, s. 16.)

Briketöintikoneen käyttöoppaassa optimaaliseksi veden ja sementin suhteeksi eli v/s-kertoimeksi on ilmoitettu $\leq 0,40$ (11, s. 16). Ruukin briketöintilaitoksella

kertoimen mukainen vesimäärä on kuitenkin todettu liian matalaksi. Optimaalinen lisätyn veden määrä riippuu raaka-aineiden kosteudesta sekä käytössä olevasta reseptistä.

3.2.3 Briketin jälkihoidon vaikutus briketin laatuun

Briketin jälkihoidon vaikutusta sementin lujuudenkehittymiseen on tutkittu paljon. Riittävä kosteus on edellytys sementin hydrataatiolle, sillä täysin kuivuneella betonilla hydrataation eteneminen ja lujittuminen loppuvat. Sementille tulisi taata mahdollisimman hyvät jälkihoito-olosuhteet ensimmäisen 28 vuorokauden aikana. Pisilän 2009 tekemissä testeissä on huomattu, että hydrataatioreaktio on nopeinta kahden ensimmäisen vuorokauden aikana veden lisäyksestä, joten tämä aika on kriittisintä hydratoitumisen ja näin ollen myös briketin lujuusominaisuuksien kannalta (2, s. 86). (21, s. 51 - 53.) Tämän takia brikitit varastoidaan noin kahden ensimmäisen vuorokauden ajan kuivatushallissa, jossa vallitsevat lämpimät ja kosteat olosuhteet.

3.2.4 Briketöintikoneen ja sen säätöjen vaikutus briketin laatuun

Briketin laatuun, etenkin sen tiivistymiseen, vaikuttaa agglomerointiprosessi. Prosessissa käytettävät ulkoiset puristus- tai tärytysvoimat on säädettävä halutun tiivistymisasteen mukaan. Myös tärytyksen kestolla ja tärytystaajuudella on vaikutusta briketin tiivistymiseen. (11, s. 25.)

Briketöintikoneen useat säätömahdollisuudet vaikuttavat agglomeroinnin onnistumiseen. Toisaalta säätöjen ongelmallisuutta lisää se, että säädöt ovat riippuvaisia agglomeroitavista raaka-aineista. Parhaat säädöt saadaan vain testamalla reseptikohtaisesti.

Agglomerointiprosessi etenee luvussa 2.2 esitetyllä tavalla. Ennen puristusta ja tärytystä muotti täytetään. Tasalaatuisten brikettien takaamiseksi muotin kaikki solut tulisi täyttää tasaisesti homogeenisellä betonilla. Vaikka resepti pidetäänkin samanlaisena, saattaa lajittumista ilmetä, muun muassa siinä, kun isoimmat ja painavimmat partikkelit valuvat täyttölaatikossa reunoille sitä purettaessa briketöintikoneen suppilosta. Hajontaa raaka-aineiden kosteudessa voi ilmetä, sillä raaka-aineet varastoidaan ulkona isoissa kasoissa.

Muotin tasainen täyttö pyritään aikaansaamaan täyttölaatikoiden välppien työkierrolla (10, s. 24). Kun täyttölaatikko siirtyy muotin päälle, alkavat laatikossa poikittain olevat välpät liikkua eteen ja taakse levittäen betonia. Välppien korkeus muottiin nähden on ohjeistettu tarkkaan betonin partikkelikoon mukaan (22, s. 63).

Muotin tasaista täyttöä edistetään esitärytyksellä, joka toimii yhtä aikaa välppien työkiertojen aikana. Myös täyttölaatikon ajonopeus ja toisaalta sen jarrutusnopeus sekä pysähtymiskohta vaikuttavat muotin tasaiseen täyttymiseen. Liian hitaan liikkeen takia saattaa betoni pakkautua muotin takalaitaan eli puolelle, josta täyttölaatikko tulee. (11, s. 24.)

Muotin tasainen täyttö on tärkeää, sillä painin, joka laskeutuu muotin päälle, ei joustaa. Mikäli keskellä on enemmän betonimassaa kuin laidoilla, painin painaa keskiosan brikettejä tiiviimmin ja tiheys vaihtelee aluslevyn sisäosan ja ulkoreunan brikettien kesken.

Tärytystä käytetään agglomeroinnissa paineen apuna. Tärypöytää ohjaa neljä servomootoria, jotka pyörivät koko prosessin käynnissäoloajan. Tärytys toimii täry akselien epätasapainojen avulla. Kaksi neljästä moottorista muodostaa parin ja tärytysvälien aikana moottoriparien epätasapainot kumoavat toistensa voimat. Tärytyksen aikana epätasapainojen kulmaa toisiinsa nähden muutetaan ja saadaan aikaa haluttu tärytys. Tärytys välitetään aluslevyyn ja muottiin törmäys- ja kulutuslistojen avulla. Täryjen oikeat säädöt ja niiden hyvä kunto takaavat betonille tasaisen tiivistymisen. (23.)

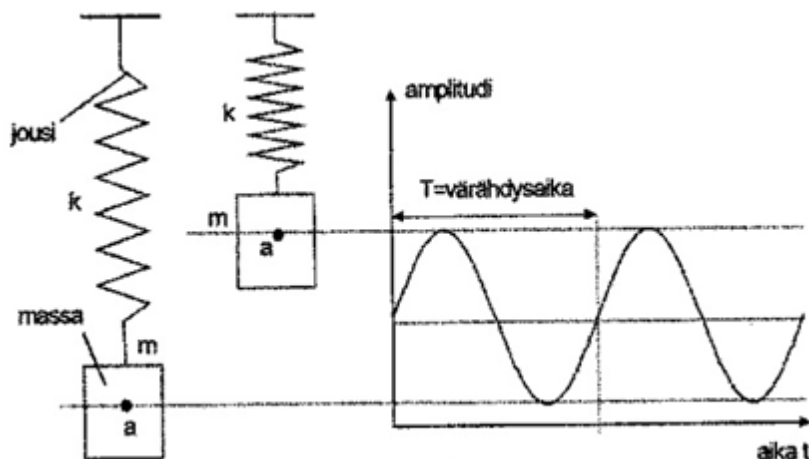
Painimen täryä ohjaa kaksi sähkömoottoria. Painimen täryt ovat huomattavasti tärypöytää heikommat. Painimen täryt ovat joko päällä tai pois päältä, eikä niiden merkitys briketin laadun kannalta ole yhtä suuri kuin tärypöydällä.

Briketin laadun kannalta muottia nostettaessa tärkeää on se, ettei painin kohdistaa enää painetta briketteihin. Tätä varten painimenlukitusjarrujen on toimittava oikealla tavalla ja oikea-aikaisesti. Muotin tulisi myös nousta brikettien ympäriltä pehmeästi ilman ylimääräisiä nykäyksiä. Kaikenlaiset nykäykset aluslevyn liikkua kuussa kuivatushalliin saakka voi aiheuttaa tuoreiden brikettien hajoamisen. (11, s. 26 - 27.)

4 VÄRÄHTELYMITTAUKSET

Mekaaninen värähtely eli tärinä on rakenteen, koneen tai koneen osan liikettä tietyn tasapainoaseman ympärillä. Pysyäkseen yllä värähtely tarvitsee jatkuvasti suuntaansa tai suuruuttaan vaihtavan voiman. Niitä voimia, jotka aikaansaavat rakenteen värähtelyn, kutsutaan herätteiksi. Herätteet ovat dynaamisia voimia, jotka ovat seurausta joko laitteen normaalista toiminnasta, erilaisista valmistuksen tai asennuksen epätarkkuuksista tai vikaantumisista. Esimerkiksi akselin pyörimisliike voi aiheuttaa värähtelyä. Herätevoiman suuruus sekä rakenteen dynaaminen liikkuvuus vaikuttavat värähtelyn suuruuteen. (24, s. 224; 25, s. 40.)

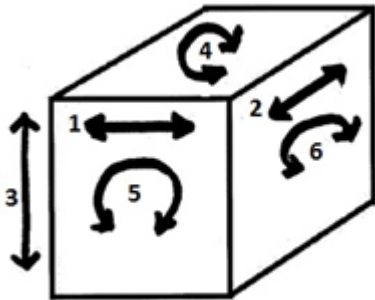
Vapaaksi värähtelysteemiä voidaan kuvata jousi-massasysteemiä, johon ei vaikuta mitään ulkoisia voimia. Massan liike on jaksollista eli harmonista liikettä. Kuvassa 4 jousi-massasysteemin massa palaa takaisin lähtöasemaansa yhden värähdysliikkeen aikana. Kuvaajan muoto on sinikäyrä. Kuvassa pisteen a värähtely on esitetty aikatasossa. Koordinaatiston vaaka-akselilla on aika ja pystyakselilla pisteen siirtymä eli liikkeen amplitudi. (26, s. 181.)



KUVA 4. Vapaa värähtelysteemi ja pisteen a värähtely aikatasossa (26, s. 181)

Kun massalla on värähdellellään vain yksi liikkumissuunta, sitä voidaan kutsua myös yhden vapausasteen värähtelijäksi. Tavallisella koneella, jossa värähtelyä esiintyy, on vähintään kuusi vapausastetta (kuva 5). Värähdellellään se voi

liikkua kolmeen keskenään kohtisuoraan suuntaan ja kiertyä kunkin liikkumissuunnan ympäri. (25, s. 40.)



KUVA 5. Kuuden vapausasteen värähtelijä (25, s. 40)

Herätettä kutsutaan pakkovoimaksi, kun se kohdistuu rakenteeseen. Pakkovoimat, jotka saavat rakenteen värähtelemään, aiheutuvat koneen tai sen osan viasta tai ne voivat liittyä koneen normaaliin käyntiin. Ulkoisen voiman taajuus ja amplitudi määräävät massan liikkeen. (24 s. 225; 26 s.181)

Kaikilla rakenteilla on useita ominaistajuuksia, joilla ne pyrkivät värähtelemään herätteen vaikutuksesta. Ominaisajuuksien laskeminen koneita suunniteltaessa on vaikeaa. Sen takia ominaistajuudet saattavat aiheuttaa rakenteellisia värähtelyongelmia. Myös laitteiden paikalliset ominaistajuudet saattavat aiheuttaa ongelmia. (24, s. 225 - 226.)

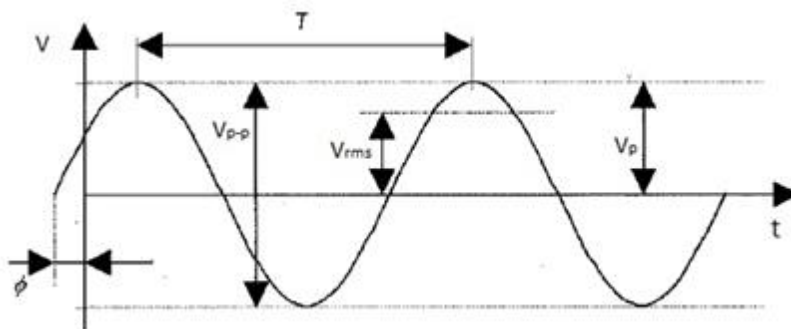
Resonanssi on ilmiö, joka aiheuttaa yleensä voimakasta värähtelyä. Käytännössä herätetaajuus ja ominaistajuus osuvat harvoin täsmälleen samalle kohdalle, mutta resonanssia ilmenee jo silloin, kun herätetaajuus ja ominaistajuus ovat lähellä toisiaan. Koneen värähtelytaso on resonanssissa yleensä hyvin korkea, sillä ainoa rajoittava tekijä amplitudin kasvulle on vaimennus. Silloin pienetkin herätteet voimistavat värähtelyä, sillä resonanssialueella rakenne on erittäin herkkä ulkoisille herätteille. (24, s. 226; 27, s. 302.)

4.1 Värähtelyn parametrit

Koneiden värähtelyä mitataan useimmiten siirtymänä, s (μm), eli poikkeamana, nopeutena, v (mm/s), ja kiihtyvyytenä, a (m/s^2 tai $g = 9,81 \text{ m/s}^2$). Värähtelyn mittaussuurena ilmaisee kohteen sijainnin suhteessa vertailupisteeseen, ja värähtelyn mittaussuurena ilmaisee kappaleen kulkeman siirtymän tietyn

ajanhetken kuluessa. Kiihtyvyytenä suoritettu värähtelyn mittaus ilmaisee kapaleen nopeuden muutoksen tietyn ajanhetken kuluessa. (24, s. 230; 25, s. 45.)

Värähtelyn tulkitsemiseen on tiedettävä mittaussuureita ja muita mittaukseen liittyviä asioita. Kuvassa 6 on esitetty signaalista saatavat perusparametrit nopeussignaalin avulla. Myös siirtymälle ja kiihtyvyydelle käytetään samoja parametreja. T on värähdysaika eli jakso, v_{p-p} on nopeuden arvo huipusta huippuun ja v_p on nopeuden huippuarvo, joka kertoo aikatasosignaalin itseisarvoltaan suurimman huipun korkeuden verrattuna nolatasoon. Nopeuden tehollisarvolla v_{rms} on yhteys värähtelyn sisältämään energiaan. Vaihekulma Φ kertoo jakson kohdan, johon värähtely on edennyt vertailukohdasta. Jos huippuarvo jaetaan tehollisarvolla, saadaan huippukerroin eli Crest Factor. Huippukerroin kuvaa signaalin piikkikkyttä, ja kohonnut arvo antaa usein viitteitä iskumaisista herätteisistä, jotka saattavat aiheutua viasta. (24, s. 231.)



KUVA 6. Mittausparametrit nopeussignaalin avulla (24, s. 231)

Kun värähtely esitetään taajuustasossa, vaak-akselina on taajuus ja pystyakselina värähtelyn amplitudi. Taajuustason amplitudit esitetään vain positiivisella puolella. Värähtelyn taajuus kertoo, kuinka monta värähdysliikettä aikayksikössä tapahtuu. Taajuuden lyhenne on f ja sen yksikkö on Hz (hertsi), joka on $1/s$. Taajuuden ja jakson välistä suhdetta kuvataan kaavalla 2. (24, s. 232.)

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{KAAVA 2}$$

f = taajuus (Hz)

T = jaksoaika (s)

Värähtelysuureita voidaan muuttaa integroimalla tai derivoimalla ajan suhteen toiseksi. Värähtelyn kiihtyvyyssignaali voidaan muuttaa integroimalla nopeudek-

si ja edelleen siirtymäksi. Derivoimalla voidaan muuttaa siirtymä nopeuden kautta kiihtyvyydeksi. (26, s. 219.)

4.2 Värähtelymittausten suorittaminen

Koneiden värähtelymittausjärjestelmän valitsemiseen vaikuttavat useat seikat kuten koneen häiriöherkkyys, luoksepäästävyys sekä laitteen kriittisyys tuotannon kannalta. Koneet voidaan luokitella eri tekijöiden mukaan, joiden perusteella mietitään kunnonvalvonnan sekä värähtelymittausten tarve. Värähtelymittauksia voidaan toteuttaa säännöllisesti kiinteällä automaattisella järjestelmällä, puolikiinteällä järjestelmällä tai kannettavilla mittalaitteilla. Tiedonkeruulaitteen ja anturien lisäksi tarvitaan analysointilaitteet. (25, s. 26, 28.)

Värähtelymittausta varten tulee valita kohteeseen sopivat menetelmät ja analysointitavat, joilla merkitsevä tieto saadaan tarkasteltavaksi ja vikaantumismekanismit voidaan tunnistaa. Myös mittausasetusten tekemiseen tarvitaan ammattilaista, joka tuntee mittaukseen vaikuttavat tekijät (24, s. 265). Esimerkiksi mittausaikaväli tulee olla laitekohtainen, ja sen on huomioitava muun muassa laitteen häiriöherkkyys sekä vaurioiden kehittymisnopeus. (25, s.29.)

4.3 Värähtelymittauksen anturit

Anturin valintaan vaikuttavat mitattavan värähtelyn taajuusalue ja mahdolliset vikatyypit. Anturin herkkyys tulee olla vallitsevan värähtelytason mukainen ja lineaarinen valvottavalla taajuusalueella. Tarvittaessa käytetään useaa erilaista anturia. Anturin rakenne ja massa määräävät ylärajataajuuden. Alarajataajuuteen vaikuttavat myös anturin sähköiset ominaisuudet. (28, s. 1 - 3.)

Anturin valintaan vaikuttavat myös anturin herkkyys ja taajuusvaste. Näiden lisäksi anturin käyttölämpötila on otettava huomioon. Anturi voidaan kiinnittää kohteeseen esimerkiksi liimaamalla, ruuvikiinnityksellä, magneettikiinnityksellä tai vahalla sekä erilaisilla kiinnityslaitteilla (24, s. 246.)

Kiihtyvyyssanturi on eniten käytetty anturi värähtelymittauksissa. Kiihtyvyyssanturi on monipuolinen ja edullinen muihin verrattuna. Värähtelyn mittaus kiihtyvyytenä ilmaisee kappaleen nopeuden muutoksen tietyn ajanhetken kuluessa. Kiihtyvyyssignaali pystytään integroimaan nopeudeksi. Tyypillinen kiihtyvyyssanturilla mitattava taajuusalue on noin 2 - 14 000 Hz. Anturin ominaisuudet ja sen kiinni-

tystapa vaikuttavat huomattavasti ylä- ja alarajataajuuksiin. Kiihtyvyyssanturin kiinnitys mitattavaan kohteeseen tapahtuu yleensä magneetilla, ruuvilla tai käsin painamalla (25, s. 45 - 47.)

Värähtelynopeus on yleisimmin kunnonvalvonnassa käytetty mittaussuure ja nopeusanturin signaalia ei yleensä tarvitse muuntaa. Nopeusanturin mittausalue on parhaimmillaan noin 5 - 2 000 Hz. Siirtymäanturilla mitataan kiinnityskohdan ja mitattavan kohteen keskinäistä suhteellista liikettä tavallisesti noin 2 mm päästä. Siirtymäanturilla mitataan esimerkiksi liukulaakeroitujen koneiden akselivärähtelyä tai pinnanmuodon muutoksia. (25, s. 47 - 49.)

Muita antureita värähtelyn mittaamiseen ovat mm. seismiset ja optiset nopeusanturit sekä iskusysäysanturit. Seismisillä nopeusantureilla mitataan absoluuttista värähtelyä taajuusalueella 10 - 1 000 Hz. Erittäin laajalle taajuusalueelle soveltuu suhteellista värähtelyä mittaavat optiset nopeusanturit. Iskusysäysanturit soveltuvat korkeataajuisen värähtelyn mittaukseen. (28, s. 2.)

4.4 Värähtelymittaukset osana kunnonvalvontaa

Kunnonvalvonta liittyy monella tavalla muihin toimintoihin yrityksessä. Kunnonvalvonta on osa kunnossapitoa, ja sen avulla tuotetaan oleellista tietoa tehtaan investointeihin, käyttöön ja kunnossapitoon. Kunnonvalvonnalla pystytään vaikuttamaan tehtaan kannattavuuteen merkittävästi ja voidaan saavuttaa muun muassa tuottavuuden kasvua. Ennen kunnonvalvontaa suoritettiin pääasiassa aistihavaintojen avulla, mutta nykyään alalla panostetaan erilaisiin mittausmenetelmiin. (25, s. 11, 13.)

Kunnonvalvonnassa käytetään mittasuureita, joiden arvot muuttuvat, jos esimerkiksi tuotteen laatu heikkenee tai koneen kunto muuttuu. Useimmiten mitataan mekaanista värähtelyä. Värähtelymittausten avulla tehtävä vianmääritys perustuu yleensä herätteiden ja erityisesti niiden muutosten selvittämiseen. Mittauspaikkana on yleensä koneen runko, sillä värähtelyn aiheuttaja on yleensä liikkeessä eikä siitä voida suoraan mitata. (24, s. 224; 26, s. 177.)

Värähtelymittausten avulla huomattava osa mahdollisista vioista voidaan todeta jo hyvissä ajoin, ennen kuin viat kehittyvät kriittisiksi koneen käytön kannalta. Mittaustoiminnan on oltava säännöllistä. Näin vikaantumisesta aiheutuvat muutokset pystytään toteamaan yksinkertaisilla mittauksilla. (27, s. 281.)

Käytönvalvonta ja kunnonvalvonta tapahtuvat joissakin tapauksissa samalla järjestelmällä ja samojen mittaussuureiden avulla. Käytönvalvonnalla prosessin toiminta varmistetaan niin, että lopputuote saadaan valmistettua tavoitteiden mukaisesti. Kunnonvalvonnan mittausten avulla myös valmistuksen laatua voidaan tarkkailla. Kunnonvalvonnan avulla prosessia pyritään kehittämään niin, että virheitä pystyttäisiin ennakoimaan ja välttämään. Tuotteiden ja toiminnan laadulla pystytään vaikuttamaan yrityksen kannattavuuteen. (5, s. 20, 25; 25, s. 14.)

Kunnonvalvonnan mittauksilla voidaan myös pyrkiä selvittämään tietyn koneen toimintakunto ja soveltuvuus prosessiin. Tällöin koneesta ei normaalin kunnossapidon tavalla etsitä vikaa, vaan tarkastellaan koneen sopivuutta koko prosessiin. Samalla voidaan myös muuttaa sen toimintatapaa paremman tuotoksen saavuttamiseksi. (25, s. 15.)

Valvonta, vianmääritys ja ennusteen laatiminen ovat kunnonvalvonnassa käytettyjä työvaiheita. Valvonnan päätarkoituksena on saada luotettava havainto normaalista poikkeavasta tilanteesta. Värähtelyvalvonnan menetelmiä on useita. Tunnuslukujen kehittymisen eli trendin seuranta on yksi yleisimmistä värähtelyvalvonnan menetelmistä. Myös taajuus- eli spektrianalyysiin perustuvaa valvontaa käytetään yleisesti. (27, s. 281 - 282.)

Tunnuslukuvalvonta

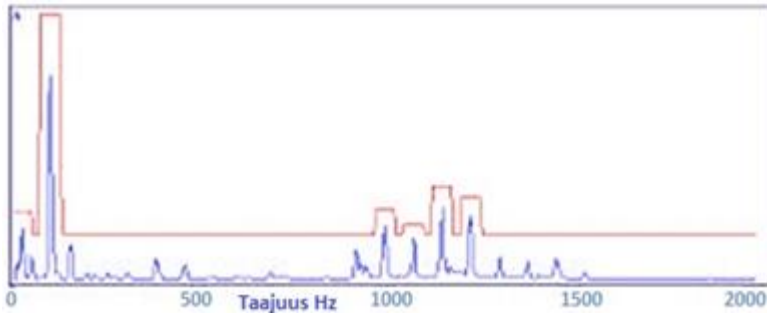
Värähtelysignaalista voidaan laskea erilaisia tunnuslukuja kuten pyörimistäänjoudella tapahtuva värähtelyn voimakkuus tai aliharmonisten värähtelykomponenttien tehollisarvo. Myös prosessiparametreja voidaan käyttää tunnuslukuina. Tunnusluvuilla voidaan määrittää kohteen toimintakunnon nykytila ja arvioida sen kehittymistä mahdollisen vikaantumis-, huolto- tai korjausajankohdan määrittämiseksi. Tunnuslukuvalvonnassa on tarpeen käyttää useita tunnuslukuja. (27, s. 282 - 283.)

Spektrivalvonta

Värähtelyspektrit muodostetaan aikatasosignaalista. Spektrivalvonnassa koneen eri osat voidaan erotella erilaisina taajuuksina ja niitä vastaavina värähtelyamplitudeina. Näin voidaan valvoa ja arvioida yksittäisten koneenosien kun-

toa. Spektrivalvonta vaatii mittausten tulkitsijalta kokemusta ja ymmärrystä, sillä spektrin kaikki piikit eivät tarkoita vikaa. (25, s. 88 - 89.)

Spektrivalvonnassa tarkastellaan useita vikaantumismekanismeja. Mitattua spektriä voidaan verrata aikaisempien mittausten perusteella muodostettuun hälytysrajaspektriin (kuva 7). (29, s. 2.) Mittauksesta aiheutuu hälytys, kun spektrihuippu lävistää hälytysrajaspektrin (25, s. 90.)

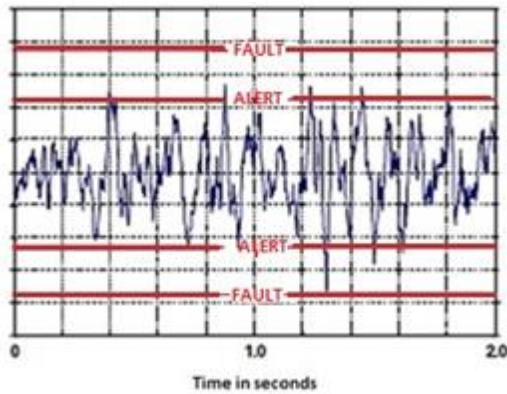


KUVA 7. Spektrivalvonta (29, s. 2)

Aikatasovalvonta

Aikatasosignaalia voidaan kunnonvalvonnassa hyödyntää monella tavalla. Koneen pintaan kiinnitetty anturi muuttaa mekaanisen liikkeen sähköiseksi suureksi ja tätä suuretta sanotaan aikatasosignaaliksi. Aikatasossa koordinaation vaaka-akselilla on aika ja pystyakselilla liikkeen amplitudi. Aikatasosta voidaan laskea erilaisia tunnuslukuja tai siitä voidaan nähdä koneessa tapahtuvia iskumaisia ilmiöitä. Lisäksi aikatasosignaalin muodosta voidaan monesti nähdä, mikä vika koneessa on. Esimerkiksi huojunta voi aiheutua sähkömoottorin sähköviasta tai nivelakselin väärinlinjauksesta. (25, s. 83 - 84; 26, s. 181.)

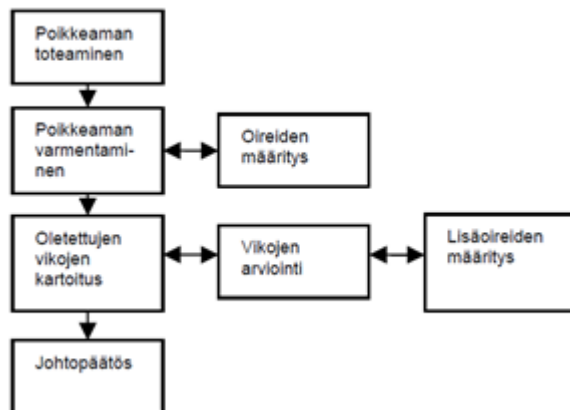
Aikatasovalvonnassa (kuva 8) näytteen muotoa voidaan vertailla valittuun hälytysrajaan. Hälytysrajana käytetään amplitudiarvoa tai hälytysrajakäyrää, joka on muodostettu referenssimittauksen perusteella. (29, s. 2.)



KUVA 8. Aikatasovalvonta (29, s. 2)

4.4.1 Vianmäärityksen vaiheet

Kun laitteen todetaan käyttäytyvän normaalista poikkeavasti, käynnistetään vianmääritys. Sen tarkoituksena on selvittää, aiheutuuko todettu poikkeama laitteessa olevasta viasta vai jostain muusta syystä. Vianmääritys etenee kuvassa 9 esitetyn kaavion mukaisesti. (27, s. 290.)



KUVA 9. Vianmäärityksen kulku (30, s. 4)

Poikkeama voidaan huomata esimerkiksi kunnonvalvonnan hälytysrajan ylittymisenä. Poikkeama voi olla myös muu muutos kuten prosessin ohjausjärjestelmän hälytys tai sen voi todeta aistihavainnoin. Myös koneen huonontunut suorituskyky voi toimia vianmäärityksen impulssina. (27, s. 290.)

4.4.2 Vianmäärityksen analysointi ja johtopäätökset

Sitten poikkeama analysoidaan huolellisesti, jotta vältetään virheelliset johtopäätökset. Aikatasosta tyypillisesti havaittavia poikkeamia eli oireita voivat olla

jakson epäsäännöllisyydet, hitaasti tapahtuvat muutokset ja korkeat iskumaiset huiput. Värähtelyspektristä havaittavia oireita voivat olla esimerkiksi

- muun kuin pyörimistaajuuden perustaajuuden ja sen monikertojen amplitudi
- yksittäiset spektrihuiput
- laajakaistainen satunnaisvärähtely
- värähtelyn voimakkuus eri mittaussuunnissa (27, s. 291.)

Ennen johtopäätösten tekoa tulee huomioida koneetyypille mahdolliset viat. Tämän jälkeen suljetaan pois vaihtoehtoja, jotka eivät voi olla koneen rakenteen takia vikana. Samalla huomioidaan myös se, että joidenkin oireiden tulee näkyä ja toisten puuttua vikatyypin mukaan. Joillakin oireilla taas ei ole merkitystä kyseisen vian kannalta. Ongelmana koneiden diagnostiikassa on se, kuinka korkealle tai matalalle värähtelytaso voi nousta, ennen kuin vika on kehittynyt kriittiselle tasolle. (27, s. 291 - 292.)

5 LAADUN KEHITTÄMINEN BRIKETÖINTILAITOKSELLE

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on jatkaa briketin laadun kehittämistä. Edellytyksenä briketin tasaiselle ja riittävän korkealle laadulle on esimerkiksi se, että muotti täytetään tasaisesti mahdollisimman homogeenisella betonilla. Briketin valmistuminen täytyy edetä jouhevasti aina kuivatushalliin saakka. Myös betonin kosteus sekä koneen toiminta ja sen asetukset täytyy olla briketöitävälle betonille sopivat. Ylimääräisiä keskeytyksiä ja nykäyksiä sekä muita poikkeamia prosessin aikana tulee välttää.

Tässä opinnäytetyössä briketin laadun kehittämisessä keskitytään lähinnä briketöintikoneeseen sekä siihen, minkälaisia vaikutuksia koneen eri säädöillä on briketin laatuun. Tuloksia luettaessa on huomioitava, että ne on saatu tietyllä briketin reseptillä (liite 3). Tuloksia ei voida siis soveltaa suoraan muille resepteille, joita briketöinnissä käytetään.

5.1 Veden määrän optimointi

Veden määrän optimointi aloitetaan tammikuussa niin sanotulla nopealla testillä. Vettä lisätään seokseen portaittain aina 3 - 5 panoksen jälkeen. Testaus tehdään tuotannon aikana ja vettä lisätään mikseriin kuivasekoituksen päätyttyä. Vettä lisätään niin, että seoksen kosteusprosentiksi saadaan 8 - 9,5 % tasaisin välein ja että kosteuserot on selkeästi todennettavissa testeissä. Betonin todellinen kosteusprosentti saadaan tietoon vasta muutaman tunnin päästä itse veden lisäyksestä ja testauksista, joten veden litramääräinen lisäys tehdään laskelman mukaan. Laskelma ei huomioi raaka-aineiden kosteuksissa mahdollisesti tapahtuvia muutoksia, joten veden lisäyksen vaikutus kosteusprosenttiin voidaan aluksi vain arvioida.

Tavoitteena on lisätä betoniseoksen kosteutta 0,5 % kerrallaan, mikä tarkoittaa sitä, että vettä lisätään noin 13 litraa/resepti eli 23 -24 litraa/panos. Jokaisen testierän ensimmäinen ja viimeinen aluslevy merkitään sen löytämisen helpottamiseksi parin vuorokauden jälkihoidon jälkeen.

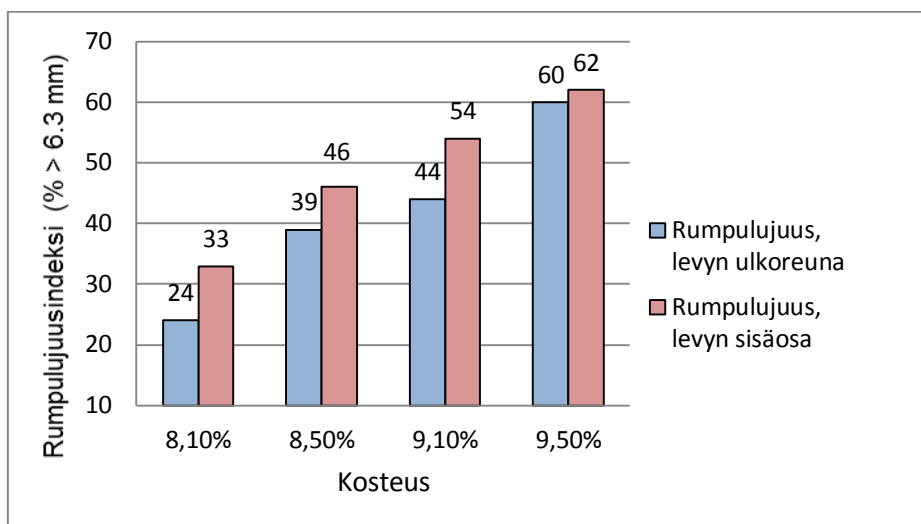
Kun briketit ovat saaneet kuivatushallissa jälkihoitoa noin 50 tuntia, testibriketit kerätään talteen. Kustakin neljästä testierästä kerätään talteen yhteensä 30 kg brikettejä, 15 kg aluslevyn ulkoreunalta ja 15 kg sisäosista. Ulkoreunat ja sisä-

osat halutaan erotella, jotta nähdään tulevia testejä varten, onko brikettien lujuus sama aluslevyn eri kohdissa. Kustakin kahdeksasta 15 kg:n erästä punnitaan ja mitataan korkeus kymmenestä briketistä keskitiheyden määrittämistä varten. Kaikille 15 kg:n erille tehdään lopuksi rumpulujuustesti.

Testin seuraavassa osiossa vettä lisätään 0,5 % välein alkaen 9,50 % aina 11,0 % saakka. Testissä edetään samalla tavalla kuin aiemmassakin kosteustestissä, mutta vettä lisätään 1 - 2 panoksen välein. Nopeammat vaihtovälit tehdään sen takia, että välttyttäisiin seoksen paatamisongelmilta ja voitaisiin pitää yllä normaalia tuotantoa testien jälkeenkin.

5.1.1 Pikatestien tulokset

Kosteustestien ensimmäisessä vaiheessa todelliset kosteusprosentit jakautuivat sopivasti. Ensimmäinen erä alhaisimmalla kosteudella oli 8,10 %, toinen erä 8,50 %, kolmas 9,10 % ja kostein erä, erä neljä, oli 9,50 %. Rumpulujuustulokset on esitetty kuvassa 10. Kuvasta näkyy, että tällä reseptillä tehdyt briketit ovat rumpulujuustestillä mitattuna sitä lujempia, mitä kosteampaa seos on. Huomioitavaa testissä oli, että ensimmäisen erän briketit olivat silminnähden hauraita niin tuoreina kuin jälkihoidon jälkeenkin.



KUVA 10. Kosteustestien rumpulujuustulokset

Kosteustestien toisessa vaiheessa testattiin brikettien rumpulujuuksia hiukan korkeammilla kosteusarvoilla. Testin toisessa erässä seos jäi aluksi kiinni briketöntikoneen annostelusuppiloon. Testejä pystyttiin kuitenkin jatkamaan suppilon

tärytyksen jälkeen. Muita silminnähtäviä ongelmia ei toisessa testierässä ilmennyt. Briketit olivat hyvännäköisiä ja ne irtosivat muotista ja painimesta hyvin.

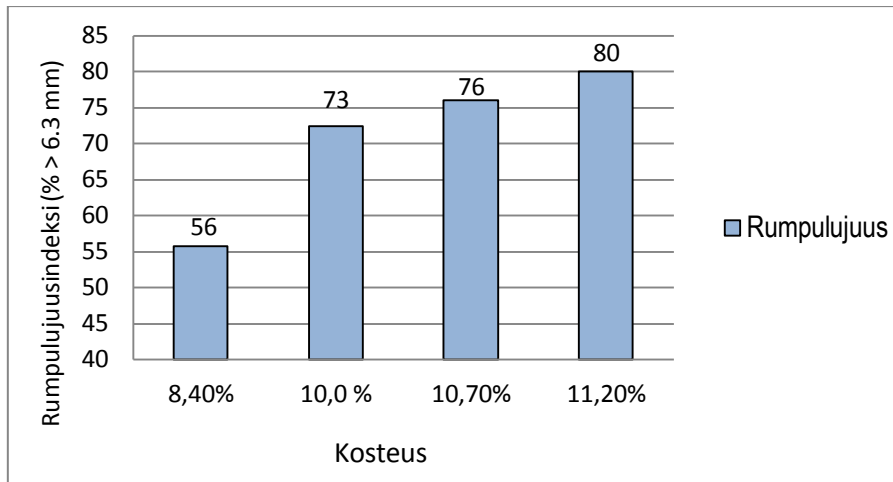
Kolmannessa testierässä tavoitekosteutena oli 10,5 %, mutta seoksen todellinen kosteus oli 11,2 %. Kosteuseron vaikutukset tuotantoon olivat tässä erässä jo silminnähtäviä (kuva 11). Kuva hajonneista briketeistä on otettu noin 50 tunnin jälkihoidon jälkeen. Briketit olivat koneelta tullessaan liejuisia ja melkein puolet briketeistä oli juuttunut muottiin ja painimeen brikettejä purettaessa. Betonia levisi myös briketöintikoneen ympäristöön. Näiden ongelmien vuoksi päätettiin olla testaamatta viimeistä erää eli 11,0 % tavoitekosteutta.



KUVA 11. Kosteimman erän briketit eivät pysyneet koossa

Todellisia kosteuksia määriteltäessä todettiin, että toisen vaiheen testissä käytetyt kosteudet olivat tavoiteltua suuremmat. Erien kosteusprosentit olivat 10 %, 10,7 % ja 11,2 %. Kosteusprosentit jakautuivat kuitenkin sopivin välein, joten testiaineisto pystyttiin hyödyntämään. Testien aikana helmikuussa keli oli hyvin märkä, joten tämä saattoi vaikuttaa seoksen kosteuteen ja siihen, kuinka paljon vettä reseptiin olisi pitänyt lisätä. Vertailun vuoksi testissä otettiin niin sanottuja referenssibrikettejä normaalituotannosta. Referenssierän kosteus oli noin 8,5 %.

Toisessa testivaiheessa 15 kg:n rumpulujuusnäytteen briketit kerättiin ympäri aluslevyä, eikä erikseen ulkoreunasta ja sisäosasta kuten testin ensimmäisessä vaiheessa. Kuvasta 12 voidaan todeta, että kosteuden yhä lisääntyessä myös rumpulujuus kasvaa edelleen.



KUVA 12. Toisen vaiheen rumpulujuustulokset kosteustesteissä

5.1.2 Liiallisen kosteuden vaikutukset briketöintiprosessissa

Veden määrän optimointiosion viimeisessä vaiheessa haluttiin nähdä, missä veden lisääminen ensimmäisenä näkyy. Briketöintilaitoksella on ollut tiedossa, ettei kyseisellä laitteistolla voida työstää kovin märkää seosta, sillä se paataa koneiden ja laitteiston pintoihin. Tässä testiosiossa haluttiinkin dokumentoida seoksen mahdollinen paataminen. Ensimmäisenä testipäivänä seoksen kosteus pidettiin 8,9 % tietämällä eli lähellä normaalia tuotantoajoa. Mikseri, sen purkusuppilo, täyttölaatikko ja painin kuvattiin puhtaana siivouksen jälkeen, sekä uudelleen noin kolmen tunnin tuotantoajan jälkeen.

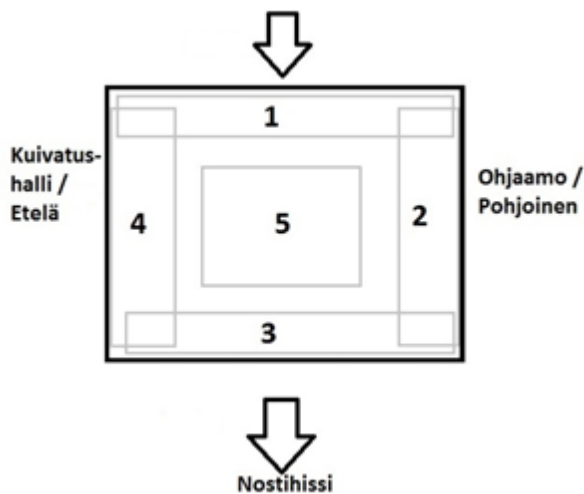
Seuraavana päivänä samat kohteet kuvattiin siivouksen jälkeen ja kolmen tunnin tuotantoajan jälkeen uudestaan, kun kosteusprosentti pidettiin normaalia hiukan korkeamana, 9,8 %:ssa. Kuvien perusteella on nähtävissä, että jo kolmen tunnin tuotantoajan jälkeen 0,9 %:n kosteusero näkyy betonin paatumisena laitteistoon (liite 4).

5.2 Briketöintikoneen säätöparametrien vaikutus briketin laatuun

Osana opinnäytetyötä tehtiin erilaisia testejä vaihdellen briketöintikoneen asetuksia. Testien tuloksia seurattiin rumpulujuustestillä ja määrittämällä briketeille tiheys korkeuden ja painon perusteella.

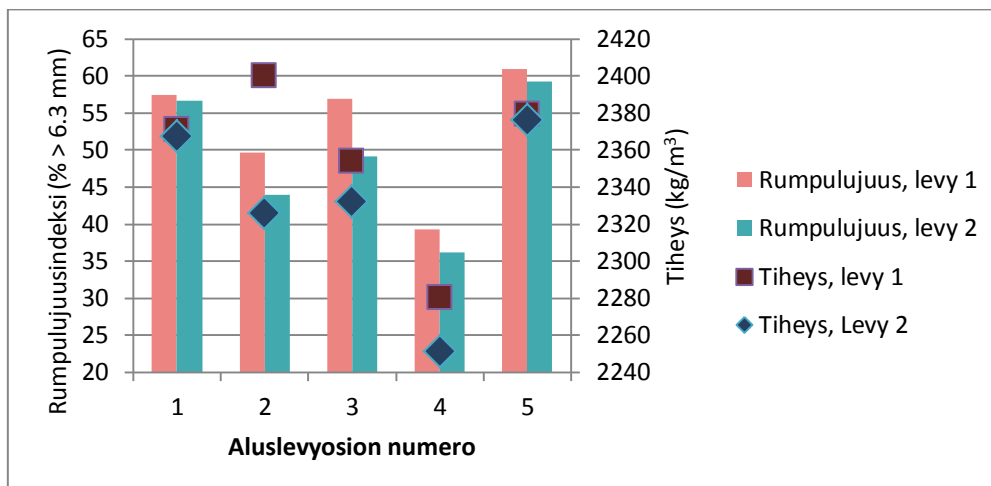
5.2.1 Muotin täyttö ja laadun tasaisuus normaalin tuotannon aikana

Jo testien alussa oli tiedossa, ettei muotin täyttö ole aivan tasaista. Aluslevyn laidan briketit ovat heikompia. Ensimmäisessä testissä otettiin kahdesta summittaisesta aluslevystä, jälkihoidon saaneita brikettejä, eri puolilta levyä (kuva 13). Jokaisesta osiosta kerättiin 15 kg brikettejä rumpulujuustestiä varten ja jokaisen 15 kg:n erälle määritettiin keskitiheys kymmenen satunnaisesti valitun briketin painon ja korkeuden avulla.



KUVA 13. Aluslevyn osiot

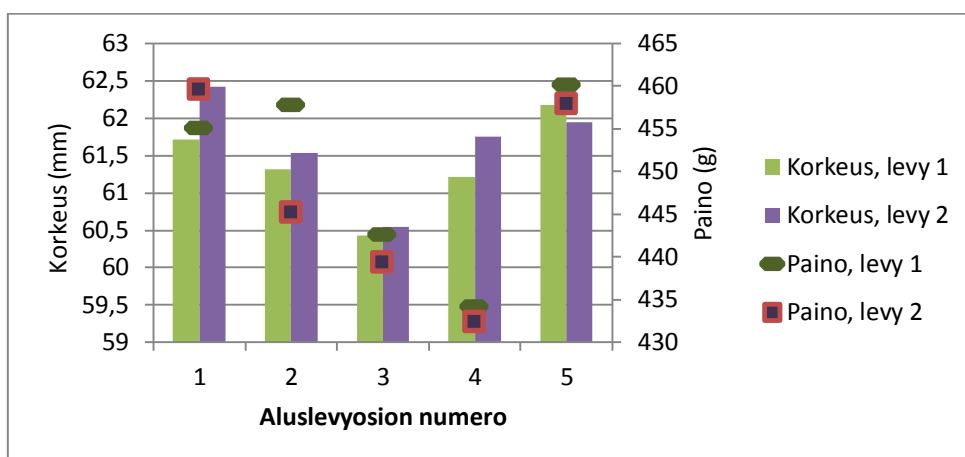
Tulokset on esitetty kuvassa 14. Tuloksista huomataan, että briketin lujuudessa voi olla pientä hajontaa eri aluslevyjen kesken, mutta tässä testissä on tärkeämpää vertailla keskenään aluslevyn eri osioiden välisiä eroja. Molemmissa aluslevyissä huonoimmat ja parhaimmat briketit näyttävät olevan samassa kohdassa, joten tuloksia on mielekästä tarkastella rinnakkain.



KUVA 14. Rumpulujuuden ja tiheyden arvot aluslevyn eri kohdissa

Etelän puoleisella sivulla osiossa 4 briketit ovat kaikkein heikoimpia ja myös tiheys on pienin. Pohjoispuolella osiossa 2 briketit ovat toiseksi heikoimpia. Lujimmat briketit ovat keskellä aluslevyä osiossa 5. Selityksenä tälle voi olla se, että suurin osa purkusuppilon betonista purkautuu kasamaisesti täyttölaatikon keskusta ja laidoille jää näin ollen vähemmän massaa. Myös suurimmat partikkelit tai kokkareet saattavat lajittua täyttölaatikossa enemmän sivummalle purkautuessaan suppilosta.

Testeissä havaittiin myös, että täyttölaatikon etuosaan jää vähemmän betonia kuin osioihin 1, 2 ja 5 (kuva 15), mutta painin puristaa briketeistä kuitenkin tiiviitä. Kunnossapito siirsi testin jälkeen täyttölaatikkoa hieman eteenpäin massan lisäämiseksi levyn etuosassa.

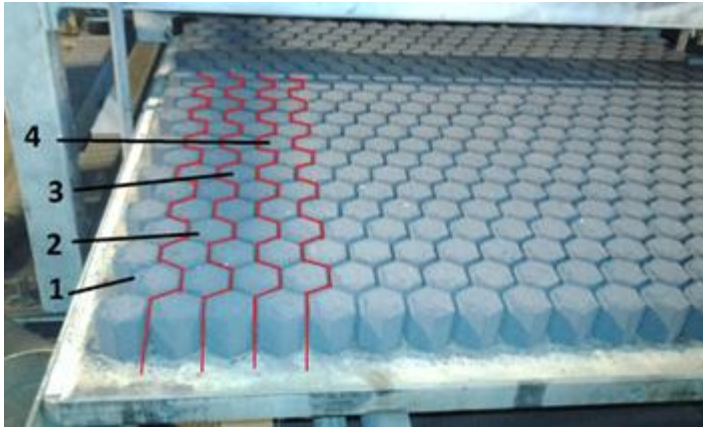


KUVA 15. Brikettien keskipaino ja -korkeus aluslevyn eri osissa

Massaltaan vähiten betonia kulkeutuu aluslevyn eteläsivulle eli osioon 4 eikä painin ylety tai jaksa puristaa briketeistä riittävän tiiviitä ja lujia. Myös pohjoissivun eli osion 2 briketit jäävät lujuudeltaan heikommiksi kuin osioiden 1, 3 ja 5. Syyksi tähän aluksi ajateltiin kuivatushallissa hieman keskeltä alaspäin taipuneita levyjä, kun kääntölaitteen jälkeen levyt ovat kuperia keskeltä ylöspäin. Muotti puristetaan 3,5 bar:n paineella aluslevyä vasten ja painin painaa brikettejä ensin 6 ja lopulta 8 kN:n voimalla aluslevyä vasten. Varmuutta kieron levyn ja epätaiteisen laadun yhteydestä ei tämän työn yhteydessä saatu.

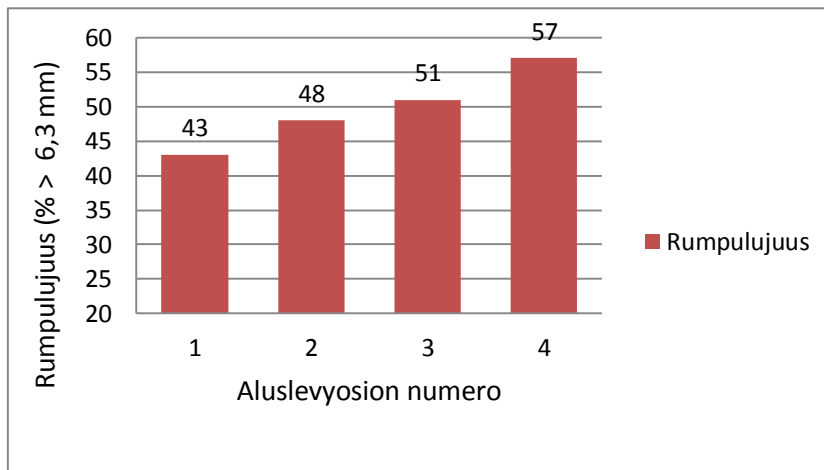
Laidan heikompien brikettien syyksi on epäilty myös sitä, ettei täyttölaatikko täytetty tasaisesti ihan laitemmaisilla briketteillä, mutta se ei ollut tarkkaan tiedossa,

kuinka monta brikettiriviä jää heikommaksi. Helmikuussa tehtiin vielä testi, jossa katsottiin, kuinka nopeasti eteläpuoleiset briketit alkavat saamaan lujuutta keskelle päin aluslevyä mentäessä. Testin brikettejä kerättiin kahdelta aluslevyltä. Yksi aluslevyn osio oli kaksi riviä (kuva 16).



KUVA 16. Aluslevyn osat laidasta keskelle päin mentäessä

Testin perusteella rumpulujuus paranee kahdeksan reunimmaisen rivin kohdalla huomattavasti eli 14 prosenttia (kuva 17). Täten testibriketit rumpulujuuskoetta varten on kerättävä tasaisesti ympäri aluslevyä.



KUVA 17. Brikettien lujuuden paraneminen reunalta keskelle päin mentäessä

5.2.2 Testit muuttaen tärypöydän säätöparametreja

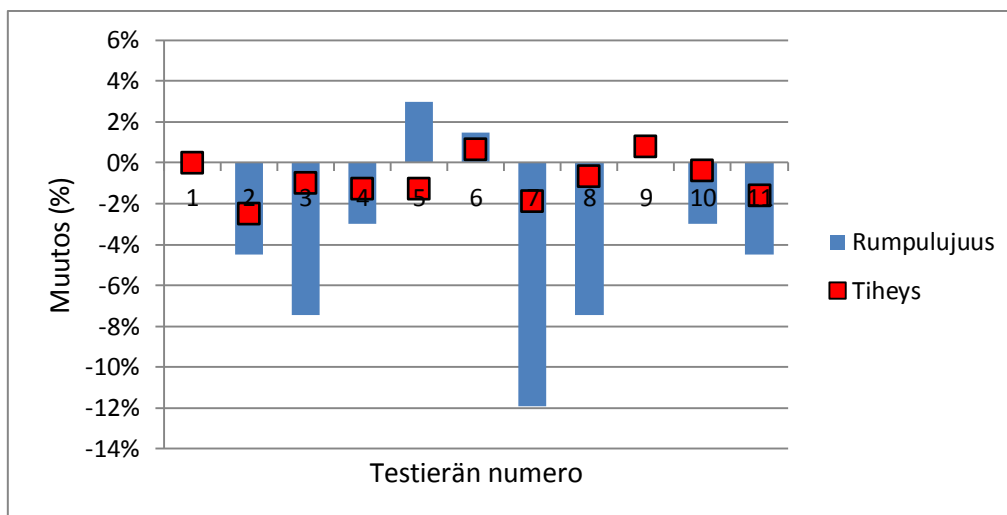
Testit, joissa muutettiin tärypöydän säätöparametreja, tehtiin suunnitelman mukaan (taulukko 1). Esi- ja päätärytysaika pidettiin vakiona ja muutoksia tehtiin moottorin kierroslukuun ja kulmaan. Tekijät vaikuttavat tärytyksen taajuuteen ja intensiteettiin. Testi nro 10:ssä 3 000 rpm ja kulma 105 astetta yhdessä ylittivät

koneen sallitut arvot, joten alennettiin kierroslukua 2 900. Testin aikana tehtiin myös värähtelymittauksia, joista on kerrottu luvussa 5.3.

TAULUKKO 1. Suunnitelma tärypöydän säätöjen testaamiseen

Testi nro	ESITÄRYTYS Kierrosluku (rpm)	ESITÄRYTYS Kulma (°)	ESITÄRYTYS Aika (s)	PÄÄTÄRYTYS Kierrosluku (rpm)	PÄÄTÄRYTYS Kulma (°)	PÄÄTÄRYTYS Aika (s)
1	2800	75	Vakio	2800	95	Vakio
2	2500	75		2800	95	
3	3000	75		2800	95	
4	2800	60		2800	95	
5	2800	90		2800	95	
6	2800	75		2500	95	
7	2800	75		3000	95	
8	2800	75		2800	80	
9	2800	75		2800	105	
10	2800	75		2900 / 3000	105	
11	2800	75		2500	80	

Rumpulujuustulokset ja kymmenen briketin keskitiheydet on esitetty kuvassa 18. Ensimmäinen testierä on tehty normaalin tuotantoajan mukaan eli se on niin sanottu referenssierä, jossa rumpulujuusindeksi on 67. Muita tuloksia on verrattu referenssierään ja tulokset on ilmoitettu prosentuaalisena muutoksena.



KUVA 18. Rumpulujuuden muutos verrattuna referenssibriketteihin

Kuvasta 18 huomataan, että tuotannossa käytettävät arvot ovat tällä hetkellä sopivia käytössä olevalle reseptille ja suurin osa muissa erissä kokeiltuja arvoja

antaa heikomman laatuista brikettejä. Paremmat rumpulujuustulokset tulevat vain erässä 5, jossa rumpulujuusindeksi on 69 ja erässä 6, jossa rumpulujuusindeksi on 68. Erän 9 briketit ovat yhtä lujia kuin referenssierän. Parhaat briketit testin aikana on tullut, kun päätärytyksen kierrosluku on pidetty 2 500 - 2 800 rpm:ssä. Huonoimmat arvot tulevat erässä 7, jossa päätärytyksen kierrosluku on nostettu 3 000 rpm:n. Sen rumpulujuusindeksi on 59.

Kaiken kaikkiaan testin brikettien rumpulujuusarvot 59 - 69 ovat hyvä. Täryt ovat tärkeä osa briketin tiivistymisessä agglomeroitiprosessissa. Tärytyksen täytyy olla riittävän iso, mutta liian suuri tärinä voi heikentää syntyviä sidoksia ja briketin lujuutta.

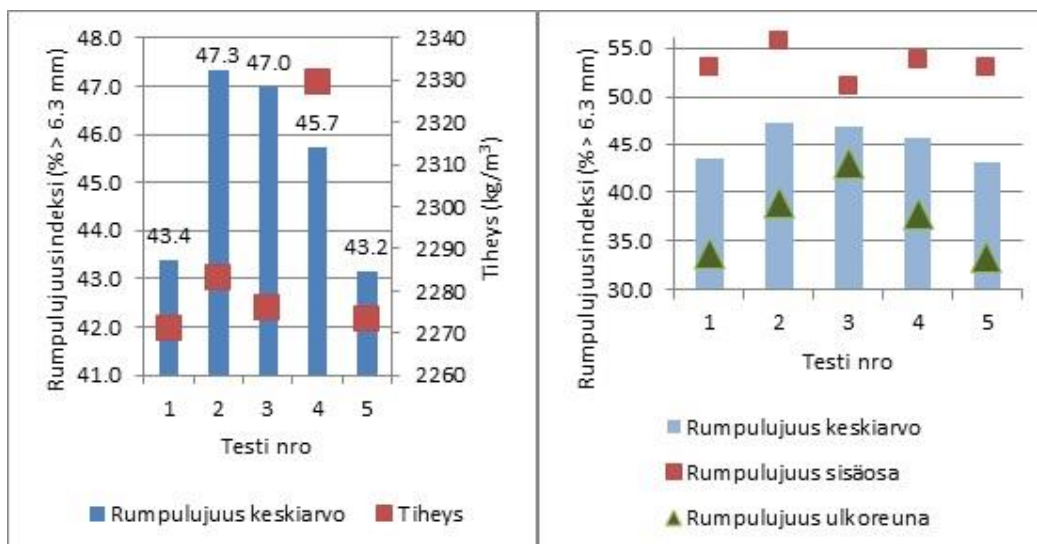
5.2.3 Testit muuttaen muotin täytön aikaisia asetuksia

Muotin täyttöön vaikuttavat täyttölaatikon täyttötaso, täyttölaatikossa oleva materiaali, täyttölaatikossa olevien välppien työkierto sekä esitärytys. Tasaisen laadun saamista aluslevyn ulko- ja sisäreunoilla testattiin muuttamalla taulukon 2 mukaisia arvoja. Testissä nro 1 on referenssiasetukset eli samat, jotka on säädetty normaaliin tuotantoajoon.

TAULUKKO 2. Muotin täytön optimointi -testin säätöparametrit

Testi nro	Täyttötaso (%)	Välppien työkierto (kpl)	Esitärytysaika (s)
1	70	7	2.3
2	70	7	2.8
3	85	7	2.8
4	85	5	1.8
5	55	7	2.8

Testin tulokset näkyvät kuvassa 19. Vasemman puoleisessa kuvaajassa on ilmoitettu kunkin testierän rumpulujuusindeksi sekä tiheys. Oikean puoleisessa kuvassa on vihreällä ja punaisella eritelty rumpulujuusindeksin eroja aluslevyn sisäosassa ja ulkoreunalla. Rumpulujuusarvot ovat kauttaaltaan huonot verrattuna esimerkiksi 5.2.2 luvussa esitetyn testin tuloksiin. Syy tähän voi olla kosteudessa, materiaalissa tai koneen säädöissä.



KUVA 19. Muotin täytön optimointitestin tulokset

Testin perusteella näyttää, että koneen säätöparametreja muuttamalla voidaan parantaa muotin tasaista täyttymistä jonkin verran. Testissä nro 3 aluslevyn sisäosan ja ulkoreunan briketit ovat lujuudeltaan lähimpänä toisiaan, kun täyttötaso on mahdollisimman korkea sekä välppien työkierto ja esitärytysaika pitkät. Käytännössä on kuitenkin huomattu, että jos täyttölaatikon täyttötaso on korkea, eivät välppät jaksa aina viedä työkiertoa loppuun.

5.3 Värähtelymittaukset briketöintilaitoksella

Briketöintikoneen esi- ja päätärytys vaikuttavat oleellisesti briketin tiivistymiseen ja sitä kautta briketin laatuun. Briketöintilaitoksella on tarkoitus tulevaisuudessa asentaa pysyvät värähtelymittauslaitteet briketöintikoneeseen, mikäli mittauksista saadaan käyttökelpoisia tuloksia. Tämän opinnäytetyön aikana värähtelymittaukset tehtiin sekä normaalituotannon aikana että testien aikana, jolloin muutoksia tehtiin tärymoottoreiden sekä täyttölaatikon asetuksiin. Luvuissa 5.2.2 ja 5.2.3 on esitetty testien eteneminen sekä testien tulokset briketin laadun kannalta.

5.3.1 Värähtelymittauksien suorittaminen briketöintilaitoksella

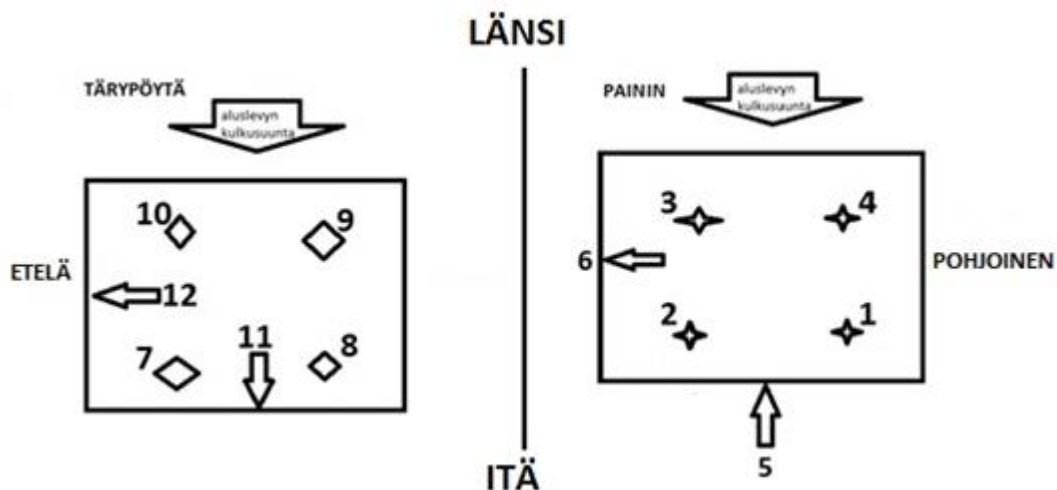
Värähtelymittaukset aloitetaan asentamalla kuusi kiihtyvyyssanturia painimeen ja kuusi tärypöydän pohjaan. Anturit ovat IMI Sensorsin valmistamia. Painimen anturit ovat herkkyydeltään 100 mV/g ja tärypöydän 10 mV/g. Siten signaali, jonka voimakkuus on painimessa 100 mV tai tärypöydässä 10 mV, vastaa kiih-

tyvyydeltään yhtä g:tä. Anturit kiinnitetään vaarnaruuveilla, joten niitä ei mittauksien välissä irroteta kohteesta. Kuvassa 20 näkyy painimeen kiinnitetty anturi.



KUVA 20. Painimeen kiinnitetty anturi, johon on merkitty kanavanumero

Kuvassa 21 vasemmalla on esitetty anturien paikat ja suunta tärypöydässä. Oikean puoleisessa kuvassa on esitetty anturien paikat painimessa. Salmiakkineliö kuvaa anturia fyysisesti alhaalta ylöspäin. Tähti kuvaa anturia, jonka suunta on fyysisesti ylhäältä alaspäin. Nuolet kertovat sivusuunnassa värinää mittaavien anturien suunnan. Molempia kuvia katsotaan ylhäältä päin. Antureita testattaessa huomattiin, että anturi 12 on irronnut, joten se päätettiin jättää mittauksista pois.



KUVA 21. Anturien paikat ja suunnat tärypöydässä ja painimessa

Antureista johdetaan kaapelit Zonic Book / 618E Dynamic Signal Analyzer -nimiseen signaalin analysointi- ja valvontajärjestelmään. Sen lisäksi mittauslaitteistoon kuuluu UPS-varavoimalaite sekä KLM 1500 230/230-

suojaerotusmuuntaja. Tieto tallennetaan ja sitä katsellaan tietokoneen avulla. Laitteisto on esitetty kuvassa 22. Tulosten analysoinnissa käytettiin eZ-Analyst- ja eZ-Tomas -ohjelmia.

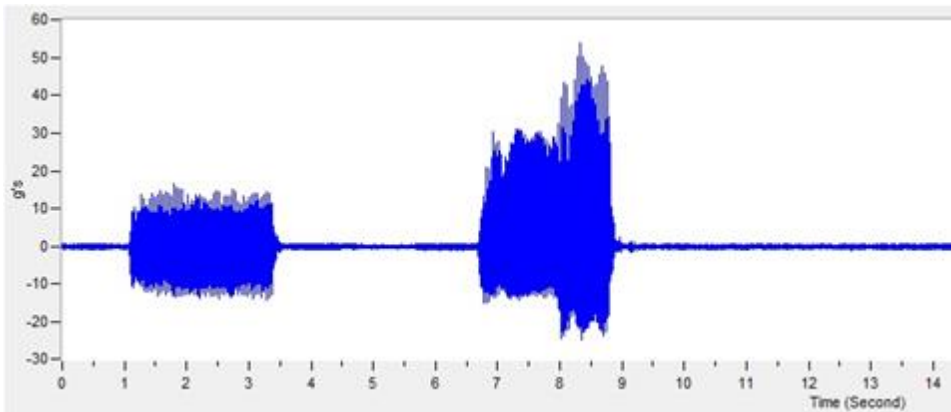


KUVA 22. Värähtelymittauslaitteisto

Värähtelymittaukset aloitetaan valitsemalla oikeat asetukset ja testaamalla laitteistoa. Asetukset annetaan Ruukilta värähtelymittauksiin perehtyneeltä henkilöltä. Spektrin maksimitaajuudeksi valitaan 1 000 Hz ja spektriviivojen lukumääräksi 25 600. Aikatason näytteiden määrä 65 536 lasketaan kertomalla viivojen määrä kertoimella 2,56. Samaa kerrointa käyttämällä näyteenottotaajuudeksi saadaan 2 560 1/s. Näytteiden väli 0,00039 sekuntia saadaan näyteenottotaajuuden käänteislukuna, jonka ohjelma laskee suoraan.

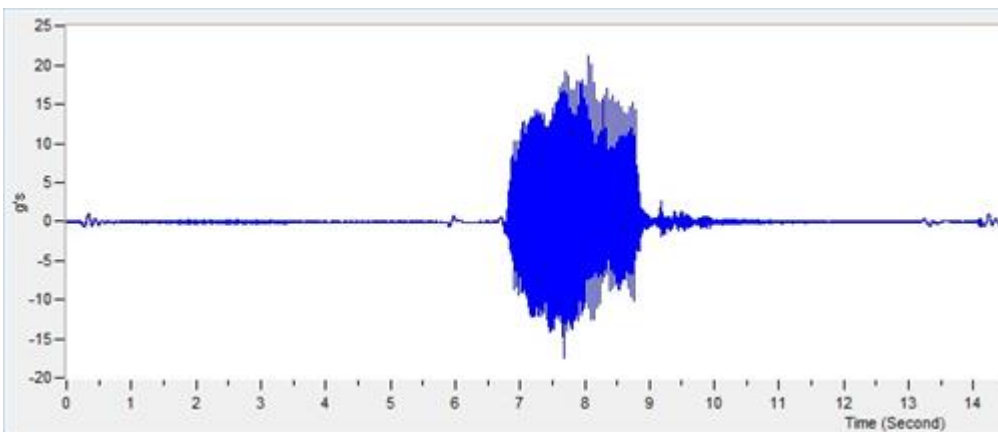
Aikaikkunan pituus on 25,6 sekuntia. Se voidaan laskea kertomalla näytteiden määrä ja näytteiden väli keskenään. Asetukset valitaan niin, että aikatasoikkunassa on mahdollista nähdä yhtä aikaa ainakin yksi esi- ja päätärytys eli yhden aluslevyn kulku briketöintikoneen läpi. Kiihtyvyyden yksikkönä käytetään g:tä.

Kuvassa 23 on esitetty kiihtyvyyssignaali tärypöydän anturista 10 aikatasossa. Ensimmäinen 1 sekunnin kohdalla alkava värähtely kuvaa esitärytystä, ja hiukan ennen 7 sekunnin kohdalla alkava, loppua kohti korkeampia kiihtyvyyksiä saava värähtely kuvaa päätärytystä. Huomioitavaa tärypöydän mittauksissa on se, että pystysuoralla akselilla olevan kiihtyvyyden negatiiviset arvot kuvaavat anturin fyysistä liikettä eteenpäin, eli negatiiviset arvot kuvaavat sitä, minkälainen kiihtyvyys on nimenomaan brikettejä kohti.



KUVA 23. Tärypöydän aikatasosignaali esi- ja päätärytyksen aikana

Kuvassa 24 on esitetty painimen anturista 3 mitattu värinä aikatasossa. Kuva 23 ja 24 on otettu samalta ajanhetkeltä. Painimen anturi sijaitsee vastaavalla kohdalla kuin anturi 10 tärypöydässä. Myös painimen antureilla negatiiviset kiihtyvyyssignaalit aikatasossa tarkoittavat anturin fyysistä liikettä eteenpäin. Kuvan negatiivinen signaali kertoo, minkälainen kiihtyvyys on brikettiin päin. Esitärytyksen aikana painin on yläasennossa eikä osallistu prosessiin, joten esitärytyksen ei kuulukaan näkyä painimen mittauksissa. Päätärytyksen aikana painin on painaa muotissa olevaa betonia tärypöydän päällä.



KUVA 24. Painimen aikatasosignaali päätärytyksen aikana

5.3.2 Värähtelymittausten analysointi

Värähtelymittauksissa ja etenkin niiden analysoinnissa haasteita oli useita. Yleensä värähtelymittauksia tekee värähtelyn hyvin tunteva henkilö tai henkilöt. Lisäksi mittaajan täytyy tuntea prosessi tarkasti ja yleensä värähtelymittaukset halutaan yhdistää prosessiparametreihin lisätiedon saamiseksi.

Usein mittauksia suoritetaan koneille ja laitteille, joiden itsetarkoituksena ei ole värähdellä mutta joita erilaiset herätteet kuitenkin aiheuttavat. Kunnonvalvon-
nassa värähtelymittauksia tehdään pääasiassa siksi, että voidaan valvoa ko-
neenosien kuntoa ja toisaalta myös siksi, että yleensä värähtelyn vaikutukset
koneisiin ja tuotantoprosesseihin ovat pääsääntöisesti haitallisia (25, s. 40).

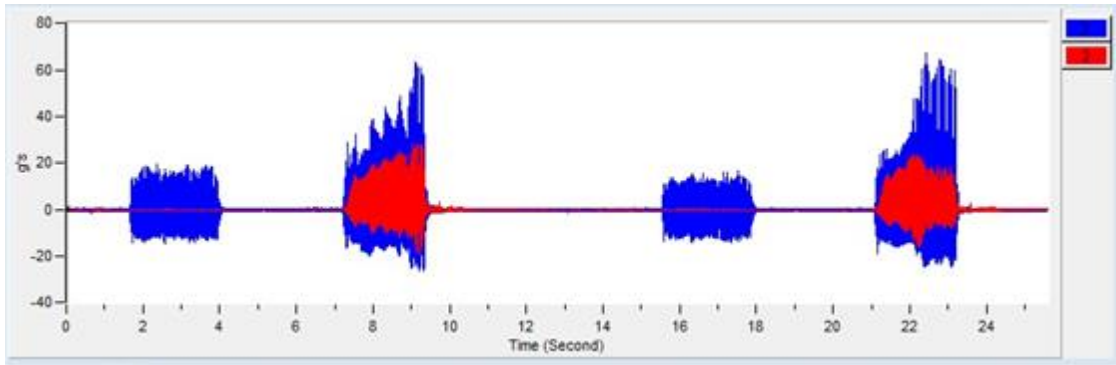
Ruukin briketöintilaitoksella mittauskohteena on kone, jonka tarkoituksena on värähdellä. Riittävä värähtelytaso takaa briketille hyvän tiivistymisen ja vaikuttaa sitä kautta briketin laatuun. Koneen tärinä on siis tarkoituksella aiheutettu.

Tärypöydän moottoreiden kierrosnopeudeksi on säädetty 2 800 rpm:n eli taa-
juus on noin 46,7 Hz. Samaan aikaan painin painaa yläpuolelta betoniseoksella
täytettyjä muottisoluja ensin 6 kN voimalla ja tietyt ehdot saavutettuaan korke-
ammalla 8 kN voimalla. Painin laskeutuu päätärytyksen aikana muotissa tiivis-
täten samalla brikettejä. Kun maksimaalinen tiivistyminen on saavutettu, painin
ei laske enää alemmas. Jos päätärytys kestää liian kauan, siirtyvät tärytysvoi-
mat vaimentumattomina tiivistetystä betonista painimeen ja painin alkaa hyppiä.
(11, s. 25.) Luvussa 5.2.1 esitetystä tuloksista voidaan huomata, että brikettien
tiheyksissä aluslevyn eri kohdissa on eroja. Se heijastuu myös brikettien mak-
simaaliseen tiivistymiseen ja toisaalta betonin kautta välittyviin voimiin.

Värähtelymittauksien tuotosta tarkasteltaessa aikatasossa kiihtyvyyssignaalin
muoto vaihtelee eri mittauspisteiden ja toisaalta samassa mittauspisteessä eri
mittausten välillä. Muuttujia, jotka voivat vaikuttaa värähtelyyn, ovat esimerkiksi
hieman käyrät ja eri materiaalia olevat aluslevyt tai muutokset muotin täytössä
eli betonia on muotin soluissa vaihtelevia määriä. Näitä tekijöitä yksityiskohtai-
sesti oli mahdotonta jäljittää mittausten aikana.

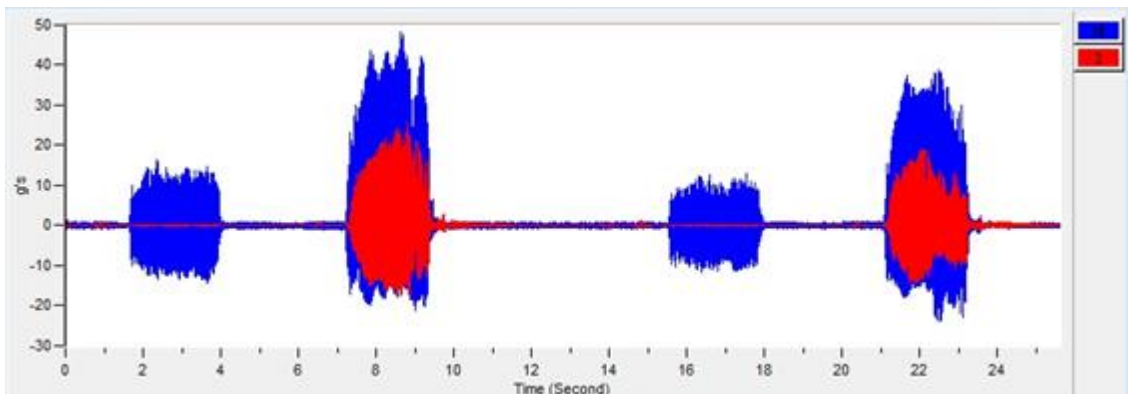
Kuvassa 25 on kuvattu aikatasossa 5.2.2 luvussa esitetyn testin aikana saatu
signaali kaakon puoleisten anturien kaksi peräkkäistä esi- ja päätärytystä. Pu-
nainen signaali on painimen anturista 2 ja sininen signaali on tärypöydän antu-
rista 7. Kuvan 33 kiihtyvyys ei kahden mittauksen välillä sinänsä radikaalisti
kasva tai laske ainakaan negatiivisella puolella, mutta muita muutoksia on ha-
vaittavissa. Painimen huippukiihtyvyydet tulevat ensimmäisessä päätäryssä
vasta loppupuolella ja jälkimmäisessä päätäryssä huippuarvot tulevat jo täryn

puolivälissä. Myös tärypöydän signaali on molempiin suuntiin hieman erilainen. Kiihtyvyyksien huiput ovat toisiinsa verrattuna samat.



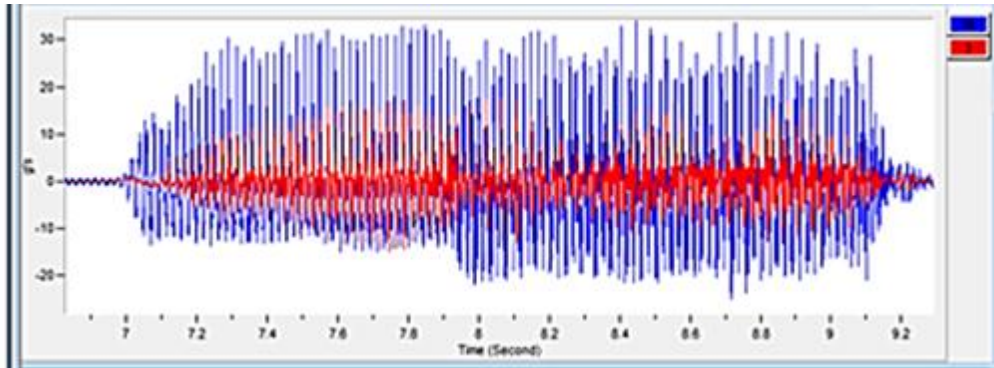
KUVA 25. Signaalin eroavaisuudet eri levyjen välillä

Kuvassa 26 on samaan aikaan kuvan 33 kanssa mitattu signaali lounaan puoleisesta kulmasta. Punainen signaali on painimen anturi 3 ja sininen tärypöydän anturi 10. Vertailemalla kuvia voidaan huomata, että signaalin luoma muoto eroaa toisistaan kahden anturipaikan välillä samalla levyllä. Myös kiihtyvyys on molempiin suuntiin hieman isompi kuvassa 25, kun seuraa pystyakselia.



KUVA 26. Anturien 3 ja 10 kiihtyvyyssignaalit aikatasossa

Yhtäläisyyksinä kuvista voidaan nähdä se, että täryjen kesto on vakio. Myös päätäryyn tarkennetusta kuvasta (kuva 27) voidaan nähdä, että noin puolivälissä täryä signaali muuttuu. Myös tämä on havaittavissa kaikissa päätäryjen signaaleissa eri mittauspisteiden välillä.



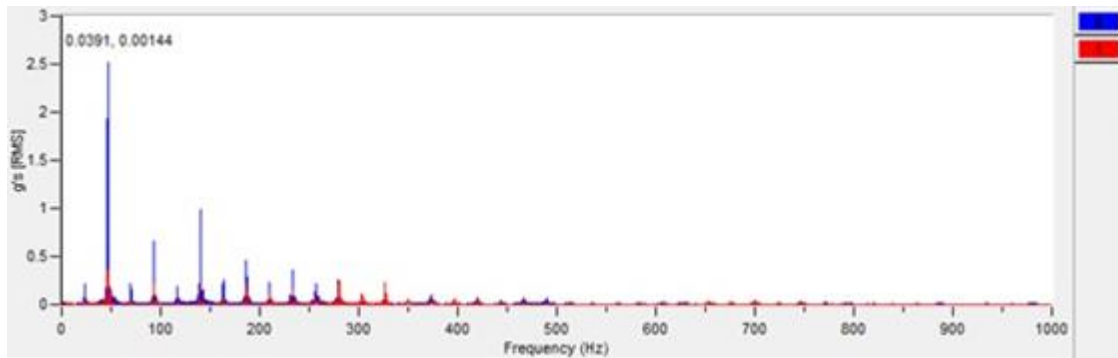
Kuva 27. Päätäryn signaalissa tapahtuva muutos

Briketöintikoneelle kiinteästi asennettavalla värähtelymittausjärjestelmällä voidaan tulevaisuudessa saada tietoa briketin laadun muutoksista ja sitä voidaan hyödyntää myös kunnonvalvonnassa, mikäli hälytysrajat saadaan asennettua järkevästi. Värähtelymittausten avulla tieto ongelmista voitaisiin saada jo ennen kuin niitä aistihavainnoilla ehditään todeta.

Hälytysrajana voisi olla esimerkiksi vakiona testien aikana pysynyt täryjen kesto. Mikäli jokin neljästä tärymoottorista tai sen välitysosista vioittuu, tulee täri- nästä jatkuvaa. Hälytysrajoja asetettaessa on huomioitava, että esi- ja päätäryjä on käsiteltävä erikseen. Esitärytyksen mittaus voisi alkaa esimerkiksi siitä, kun täyttölaatikko on muotin päällä eli raja saavutettu. Päätärynä voisi alkaa taas siitä, kun painin on laskeutunut soluihin eli tietty alaraja saavutettu.

Toisaalta tällä hetkellä ohjaamo sijaitsee koneen vieressä ja sieltä voi selkeästi kuunnella, milloin täryt ovat päällä. Mikäli täryt jäisivät päälle, se pystyttäisiin havaitsemaan aistihavainnoin. Mikäli ohjaamon paikkaa tulevaisuudessa siirretäisiin, voisi tällaisesta hälytyksestä olla hyötyä. Pelkkiä kameroita seuraamalla täryjen toimintaa voi olla hankala havaita.

Toinen kiinteillä tärinämittauksilla saatava hälytettävä tieto voisi olla se, jos signaalissa tai spektrissä (kuva 28) huomataan suuria poikkeuksia. Hälytysrajojen asettajalta vaaditaan ammattitaitoa niin värähtelyn kuin prosessinkin tuntemuksessa.



KUVA 28. Taajuusspektri normaalin tuotantoajan aikana

Tämän työn yhteydessä tehtyjen mittausten perusteella ei pystytä sanomaan, minkälainen on optimaalinen värähtely briketin laadun kannalta, mutta värähtely sinänsä on tärkeää. Värähtelytestin aikana ei saatu lavastettua normaalista tuotannosta poikkeavia tilanteita, joissa esimerkiksi törmäys- ja kulutuslistojen vällykset tai muut prosessin aikana kuluvat osat olisivat olleet tarpeeksi kuluneita tai jossa huonolaatuinen aluslevy olisi vaikeuttanut briketin valmistamista. Lavastamalla erilaisia tuotannon laatua huonontavia tilanteita voitaisiin saada tietoa mahdollisesti asetettaviin hälytyksiin.

5.4 Testitulosten yhteenveto ja kehitysehdotukset

5.4.1 Kosteustestit

Brikettien rumpulujuus tulokset paranivat lineaarisesti, mitä kosteampaa betoni oli. 8,1 %:n kosteudella briketit olivat silmin nähden heikkoja. Alkuvaikeuksien jälkeen 10,7 %:n kosteudella tuotantoajoa pystyttiin ajamaan onnistuneesti yhden panoksen verran. Briketeistä tuli hyvännäköisiä ja rumpulujuudeltaan 76 % > 6,3 mm eli hyviä. Kostein testierä 11,2 % tarttui muottia täytettäessä koneelle, ja vain noin puolet aluslevyn briketeistä säilytti muotonsa. Onnistuneitten brikettien lujuudeksi mitattiin jopa 80 % > 6,3 mm.

Kostean betonin koneisiin paataminen ja sitä kautta siivoustarpeen lisääntyminen on tiedetty ongelmaksi. Ongelmallisia kohteita kuvatessa huomattiin paatamisongelmaa jo käytetyllä 0,9 % kosteuserolla.

Tällä hetkellä briketöintilaitoksella tuotanto keskeytetään päivittäin 2,5 h ajaksi, jolloin mikseri ja kone siivotaan. Siivous tapahtuu ihmistyöllä, ja se koetaan rasakaksi. Betonin kosteus vaikuttaa oleellisesti briketin lujuuteen, joten on hyvä

pyrkiä ajamaan mahdollisimman kostealla betonilla, mutta kuitenkin niin, ettei siivouksen tarve lisääny. Jatkossa on hyvä miettiä keinoja siivouksen helpottamiseksi, jotta tuotannossa pystyttäisiin ajamaan riittävän kostealla betonilla.

Paraikaa on ajateltu koneille kokeiltavan erilaisia pinnoiteratkaisuja, johon betoni ei tartu. Vastaavissa laitoksissa erikokoiset mikserit on käännetty eri asentoon, jolloin puhdistaminen onnistuu pyörittämällä sepelikiviä sen sisällä. Myös tilan lisääminen ja avaroittaminen esimerkiksi mikserin kattoa aukaisemalla helpottaisi siivoustyötä, kun kohteeseen ei tarvitse ryömiä siivouskaluston kanssa.

5.4.2 Koneen säätöparametritestit

Työn yhteydessä tarkasteltiin muotin epätasaista täyttymistä. Kahdeksan rivin matkalla aluslevyn eteläreunalta keskelle päin mentäessä rumpulujuus parani tasaisesti yhteensä 14 % > 6,3 mm. Samalla todettiin myös, että heikoimmat briketit ovat aluslevyn etelä- ja pohjoispuolen reunoilla.

Tasaisemman täytön saamiseksi tulevaisuudessa voisi kokeilla tasoittaa betonia täyttölaatikossa tasaisesti ja testata sitten rumpulujuusarvot eri puolilta aluslevyä. Mikäli epätasainen täyttö on seurausta täyttölaatikon betonikasasta, niin erisuunnissa liikkuvat tai erimuotoiset, esimerkiksi auranmuotoiset (31), välpät auttaisivat betonin levittymisessä tasaisemmin. Myös suppilon täyttöaukon suurentaminen tai betonin ohjaaminen täyttölaatikon eripuolille voisi auttaa. Samalla voisi tarkastella sitä, onko brikettien laatu yhtä epätasaista sekä muovisilla että puisilla aluslevyillä. Niitä vertailemalla voisi löytää eroja levyjen taipumisessa.

Testejä tehtiin muuttaen tärymoottorien kierroslukua ja kulmaa. Testeissä kävi ilmi, että parhaat briketit tulivat päätärytyksen kierrosluvun ollessa 2 500 - 2 800 rpm:ää. Huonoimmat briketit tulivat, kun päätärytyksen kierroksia nostettiin 3 000 rpm:ään. Tosin kaikki testin briketit olivat lujuuksiltaan hyviä ja lujuudet jakaantuivat 59 - 69 % > 6,3 mm välille.

Seuraavassa testissä muutettiin muotin täytön aikaisia asetuksia. Niillä pyrittiin saamaan muotille tasainen täyttö. Tasaisinta muotin täyttö oli, kun täyttötaso oli mahdollisimman korkea sekä välppien työkierto ja esitärytysaika pitkä.

Oudoksuntaa testeissä herätti se, että rumpulujuusarvot laskivat kahden viikon aikana testien 5.2.2 ja 5.2.3 välillä huomattavasti. Kaikki jälkimmäisessä testissä tehdyt rumpulujuustulokset olivat keskimääräisesti alle 50 % > 6,3 mm, kun aiemman testin rumpulujuusarvot olivat 59 % > 6,3 mm tai parempia, vaikka reseptille eikä koneen asetuksille tehty testien välissä mitään isompia muutoksia.

Yhtä selittävää tekijää rumpulujuusarvojen romahtamiselle ei löytynyt. Toisaalta koneen asetusten muutokset eivät lisänneet rumpulujuustuloksien hajontaa näin voimakkaasti. Prosessia olisikin hyvä tarkastella kokonaisuutena yksittäisistä raaka-aineista kuivatushalliin saakka ja sitä kautta pyrkiä löytämään rumpulujuuden romahtamisen syy. Näin uudessa laitoksessa monet ongelmat saattavat ilmetä ensimmäistä kertaa, ja sen takia ongelman paikallistaminen on haastavaa. Haasteita lisää myös se, että rumpulujuustuloksen tullessa kyseisiä brikettejä on ehditty valmistaa jo vähintään kaksi vuorokautta.

5.4.3 Briketöintikoneen värähtelymittaukset

Värähtelymittauksia suoritettaessa haasteena oli muun muassa se, että yleensä värähtelymittauksia suoritetaan koneille ja laitteille, joilla värähtely on niin sanottu sivutuote, eikä koneen tärinällä ole tuotannolle positiivisia seurauksia. Ruukin briketöintilaitoksella mittaushaasteena on kone, jossa värähtely on tarkoituksella aiheutettu. Oikeanlainen ja riittävä värähtely takaa briketille hyvän tiivistymisen ja vaikuttaa sitä kautta laatuun.

Vaikka värähtely on tärkeä tekijä briketin valmistuksessa, testien aikana jotkin muut prosessiin vaikuttavat tekijät vaikuttivat enemmän briketin laatuun kuin muutokset täryjen säädöissä. Briketöintikoneelle kiinteästi asennettavalla värähtelymittausjärjestelmällä voidaan tulevaisuudessa saada tietoa reaaliaikaisesti sekä laadun- että kunnonvalvontaan. Värähtelymittausten hyödyntäminen kuitenkin edellyttää järkevien hälytysrajojen asettamista, jossa luonnolliset poikkeamat sallitaan.

5.5 Ohjeistus tuotannolle laadun varmistamiseksi

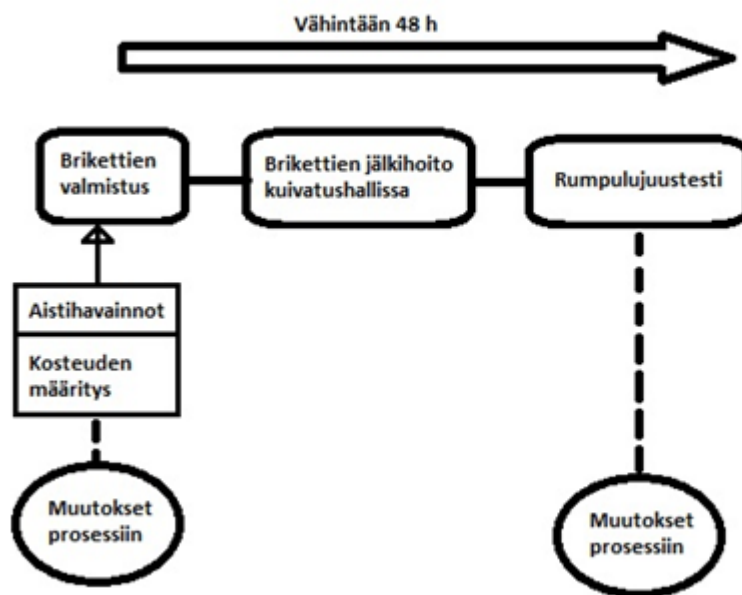
Kerätyn palautteen perusteella ja testeistä saatujen tietojen perusteella tehtiin seitsemänsivuinen ohjeistus tuotannolle briketin laadun varmistamiseksi (liite 5).

Absoluuttisia arvoja briketin laadun takaamiseksi on mahdotonta antaa, sillä esimerkiksi tarvittava kosteus voi muuttua briketin reseptin muuttuessa, ja sen takia ohjeistus tehtiin riittävän yleisellä tasolla.

Ohjeistus jaettiin osioihin huomioiden laadun varmistuksen eri näkökulmia. Ohjeistuksessa huomioitiin muun muassa aistihavainnot, rumpulujuustesti, kosteuden määrittäminen ja laboratoriot varten tehtävä näytteenotto, jotka ovat tärkeitä osa laadun tarkkailua briketöintilaitoksella.

6 VAIHTOEHTOJA NOPEUTTAMAAN BRIKETIN LAADUN TARKKAILUA

Tällä hetkellä briketin lujuutta voidaan testata rumpulujuustestillä vasta sen jälkeen, kun brikitit ovat saaneet jälkihoitoa parin vuorokauden ajan kuivatushallissa (kuva 29). Rumpulujuustestin perusteella tehdyt muutokset prosessiin pystytään tekemään myöhään, ja kyseisillä parametreilla on ehditty valmistaa brikkettejä jo parin vuorokauden ajan.



KUVA 29. Laaduntarkkailu briketöintilaitoksella

Ruukilla olisi toiveena etsiä luotettava menetelmä, jolla brikettien laatua voitaisiin arvioida jo tuoreesta briketistä tai mahdollisimman pian briketin valmistumisen jälkeen. Tällä hetkellä betonille tehdään joka vuorossa muutaman tunnin kestävä kosteuden määrittäminen, jonka avulla voidaan säätää betonin kosteutta. Myös silmämääräiset ja muut aistinvaraiset havainnot voivat olla ärsykkeenä tehtäville muutoksille. Toisaalta silmämääräisesti ei pystytä arvioimaan briketin laatua, mikäli brikitit eivät ole selkeästi huonompia tai kokonaan rikkonaisia tuoreeltaan. Aistihavaintojen pohjalta on myös mahdotonta arvioida briketin tulevaa lujuutta.

6.1 Tuoreen briketin tiheyden määrittäminen

Tätä opinnäytetyötä tehdessä ja jo aiemmin on huomattu, että tiheällä briketillä on yleensä parempi rumpulujuus. Tämän takia tuoreen briketin tiheyden määrittäminen voisi antaa viitteitä tulevasta rumpulujuudesta ja laadusta. Tällä hetkellä tiheyden määrittäminen onnistuu punnitsemalla ja mittaamalla korkeus tuoreesta briketistä. Tiheyttä on kuitenkin arvioitava kriittisesti ja huomioitava betonin suhteellinen kosteus.

Tuoreen briketin tiheys voitaisiin määrittää heti briketöintikoneen jälkeen. Mitattava briketti tai briketit pitäisi kerätä aina samasta kohdasta, sillä aluslevyn laidoilla briketit ovat yleensä heikompia lujuudeltaan ja myös tiheydeltään kuin levyn sisäosan briketit. Brikettejä käsiteltäessä on varottava brikettien rikkoutumista, sillä tuoreet briketit hajoavat helposti ja kuivemmat briketit vielä helpommin. Helpoin tapa saada tuore briketti ehjänä nostettua, on kerätä se aluslevyn ulkoreunalta. Aluslevyn keskellä olevien brikettien väliin eivät sormet mahdu ja nostettavan briketin ympäriltä pitäisi ensin kerätä ylimääräiset briketit pois.

Myös korkeusmitta pitäisi olla tarpeeksi tarkka ja helppokäyttöinen, ettei brikettiä tarvitsisi liikutella ja käänellä turhaan. Tiheyden määrittämistä varten tietokoneelle voitaisiin tehdä valmis laskuohjelma, jolla tiheys saadaan tuotannossa laskettua vaivatta painon ja korkeuden avulla.

Tiheyden mittaamisen haastavin osuus on luultavasti reunaehtojen määrittäminen. Reunaehdot määrittävät sen, minkälaisella tiheydellä briketeistä tulee tarpeeksi lujia. Niiden avulla oikeiden johtopäätösten tekeminen tiheyden perusteella olisi mielekäästä. Tiheyden ja lujuuden suhdetta voitaisiin määrittämisen aikana seurata merkitsemällä päivittäin ylös tuoreen briketin tiheys ja vertaamalla sitä jälkihoidon saaneen briketin rumpulujuusarvoihin.

Mikäli löydetään järkevä ja käyttökelpoinen korrelaatio tuoreen briketin tiheydelle ja tulevalle lujuudelle, tiheyden mittaamisen perusteella prosessimuutokset voitaisiin tehdä lähes välittömästi. Näin väärillä prosessiparametreilla ei ehdittäisi ajaa kahta vuorokautta. Vaikka prosessi pysäytettäisiin briketin haun ajaksi, tiheyden määrittämisestä saatavat hyödyt olisivat kannattavia.

6.2 Mahdollisuudet betonin ja briketin laadun tarkkailuun

Lujabetoni Oy:lla on käytössä Intensive Compaction tester (myöhemmin IC-tester), jolla pystytään testaamaan betonin työstettävyyttä. IC-testeriä käytetään muun muassa uusien betonilaatujen kehittämisessä ja sillä havaitaan tuotannossa olevan betonin laatueroja. Aiheesta opinnäytetyön on tehnyt Rautiainen vuonna 2013. (3, s. 7.)

IC-tester on kokoonpuristavuuslaite, jonka avulla voidaan määrittää betonin tiheys optimoidulla paineella. Rautiaisen opinnäytetyössä IC-testerillä puristetut koekappaleet laitettiin lämpölaatikkoon lujuusreaktion kiihdyttämistä varten ja massan kovettumista seurattiin lämpötilanseurantalaitteella, loggerilla. Lujuustestinä käytetään puristuslujuustestiä ja koekappaleet testataan 8 ja 24 tunnin sekä 28 päivän ikäisinä. (3, s. 7, 23 - 24.)

Briketöintilaitoksella IC-testerin avulla voitaisiin vertailla betonin homogeenisyyttä eri panosten ja eri reseptien välillä. IC-testerillä voitaisiin mitata tietyllä paineella kokoonpuristetun betonin tiheys ja havaita mahdollisia laatueroja betonissa. IC-testerillä pystytään pureutumaan nimenomaan työstettävään betoniin, mutta sillä ei pystytä määrittämään sitä, kuinka briketöintikone toimii ja mikä koneelta tulevan briketin lujuus mahdollisesti on jälkihoidon jälkeen.

6.3 Lujuudenkehityksen nopeuttaminen lämpökaapin avulla

Mikäli yksittäisten testibriketin lujuuden kehittymistä pystyttäisiin nopeuttamaan esimerkiksi lämpökaapin avulla, voitaisiin lujuuksia mitata jo ennen normaalituotannon jälkihoidon päättymistä. Lujuudenkehitystä nopeuttamalla rumpulujuustestiä tai muita sovellettavia lujuustestejä voitaisiin tehdä joko IC-testerillä tehdyille testikappaleille tai briketöintikoneen puristamille briketeille. Jos lämpökaapin avulla lujuustesti pystyttäisiin tekemään esimerkiksi jo 24 h päästä, huonolaatuisten brikettien tuotantoon pystyttäisiin puuttumaan puolet aiemmin nykyisen 48 h sijaan.

7 YHTEENVETO

Työssä jatkettiin briketin laadun kehittämistä Ruukin Raahen terästehtaan briketöintilaitoksella. Kehittämisessä keskityttiin briketöintikoneen tarkasteluun ja sen säätömahdollisuuksiin. Testeissä huomioitiin myös muotin täytön ja tiivistämisen aikainen tärytys. Koneen värähtelyn arvioinnissa käytettiin värähtelymittausta. Myös betoniin käytettävän vesimäärän optimointi oli osana työtä ja liian vesimäärän aiheuttamat vaikutukset tuotantoon haluttiin dokumentoida.

Opinnäytetyön osatavoitteena oli etsiä briketin laadun tarkkailuun sopiva mittari tai laitteisto, jolla briketin laatua pystyttäisiin arvioimaan jo ennen jälkihoidon päättymistä kuivatushallissa. Lopuksi tuotannolle laadittiin seitsemänsivuinen ohjeistus briketin laadun varmistamiseksi.

Kehitysosiossa testien yhteydessä selvisi, että betonin kosteuden lisääntyessä 8,1 %:sta 11,2 %:iin briketin lujuus paranee. Liian kosteat briketit tosin heikentävät tuotantoa, sillä kaikki briketit eivät irtoa muotista ja liian märkä betoni lisää siivouksen tarvetta. Veden lisäys on siis tehtävä harkiten.

Testeissä todettiin myös, ettei muotin täyttö ole tasaista. Syy tähän tulisi selvittää ja kehittää prosessia niin, että briketit olisivat entistä tasalaatuisempia. Briketöintikoneen tämänhetkiset säädöt todettiin olevan suhteellisen hyvät testien aikaisen briketin reseptille. Oikeanlaisilla hälytysrajoilla värähtelymittauksista voisi olla hyötyä briketöintikoneen kunnonvalvonnassa ja myös briketin laadunvalvonnassa, mutta tämä vaatii vielä enemmän perehtymistä asiaan.

Kehitysideana briketin tuotantoketjua tulisi tarkastella kokonaisuutena ja miettiä syitä briketin laadun yhtäkkisille vaihteluille. IC-testerillä ja lämpökaapin avulla voitaisiin tulevaisuudessa nopeuttaa laadun seurantaa. Myös tuoreen briketin tiheyden mittaamista voisi testata käytännössä. Samalla tulisi seurata sitä korreloiko tuoreen briketin tiheys jälkihoidon saaneen briketin rumpulujuuden kanssa.

LÄHTEET

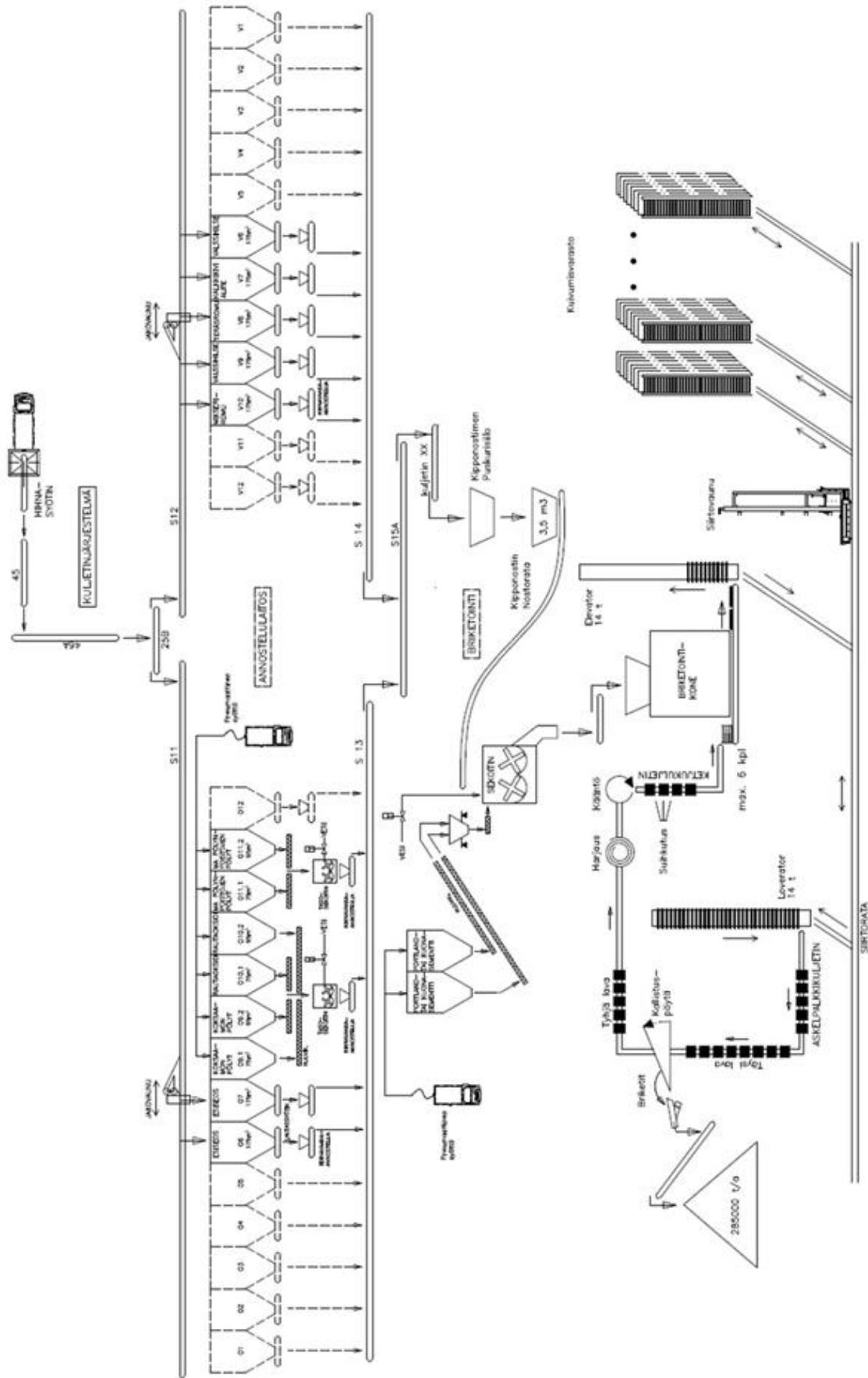
1. Pietsch, Wolfgang 2002. Agglomeration Processes. Penomena, Technologies, Equipment. Weinheim: Wiley-WCH Verlag GmbH.
2. Pisilä, Sauli 2009. Sekundäärisistä raaka-aineista valmistetun masuunibriketin ominaisuudet. Diplomityö. Oulu: Oulun yliopisto, prosessi- ja ympäristötekniikan osasto.
3. Rautiainen, Juuso 2013. Ontelolaattabetonin kehittäminen ic-testerin avulla. Opinnäytetyö. Savonia-ammattikorkeakoulu, tekniikan ja liikenteen ala. Saatavissa:
http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/67942/Rautiainen_Juuso.pdf?sequence=1. Hakupäivä 3.3.2014.
4. Rapidsementti. Finnsementti. Saatavissa:
<http://www.finnsementti.fi/tuotteet/sementit/rapidsementti>. Hakupäivä 7.4.2014
5. Lecklin, Olli 2006. Laatu yrityksen menestystekijänä. Talentum: Helsinki.
6. Möttönen, Markus 2013. Prosessiparametrien vaikutus masuunibriketin laatuun. Diplomityö. Oulu: Oulun yliopisto, prosessi- ja ympäristötekniikan osasto.
7. Tietoa yhtiöstä. 2013. Ruukki. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tietoa-yhtiosta>. Hakupäivä: 10.12.2013.
8. Briketöintilaitos. Prosessikaavio. 2010. Sisäinen dokumentti. Rautaruukki Oyj.
9. Tuomikoski, Sakari 2013. Insinööriyönsuunnitelma: Jenni Kallunki - Insinööriyö – ”Briketöinnin säädöt ja laatutavoitteet”. Ruukki Metals Oy:n sisäinen raportti. Raahe.
10. Suomalainen sementti. Sementtiopas. Finnsementti Oy. Saatavissa:
<http://www.finnsementti.fi/files/pdf/Sementti-opas.pdf>. Hakupäivä 7.2.2014.

11. Hess. Peruskoulutus. Betonituotteita valmistavien koneiden käytön peruskoulutus. Kansio: Briketöintilaitteistot, käyttö- ja huolto-ohjeet. Maschinenfabrik HESS GmbH & CO KG.
12. Veijola, Jenni 2012. Kylmäagglomeroidun masuunibriketin sideaineen lujittuminen. Diplomityö. Oulu: Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto.
13. Mitä tuotteen laatu tarkoittaa? 2012. Kookas. Saatavissa: <http://www.kookas.fi/articles/read/6559>. Hakupäivä: 12.12.2013.
14. Silén, Timo 2001. Laatu, brandi ja kilpailukyky. Porvoo: WS Bookwell Oy.
15. Veini, Mervi 2008. Laadunhallinnan lyhytoppimäärä. Saatavissa: <http://www.veini.net/laatu.html>. Hakupäivä: 12.12.2013.
16. Ball, D. F. - Dartnell, J. - Davison, J. - Grieve, A. 1973. Agglomeration of Iron Ores. London: Heinemann Educational Books Limited.
17. Pisilä, Sauli 2007. Selvitys tehtaan sisäisesti kiertävien raaka-aineiden briketöinnistä. Sisäinen raportti. Raahe: Rautaruukki Oyj.
18. Pisilä Sauli, 2008. Briketöinnin jatkoraportti. Sisäinen raportti. Raahe: Rautaruukki Oyj.
19. Polet, Jouni, 2009. Sekundäärysten ja primäärysten raaka-aineiden käyttö masuunibriketissä. Sisäinen raportti. Raahe: Rautaruukki Oyj.
20. Singh, Maneesh – Björkman, Bo 2003. Use of cement-bonded agglomerates as burden material for blast furnace. EPD Congress 2003. Minerals, Metals & Materials Society.
21. Lampinen, Lasse – Honkavuori, Raimo 1982. Betonitekniikan oppikirja. Materiaalit, työnsuoritus, laatutekniikka. Jyväskylä: Suomen Betoniyhdistys – Finska Betongföreningen r.y.
22. Hess. Huolto-ohje betonituotteiden valmistuskoneelle. Kansio: Briketöintilaitteistot, käyttö- ja huolto-ohjeet. 3. Painos. Raahe: Rautaruukki Oyj.
23. Kaurala, Markku – Ojala, Seppo 2014. Kunnossapito, Ruukki Metals Oy. Raahe. Keskustelu 3.1.2014.

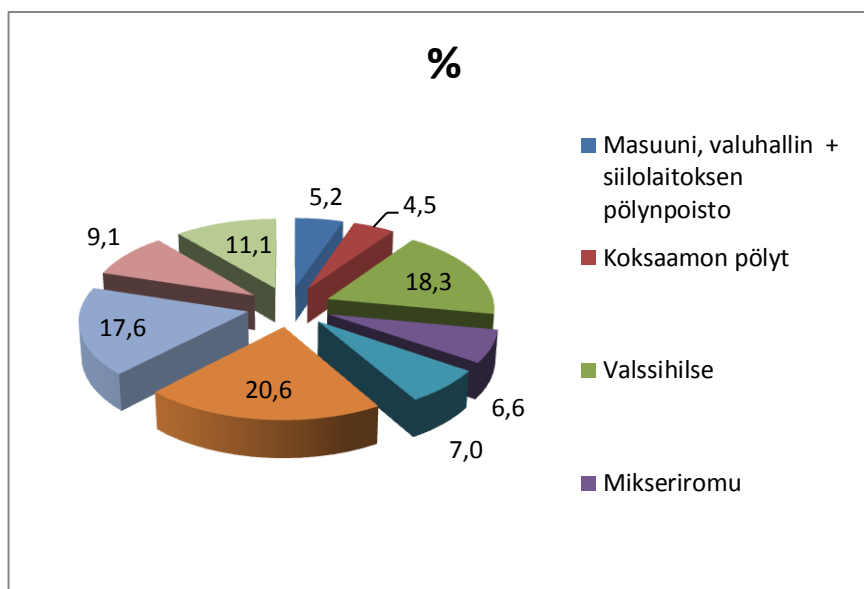
24. Mikkonen, Henry – Miettinen, Juha – Jantunen, Erkki. Värähtelymittaukset. Teoksessa Mikkonen, Henry (toim.) 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Käsikirja. Kunnossapitoyhdistys. Kunnossapidon julkaisusarja n:o 13. Helsinki: KP-Media Oy.
25. Nohynek, Petri – Lumme, Veli Erkki 2007. Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset. 2. Painos. Anjalankoski: SOLVER palvelut Oy.
26. Miettinen, Juha – Jantunen, Erkki. Mittasuureet ja signaalinkäsittelymenetelmät. Teoksessa Mikkonen, Henry (toim.) 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Käsikirja. Kunnossapitoyhdistys. Kunnossapidon julkaisusarja n:o 13. Helsinki: KP-Media Oy.
27. Mikkonen, Henry – Jantunen, Erkki – Miettinen, Juha – Leinonen, Pertti – Kautto Juha – Lumme Veli Erkki 2009. Diagnostiikka. Teoksessa Mikkonen, Henry (toim.) 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Käsikirja. Kunnossapitoyhdistys. Kunnossapidon julkaisusarja n:o 13. Helsinki: KP-Media Oy.
28. PSK 5703. 2006. Kunnonvalvonnan värähtelymittaus. Anturin, liittimen ja kaapelin valinta sekä asennus. 4. painos. PSK Standardisointi.
29. PSK 5706. 2002. Kunnonvalvonnan värähtelymittaus. Valvontamenetelmät. 3. painos. PSK Standardisointi.
30. PSK 5707. 2011. Kunnonvalvonnan värähtelymittaus. Vianmääritys. 5. painos. PSK Standardisointi.
31. Paananen, Timo 2014. Projektipäällikkö. Ruukki Metals Oy. Raahen keskustelu 11.3.2014.

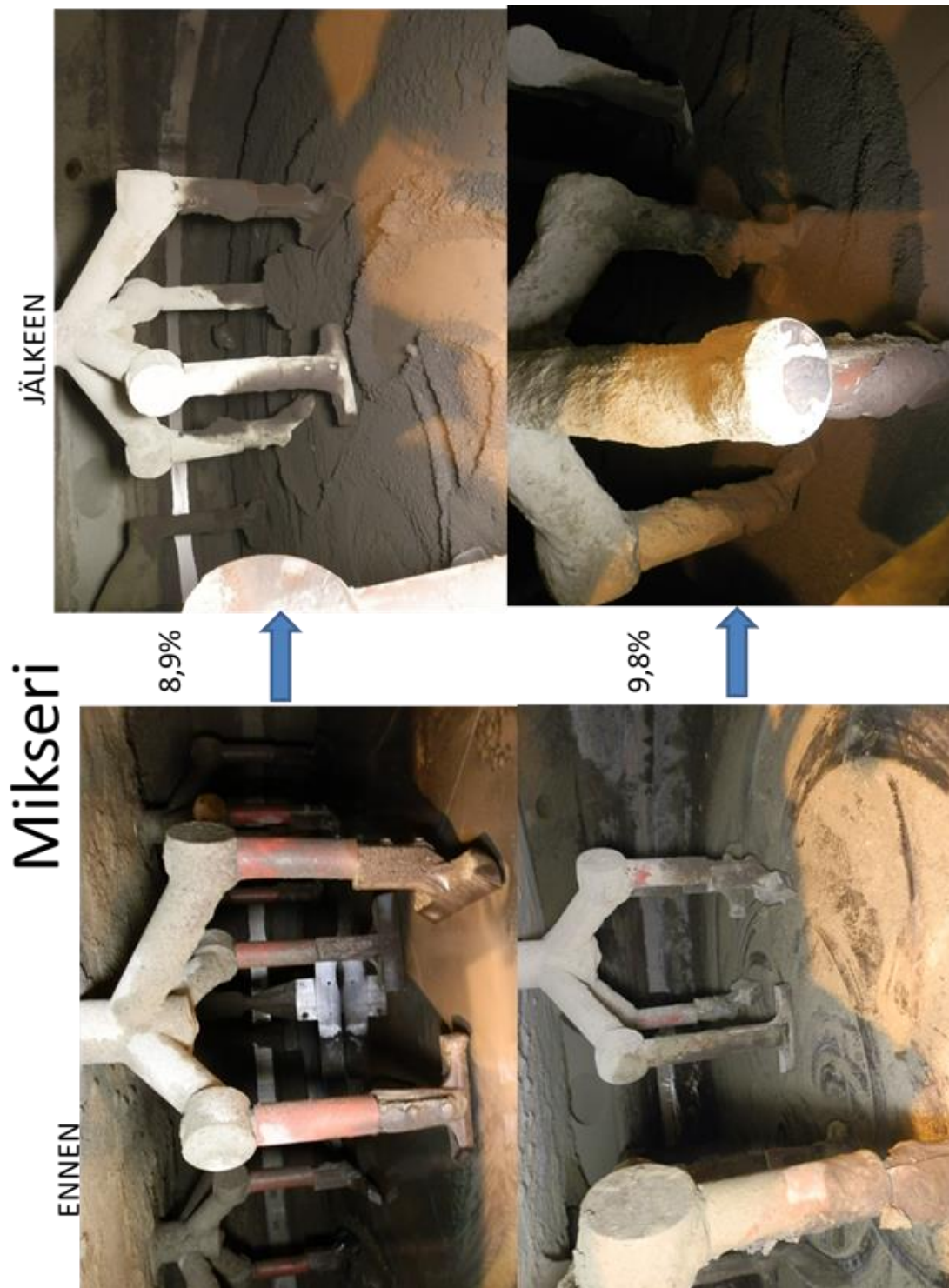
LÄHTÖTIETOMUISTIO

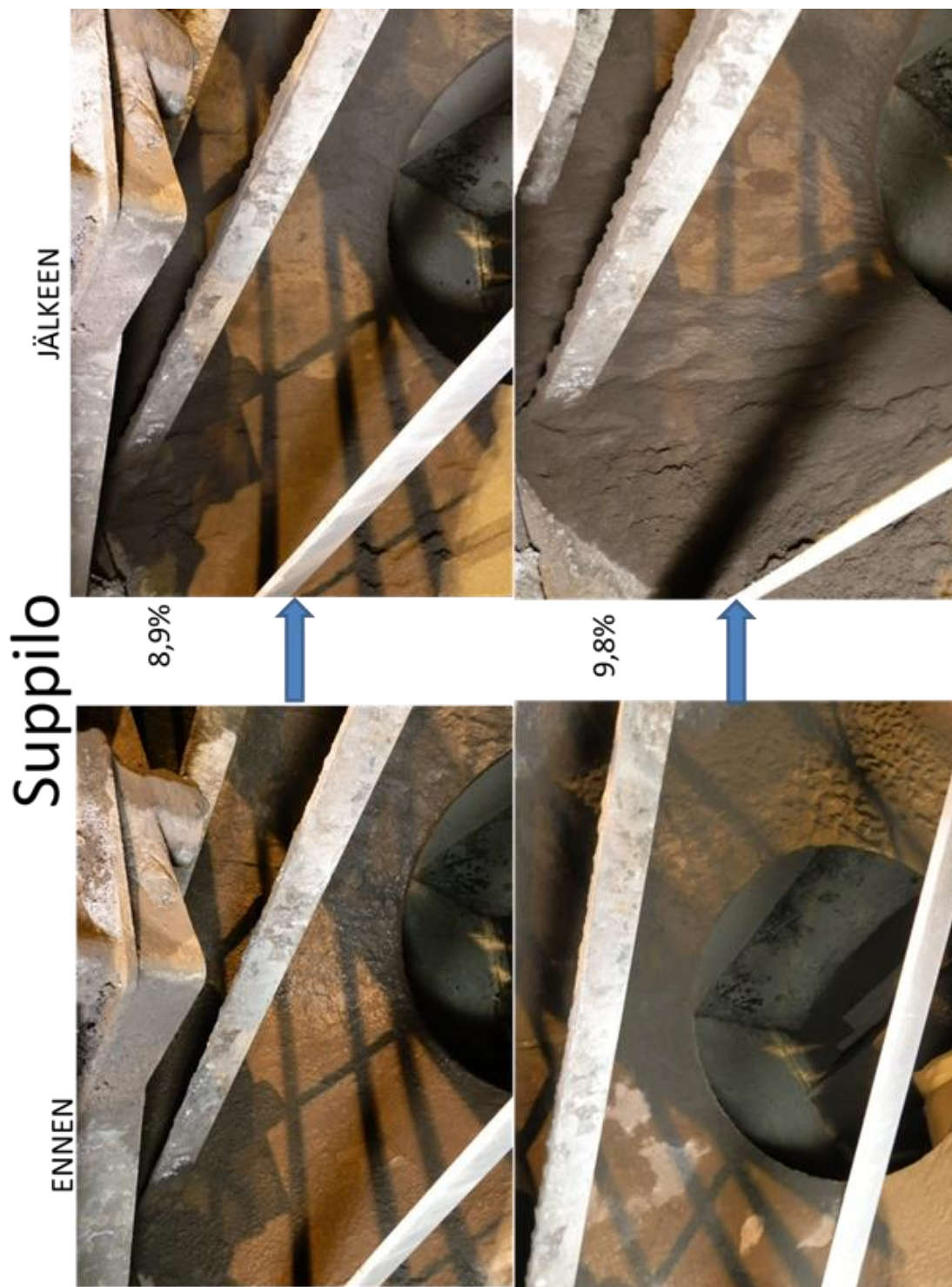
Työn tiedot	Tekijä ¹	Tilaaja ²
	Jenni Kallunki	Ruukki Metals Oy
Tilaaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot ³		
Sakari Tuomikoski		
Työn nimi ⁴		
Briketin laadun kehittäminen		
Työn kuvaus ⁵		
<p>Raahan terästehtaalla sekundäriset rauta-aineet kierrätetään sintraamon sulkemisen jälkeen briketöintilaitoksen kautta. Brikitit käytetään masuunissa panosmateriaalina. Edellytyksenä brikkettien suurelle panostusmäärälle masuunissa ovat korkea brikketituoanto sekä tasainen ja riittävä laatu. Briketin laatua tarkkaillaan jatkuvasti. Briketin laatuun vaikuttava mm. käytetyt rauta-aineet (määrä, laatu ja raekoko), sideaine (Raahessa rapidsementti), briketin jälkihoito (olosuhteet ja aika) sekä itse agglomeroitiprosessi kuten puristus- ja tärytysvoimat (niiden kesto ja taajuus), jotka yhdessä rauta-aineen partikkelikoon kanssa vaikuttavat briketin tiivistymiseen.</p>		
Työn tavoitteet ⁶		
<p>Tässä työssä keskitytään briketöintikoneeseen ja sen säätöihin. Työssä seurataan koneen tärinän (ja sen muutoksien) vaikutusta briketin laatuun. Tavoitteena on myös optimoida briketissä käytetyn veden määrää. Työssä selvitetään löytyykö mittaria arvioimaan tuoreen briketin laatua. Tällä hetkellä brikkettien hajuutta voidaan arvioida hakemalla tuotarmosta tuore näytebriketti ja mittaamalla sen tiheys. Kylmälujuuden testaaminen rumpulujuustestillä voidaan tehdä vasta parin päivän päästä kuivatuksen jälkeen. Lopulta laaditaan mahdollisimman tarkka ohjeistus tuotannolle tarvittavista toimenpiteistä briketin hyvän laadun takaamiseksi.</p>		
Tavoiteaikataulu ⁷		
<p>Työ on tarkoitus tehdä valmiiksi maaliskuun 31.3. mennessä. Ainakin käytännön testaukset on tarkoitus saada valmiiksi maaliskuuhun mennessä, kirjoitusprosessia on mahdollista jatkaa senkin jälkeen, mikäli tarve vaatii.</p>		
Päiväys ja allekirjoitukset ⁸		
Tekijän allekirjoitus		Tilaaajan allekirjoitus
<ol style="list-style-type: none"> 1. Tekijän nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosoite. 2. Työn teettävän yrityksen virallinen nimi. 3. Sen henkilön nimi ja yhteystiedot, joka yrityksessä valvoo työn suoritusta. 4. Työn nimi voi olla tässä vaiheessa työnimi, jota myöhemmin tarkennetaan. 5. Työ kuvataan lyhyesti. Siinä esitetään muun muassa työn tausta, lähtötilanne ja työssä ratkaistavat ongelmat. 6. Esitetään lyhyesti ja selvästi työn tavoitteet. 7. Esitetään projektin tavoiteaikataulu. Silloin, kun työssä on välitavoitteita, myös ne merkitään aikatauluun. Tavoiteaikataulun ja oppilaitoksen yleisaikataulun perusteella tekijä laatii oman aikataulunsa. 8. Lähtötietomuuisto päivätään ja sen allekirjoittavat tekijä ja tilaaajan yhdyshenkilö. 		



Bri Resepti	%	kg / panos	
Masuuni, valuhallin + siilolaitoksen pölynpoisto	5.2	230	
Koksaamon pölyt	4.5	200	
Valssihilse	18.3	806	
Mikseriromu	6.6	290	
Teräsromu	7.0	310	
Esiseos (Ma-pölyt + Teräsromu, bri-alite...)	20.6	911	
Pellettialite	17.6	779	
Brikettialite	9.1	400	
Sideaine	11.1	490	
lisävesi	XXX	xxx	
kok	100.0	4416	







Laatikko

JÄLKEEN

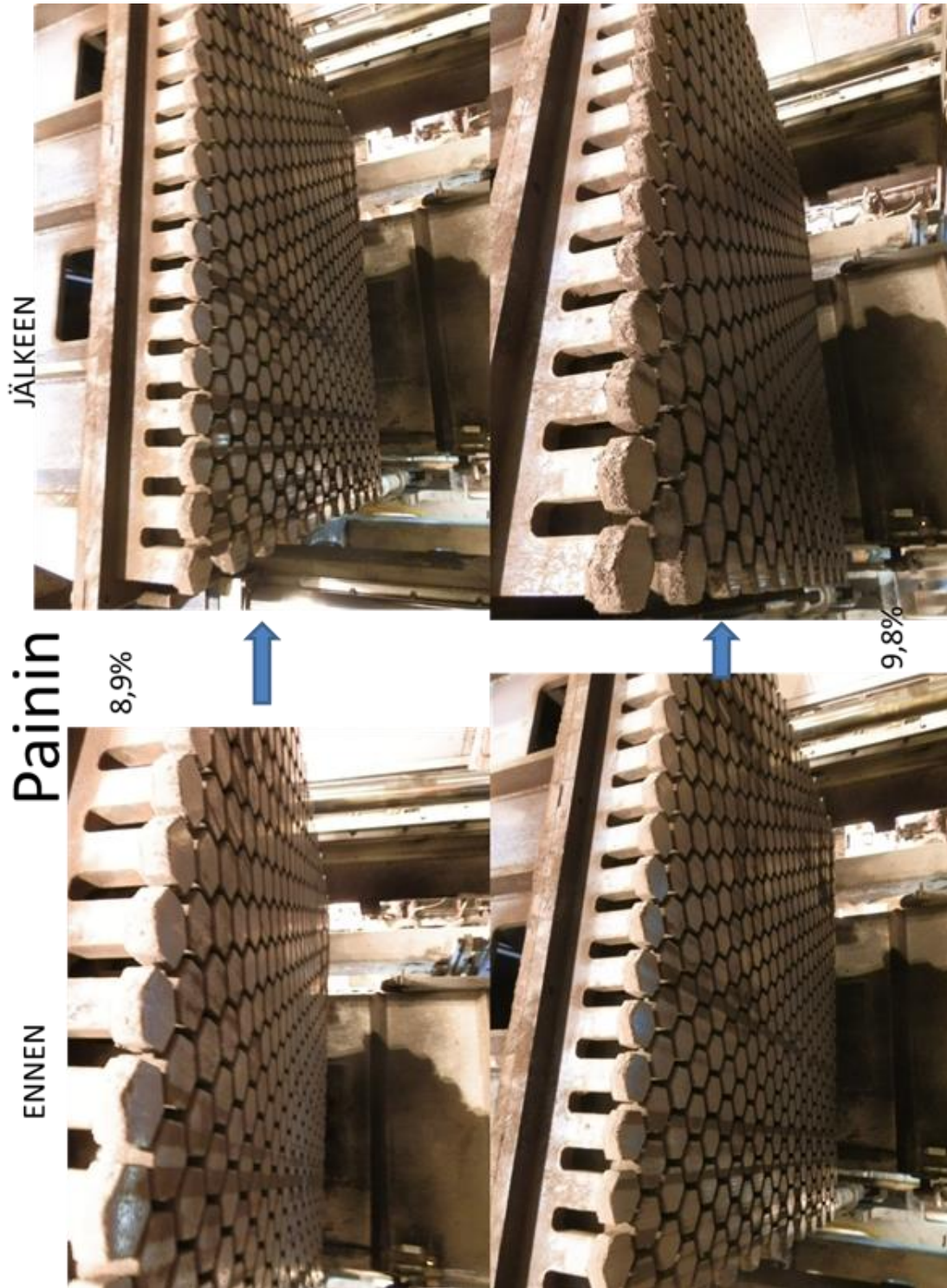


8,9%

9,8%

ENNEN





Ohjeet briketin laadun varmistamiseksi

LIITE 5

(Ohjeet on annettu briketöinnin henkilöstölle.)