



Mikko Mäkitalo

LAVAKUIIVURIN KÄYTTÖÖNOTTO

LAVAKUIIVURIN KÄYTTÖÖNOTTO

Mikko Mäkitalo
Opinnäytetyö
Syksy 2012
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, koneautomaatio

Tekijä: Mikko Mäkitalo
Opinnäytetyön nimi: Lavakuivurin käyttöönotto
Työn ohjaaja: Veli-Matti Mäkelä
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2012 Sivumäärä: 31 + 1 liite

Opinnäytetyössä tutkittiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun luonnonvara-alan yksikön lavakuivurin toimivuutta ja sen mahdollisia muutostarpeita. Työn tavoitteena oli selvittää kuivurin toimivuutta kuivauskokeen avulla. Työ on jatkoa Matti Norrkniivilän opinnäytetyölle, jossa laitteisto suunniteltiin.

Työn teoriaosuudessa käsitellään pelletin valmistusprosessia, kosteuden mittausta sekä laitteiden kunnossapitoa yleisesti. Teoriaosuus sisältää myös tietoa mittalaitteista ja niiden kalibroinnista.

Tutkimuksessa lavakuivurissa kuivattiin puuhaketta kahden vuorokauden ajan. Kyseisenä aikana hakkeen kosteutta mitattiin pikakosteusmittarilla. Lisäksi kosteutta tutkittiin lämpökaappimenetelmällä, jotta mittaustuloksia voitiin vertailla. Kuivauskokeen jälkeen laadittiin lavakuivurin käyttö- ja kunnossapito-ohjeet. Luonnonvara-alan yksikön mittalaitteille tehtiin kalibrointisuunnitelma.

Kokeessa havaittiin, että lavakuivuri oli toimiva, vaikka hakkeen kuivuminen oli kokeen alussa hieman epätasaista. Tavoitekosteusprosenttiin päästiin jokaisessa mittauspisteessä. Jatkossa koekuivauksia voitaisiin kokeilla eri materiaaleilla, määrillä sekä puhaltimen eri nopeuksilla.

Asiasanat:
kuivuri, hake, pelletti, kunnossapito, mittalaitteet, kalibrointi

ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö on tehty vuonna 2012 osana Oulun seudun ammattikorkeakoulun luonnonvara-alan yksikön EkoPelletti T&K -hanketta. Hankkeen projektipäällikkönä oli Ritva Imppola. Työn ohjaavana opettajana toimi energiatekniikan osastonjohtaja Veli-Matti Mäkelä ja kielenohjaajana lehtori Tuija Juntunen Oulun seudun ammattikorkeakoulusta. Heille suuret kiitokset tuesta ja hyvistä neuvoista työn aikana. Lisäksi haluan kiittää läheisiäni saamastani tuesta koko opiskeluni aikana.

Oulussa 29.11.2012

Mikko Mäkitalo

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLTÖ	5
1 JOHDANTO	7
2 PELLETTI	8
2.1 Yleistä	8
2.2 Valmistus	8
2.3 Raaka-aineet	9
2.4 Luonnonvara-alan yksikön pellettilaitteisto	9
3 LUONNONVARA-ALAN YKSIKÖN KUIVURI	11
3.1 Materiaalit	11
3.2 Laitteet	12
4 KOSTEUDEN MITTAAMINEN	13
4.1 Lämpökaappimenetelmä	13
4.2 Johtokyky menetelmä	14
5 KUNNOSSAPITO	15
5.1 Korjaava kunnossapito	16
5.2 Huolto	16
5.3 Ehkäisevä kunnossapito	17
5.4 Parantava kunnossapito	17
5.5 Vikojen ja vikaantumisen selvittäminen	18
6 MITTALAITTEET	19
6.1 Puhtaus	19
6.2 Kalibrointi	19
6.3 Vuritys	20
6.4 Seurantamittaukset	20
6.5 Vaa'an vuritys	20
7 KUIVAUSKOE	21
7.1 Kokeen suorittaminen	21
7.2 Tulokset	23
7.3 Johtopäätökset	25
7.4 Seuraavat koeajot	26
8 LAVAKUIVURIN KÄYTTÖ- JA HUOLTO-OHJEET	27

8.1 Käyttöohjeet	27
8.2 Huolto-ohjeet	27
9 MITTALAITTEIDEN KALIBROINTISUUNNITELMA	28
9.1 Pikakosteusmittari	28
9.2 Vaa'at	28
10 YHTEENVETO	29
LÄHTEET	30
LIITTEET	
Liite 1. Taajuusmuuttajan käyttöohje	

1 JOHDANTO

Lavakuivurin käyttöönottotutkimus liittyy kiinteästi Oulun seudun ammatti-korkeakoulun luonnonvara-alan yksikön EkoPelletti T&K -hankkeeseen. Hanke käynnistyi vuonna 2010. Siinä tutkitaan muun muassa eri bio-materiaalien soveltuvuutta pelletin raaka-aineeksi.

Osana Euroopan Unionin tavoitetta lisätä eko- ja kustannustehokasta bio-energian hyödyntämistä Euroopan metsävyöhykkeellä, Ekopelletti T&K -hankkeen tavoitteena on edistää puupohjaisten pellettien tuotantoa. EU:n asettama uusiutuvan energian kokonaistavoite Suomessa on jopa 38 % vuoteen 2020 mennessä. Tavoitteen saavuttaminen edellyttää jätemetsä-biomassojen käytön lisäämistä. Tällä hetkellä Suomessa jää käyttämättä vuodessa jopa 20 miljoonaa tonnia jätepuubiomassaa lähinnä metsänharvennustöiden yhteydessä. (1.)

Matti Norrkniivilä (2) suunnitteli vuonna 2011 opinnäytetyössään liikuteltavan lavakuivurin eri materiaalien kuivaamiseen. Tämä tutkimus on jatkoa työlle.

Työssä selvitetään lavakuivurin toimivuutta ja sen muutostarpeita kuivauskokeen avulla. Kuivurille laaditaan myös käyttö- ja kunnossapito-ohjeet. Lisäksi luonnonvara-alan yksikön mittalaitteille tehdään kalibrointi-suunnitelma.

2 PELLETTI

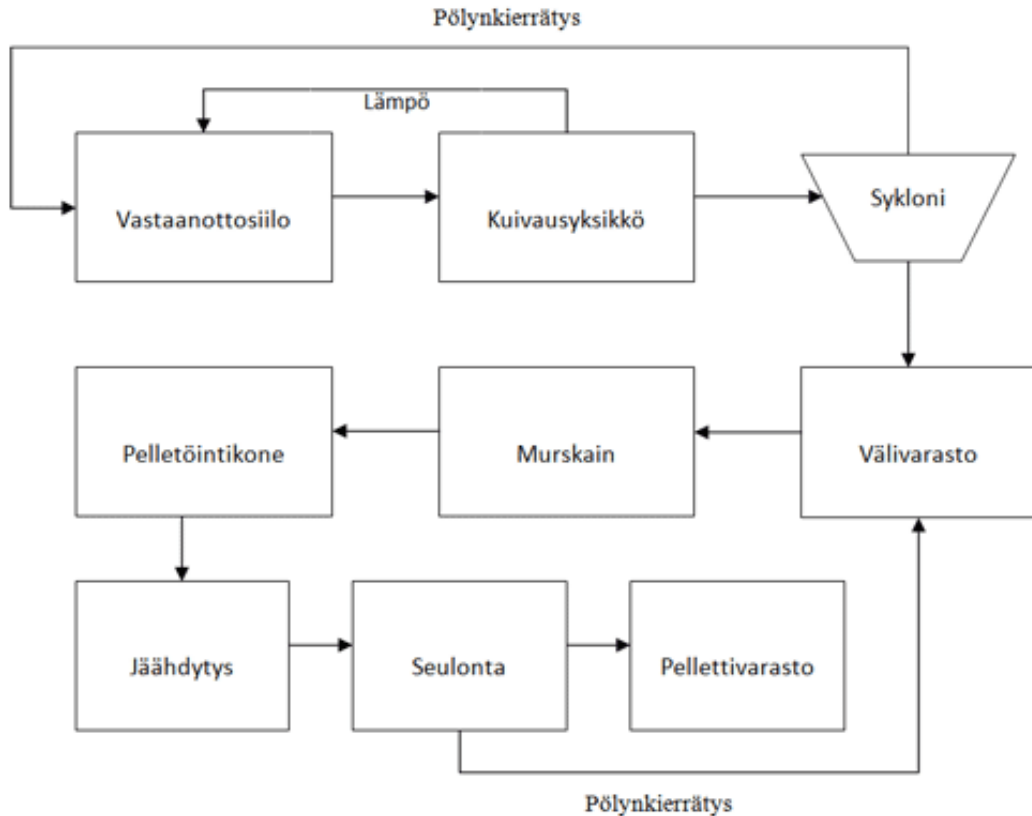
2.1 Yleistä

Pelletti on jalostettua biopolttoainetta. Se on puristettu kovalla paineella sylinterin muotoiseksi, ja sen läpimitta on 6–12 mm. Pelletin raaka-aineina käytetään muun muassa sahanpurua ja höylänlastua. Pellettiä käytetään pientalojen lämmitykseen. Pelletin käyttö ei lisää ilmakehän kasvihuone-ilmioita. (3.)

2.2 Valmistus

Raaka-aineesta on ennen tuotannon aloittamista poistettava tuotantoa haittaavat epäpuhtaudet kuten kivet, metalli ja muovi. Raaka-aineen kosteus kuivataan esikuivurissa noin 10–15 %:iin. Kuivaaminen voi tapahtua jauhamisen yhteydessä, jolloin kuumakaasua syötetään raaka-aineen läpi. Raaka-aineen ollessa valmiiksi kuivaa se johdetaan suoraan ilman kuivausprosessia vasaramyllyyn jauhattavaksi. Myllyssä raaka-aine jauhetaan tasalaatuisiksi puristusta varten. (4.)

Raaka-aineen käsittelyvaiheen jälkeen pelletöitävä materiaali siirretään pelletointikoneen sekoitussäiliöön. Sekoitussäiliössä on mahdollista lisätä raaka-aineeseen sideaineita ja höyryä, jotka parantavat puristustapahtumaa. Sekoitussäiliön jälkeen raaka-aine pakotetaan puristamalla matriisin reikien läpi, minkä jälkeen leikkuuterät katkaisevat puristeet 10–30 mm:n pituisiksi. Prosessi nostaa materiaalin lämpöä, mikä aiheuttaa hartsien ja ligniinin hetkellisen pehmenemisen. Puristusvaiheessa sulanut ligniini muodostaa jäähtyttyään pelletin pinnalle kiiltävän ja koossa pitävän kerroksen. Lopuksi pelletit jäähdytetään, jolloin ne saavat lopullisen lujutensa. (Kuva 1.) (4.)



KUVA 1. Pelletin valmistus (1)

2.3 Raaka-aineet

Puupelletin raaka-aineina käytetään mekaanisen puujalostuksen puhtaita puusivutuotteita. Raaka-aineina ovat pääasiassa havupuiden kuiva kutteri, sahanpuru tai hiontapöly. Tulevaisuudessa myös metsähaketta käytetään raaka-aineena aiempaa laajemmin. (5.)

Pelletin valmistuksessa raaka-ainevaihtoehdot ovat laajenemassa. Pellettiä on valmistettu oljesta, ruokohelpistä, puunkuoresta sekä erilaisista edellä mainittujen sekoituksista ja turpeesta. (5.)

2.4 Luonnonvara-alan yksikön pellettilaitteisto

Oulun seudun ammattikorkeakoulun luonnonvara-alan yksiköllä on oma pellettilaitteisto. Laitteisto on asennettu merikonttiin, mikä mahdollistaa

laitteiston siirtämisen paikasta toiseen. Kontin ulkopuolella on paineilma-kompressori, kuljetin ja suppilo. Suppilo voidaan tarvittaessa irrottaa kuljetusta varten. (6.)

Kuvassa 2 on vasemmalta lähtien seuraavat laitteiston osat: raaka-aineen murskain, lisäsyöteyksikkö, vasaramylly, välivarasto, pellettipuristin, jäähdytystorni ja automaatiokeskus. (6.)



KUVA 2. Oulun seudun ammattikorkeakoulun luonnonvara-alan yksikön pellettilaitteisto (6)

3 LUONNONVARA-ALAN YKSIKÖN KUIVURI

Matti Norrkniivilä suunnitteli Oulun seudun ammattikorkeakoulun luonnonvara-alan yksikön kuivurin keväällä 2011 (2). Kuivuri valmistui loppuvuodesta 2011.

3.1 Materiaalit

Kuivuri on valmistettu filmivanerista, jota on jäykistetty teräsrakenteilla. Vaneri on pinnoitettu molemmin puolin filmipinnoitteella, ja sen vuoksi se kestää paremmin kosteutta. (7.)

Pohjalevynä toimii suomupohjalevy, jonka läpi lämmin ilma kulkeutuu ylös. Pohjalevyn aukkopinta-ala on vain 4 %, jolloin kuivurilla voidaan kuivata myös hienoa materiaalia. (7.) (Kuva 3.)



KUVA 3. Lavakuivurin sisäpuoli, suomupohjalevy

3.2 Laitteet

Puhaltimena kuivaimessa on Ventur Finland Oy Ab:n MSB-2-355/125-220-keskipakopuhallin, joka soveltuu pölyiselle ilmalle. Puhallinta pyörittää 2,2 kilowatin sähkömoottori. Puhaltimen imuilmaa lämmittää 9 kilowatin ITM09-sähkölämmitin. (7.)

Kuivaimessa on Vacon 10 -taajuusmuuttaja, jolla voidaan säätää puhaltimen pyörimisnopeutta haluttuun nopeuteen. Tällä saadaan estettyä se, ettei kuivattavasta materiaalista leviä pöly ympäristöön. (7.) (Kuva 4.)



KUVA 4. Lavakuivurin ulkopuoli (vasemmalta lähtien) lämmitin, puhallin, moottori ja sähkökaappi

4 KOSTEUDEN MITTAAMINEN

Hakkeen ja muun pelletöitävän materiaalin kosteuden mittaamiseen on kehitetty erilaisia menetelmiä. Menetelmät voidaan jakaa yksi- ja kaksivaiheisiin menetelmiin. (8, s. 182.)

Oulun seudun ammattikorkeakoulun luonnonvara-alan yksikössä voidaan mitata kosteutta pikakosteusmittarilla ja lämpökaappimenetelmällä. Seuraavassa esitellään nämä kaksi mittausmenetelmää.

4.1 Lämpökaappimenetelmä

Lämpökaappimenetelmä on kaksivaiheinen mittausmenetelmä. Mitattava materiaali punnitaan ensin kosteana ja sen jälkeen lämpökaappikuivauksen jälkeen absoluuttisen kuivana. Punnitustulosten ero ilmaisee veden massan näytteessä. Tämän jälkeen saadaan laskettua kosteussuhde kaavaa 1 käyttäen. Menetelmää pidetään tarkimpana kosteuden mittausmenetelmänä. (8, 182.)

Kosteussuhde lasketaan kaavalla 1 (9, s. 2).

$$u = \frac{m_{\text{vesi}}}{m_{\text{kuiva}}}$$

KAAVA 1

u = vesimassan suhde kuivamassaan

m_{vesi} = märkäpaino

m_{kuiva} = kuivapaino

4.2 Johtokyky menetelmä

Johtokyky menetelmä perustuu puun sähkönjohtokyvyn mittaamiseen. Kosteuden kasvaessa puun sähkövastus alenee. Mittareilla saadaan nopeasti mitattua näytteen kosteusprosentti. Ongelmana sähkövastukseen perustuvissa mittareissa on mittauslaitteen epätarkkuus. Pääsiallinen syy on kosteuden epätasainen jakautuminen näytteessä. (8, s. 184.)

Oulun seudun ammattikorkeakoulun luonnonvara-alan yksikössä on käytössä Wile Bio Moisture -puuhakkeenkosteusmittari, joka on esitetty kuvassa 5.



KUVA 5. Wile Bio Moisture -puuhakkeenkosteusmittari

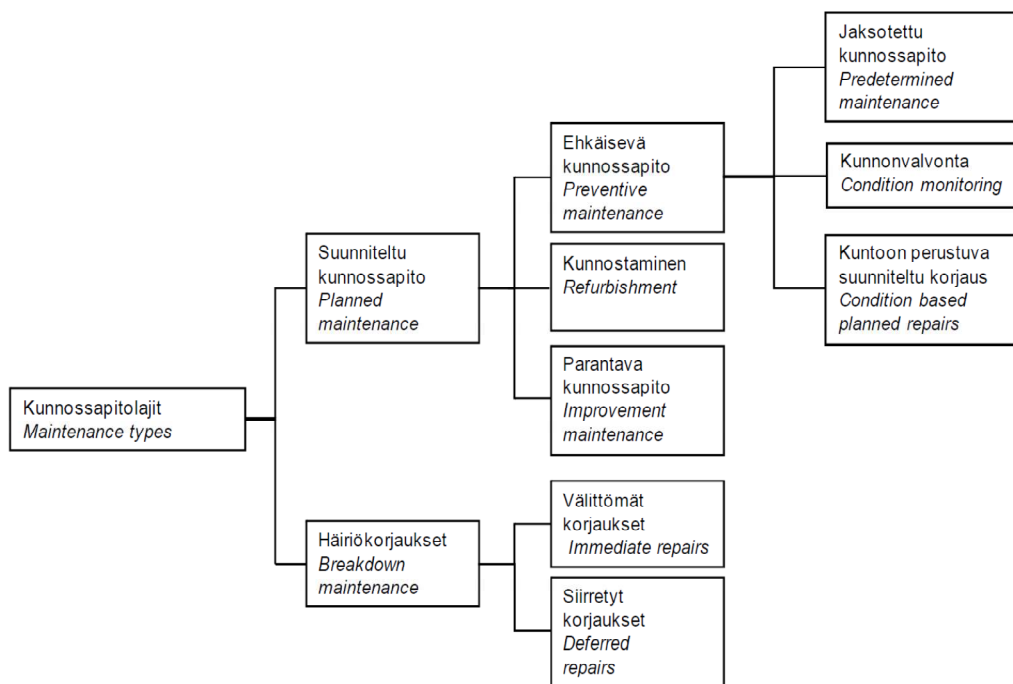
Puuhakkeenkosteusmittarilla mittaus tapahtuu lautasanturin metallisen kärjen ja sen lautasen välillä olevalla pallomaisella alueella. Mittari näyttää näytteen vesipitoisuuden painoprosentteina. Kosteuden mittausalue on hakkeelle 12–40 %. (10.)

5 KUNNOSSAPITO

Kunnossapito tarkoittaa erilaisten asioiden, kuten prosessien, koneiden, laitteiden ja rakenteiden pitämistä toimintakuntoisina siten, että ne toimivat luotettavasti, esiintyvät viat korjataan sekä ympäristö ja turvallisuusriskit hallitaan. Kunnossapidon termit ja käsitteet on esitetty standardissa SFS-EN 13306, ja lisäksi Suomessa toimii PSK Standardisointiyhdistys, joka on laatinut standardin PSK 6201 Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. (11, s. 14, 29.)

PSK 6201 määrittelee kunnossapidon seuraavasti:

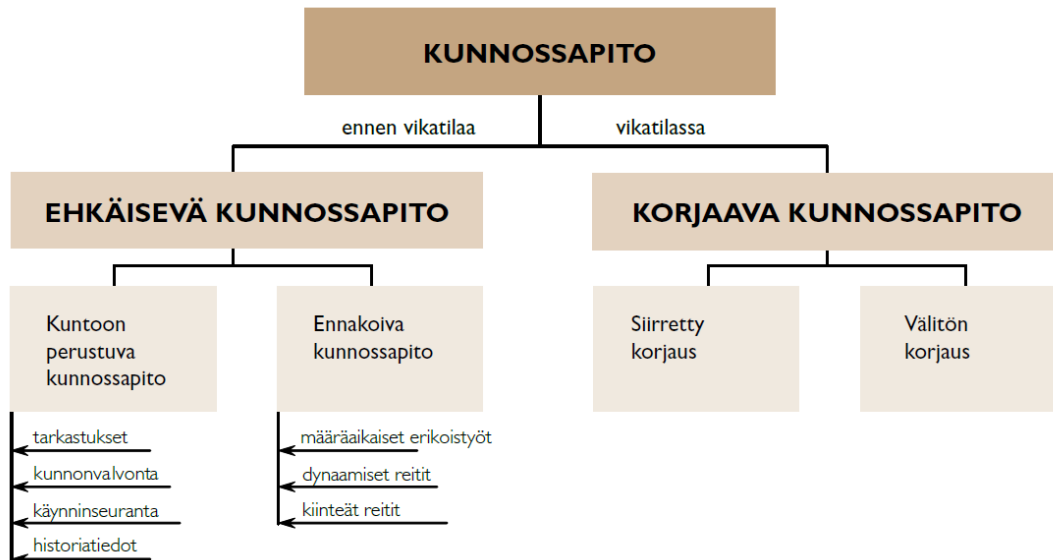
Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana (11, s. 29). (Kuva 6.)



KUVA 6. Kunnossapitolajit PSK 7501 -standardin mukaan (12, s. 32)

SFS-EN 13306 määrittelee kunnossapidon seuraavasti:

Kunnossapito koostuu kaikista kohteen eliniän aikaisista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon (11, s. 29). (Kuva 7.)



KUVA 7. Kunnossapitolajit SFS-EN 13306:n mukaan (13, s. 42)

5.1 Korjaava kunnossapito

Korjaavassa kunnossapidossa koneen vikaantuvaksi todettu osa tai komponentti palautetaan käyttökuntoon. Korjaava kunnossapito voi olla laitteen suunniteltua kunnostusta tai suunnittelematonta häiriökorjausta. Korjaavan kunnossapidon toimittoja ovat vian määrittäminen, tunnistaminen ja paikallistaminen, vian korjaus, väliaikainen korjaus sekä koneen toimintakunnon palauttaminen. (11, s. 43–44.)

5.2 Huolto

Huoltamalla ylläpidetään kohteen käyttöominaisuuksia tai palautetaan heikentynyt toimintakyky ennen vian tai vaurion syntymistä. Jaksotettu huolto tehdään määrävälein. Huoltoja ovat esimerkiksi puhdistus, voitelu, huoltaminen, kalibrointi ja kuluvien osien vaihtaminen. (11, s. 44.)

5.3 Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevä kunnossapito on kohteen suorituskyvyn tai sen parametrien seuranta. Tavoitteena on vähentää vikaantumisen todennäköisyyttä tai koneen toimintakyvyn heikkenemistä. Ehkäisevä kunnossapito voi olla säännöllistä tai vaadittaessa tehtävää. Tulosten perusteella voidaan suunnitella ja aikatauluttaa kunnossapidon tehtäviä. (11, s. 44.)

Ehkäisevää kunnossapitoa ovat esimerkiksi tarkastaminen, kunnonvalvonta, määräystenmukaisuuden toteaminen, testaaminen, käynninvalvonta ja vikaantumistietojen analysointi. Kunnonvalvontaa tehdään kohteen toimiessa tai seisokin aikana. Kunnonvalvonnan avulla etsitään oireilevia vikoja tai todetaan havaintojen avulla kohteen olevan toimintakunnossa. (11, s. 45.)

5.4 Parantava kunnossapito

Parantava kunnossapito voidaan jakaa kolmeen pääryhmään. Ensimmäisessä pääryhmässä kohdetta muutetaan käyttämällä uudempia osia tai komponentteja kuin alkuperäiset, mutta kohteen suorituskykyä ei varsinaisesti muuteta. (11, s. 45.)

Toiseen pääryhmään kuuluvat erilaiset uudelleensuunnittelut ja korjaukset, joilla koneesta saadaan luotettavampi. Tarkoituksena on siis muuttaa koneen toimintaa luotettavammaksi eikä niinkään muuttaa sen suorituskykyä. (11, s. 45.)

Kolmannen pääryhmän muodostavat modernisaatiot, joissa kohteen suorituskykyä muutetaan. Yleensä modernisaatiolla uudistetaan sekä kone että valmistusprosessi. (11, s. 45.)

5.5 Vikojen ja vikaantumisen selvittäminen

Vikojen ja vikaantumisen selvittämisellä pyritään löytämään vian perussyy sekä vikaantumisprosessi. Tulosten avulla voidaan suorittaa toimenpiteitä, joilla estetään vastaavan vahingon uusiutuminen. (11, s. 45.)

6 MITTALAITTEET

Jotta voidaan hyödyntää mittaustuloksia, vaaditaan tietoa mittauksen oikeellisuudesta. Laatustandardit edellyttävät, että tuotteen laatuun vaikuttavien mittaustulosten tulee olla jäljitettävissä kansallisiin tai kansainvälisiin normaaleihin. (14, s. 3.)

Mittaustulosten jäljitettävyys edellyttää mittauslaitteen asianmukaista kalibrointia ja mittausepävarmuuden tietämistä. Kalibroinnista saadaan mittalaitteen tuloksen ja mittasuureen arvojen välinen yhteys. Kalibroinnin jäljitettävyys tulee olla kunnossa. (14, s. 3.)

Mittausten varmentamiseen kuuluu mittalaitteen toimintakunnosta ja kalibroinnista huolehtiminen. Mittausten varmentamisesta vastaa yleensä mittalaitteen käyttäjä. Seuraavassa esitetyt toimenpiteet ovat varmentamista tai osa sitä. (14, s. 3.)

6.1 Puhtaus

Mittalaitteiden mittausepävarmuus voi kasvaa, jos niitä ei käytetä asiallisesti. Merkittävin mittausepävarmuuden lisääntymisen syy on lika. Lika voi kulkeutua mitattavien kappaleiden tai ilmavirtausten mukana mittauslaitteeseen. Lika voi jopa rikkoa mittalaitteen, joten laitteen puhtautta tulee seurata. (14, s.4.)

6.2 Kalibrointi

Kalibrointi tarkoittaa mittalaitteen näyttämän vertaamista tunnettuun mittanormaaliin. Kalibrointikäsite ei sisällä viritystä. Kalibrointi kertoo, kuinka paljon laite näyttää väärin. Kalibrointi on välttämätön, jotta voidaan varmentaa mittalaitteen näyttämän oikeellisuus. Suomessa vain akkreditoitujen laboratoriot voivat antaa virallisia kalibrointitodistuksia. (14, s. 4–5.)

6.3 Viritys

Virityksellä saadaan mittalaitteen näyttämä vastaamaan tunnettua suuretta. Virityksessä käytetään mittanormaaleja, joihin mittalaitteen näyttämää verrataan. Viritys ei kuitenkaan korvaa kalibrointia. Mittalaitteen näyttämän oikeellisuus tulee tarkastaa aika ajoin tunnetun suureen avulla. (14, s. 5.)

6.4 Seurantamittaukset

Mittalaitteen suorituskykyä tulee valvoa riittävän usein. Hyvä tapa tarkistaa mittalaite on suorittaa mittaus mittanormaalilla ja verrata tulosta aikaisempaan, samalla mittanormaalilla saatuun arvoon. Näyttämän stabiilius antaa myös käsityksen mittalaitteen toiminnasta. (14, s. 7.)

6.5 Vaa'an viritys

Viritys voi olla manuaalinen, puoliautomaattinen tai automaattinen. Manuaalisessa virityksessä muutetaan vaa'an sähköistä tai mekaanista vahvistusta. Puoliautomaattisessa virityksessä käyttäjä käynnistää virityksen ja vaaka pyytää käyttäjää asettamaan tunnetun punnuksen vaa'alle. Automaattinen viritys käynnistetään käyttäjän toimesta tai se käynnistyy täysin automaattisesti. (14, s. 5.)

7 KUIVAUSKOE

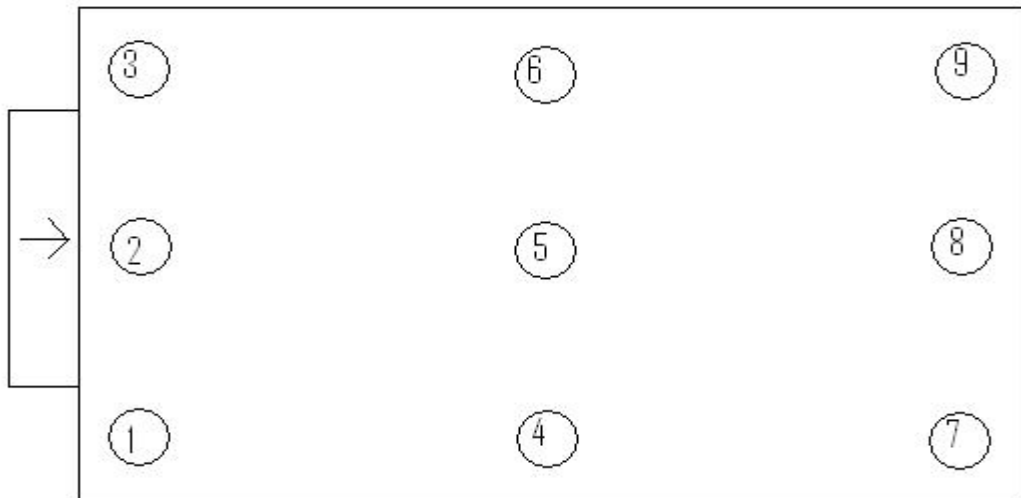
Kuivurin kuivausominaisuuksien selventämiseksi ja sen mahdollisten ongelmien löytämiseksi suoritettiin kuivauskoe. Kuivauskokeen tarkoituksena oli selvittää, kuivuuko materiaali tarpeeksi ja riittävän nopeasti tavoitekosteuteen.

7.1 Kokeen suorittaminen

Lavakuivurille laitettiin yksi kuutiometri haketta, noin 39,5 senttimetriä pohjasta mitattuna (kuva 8). Lavakuivuri jaoteltiin yhdeksään mittauspisteeseen (kuva 9). Jokaisesta mittapisteestä tehtiin kolme mittausta kosteusmittarilla. Näistä mittauksista laskettiin keskiarvo jokaiselle pisteelle. Kokeen aikana otettiin haketta näytepusseihin. Näistä laskettiin myöhemmin lämpökaappimenetelmällä hakkeen kosteus, jota verrattiin kosteusmittarin näyttämiin lukemiin.



KUVA 8. Haketta lavakuivurissa



KUVA 9. Mittauspisteet lavakuivurissa, ylhäältä kuvattuna

Lavakuivurista laitettiin kokeen alussa lämmitin ja puhallin päälle (kuva 10). Puhaltimen arvoksi säädettiin taajuusmuuttajasta 20. Lämmitin säädettiin maksimilämpötilaan. Koneen annettiin olla käynnissä kaksi päivää, joiden aikana käytiin mittaamassa kosteudet mittauspisteistä seitsemän kertaa. Lisäksi haketta otettiin näytepussiin kolmena eri aikana. Kosteusprosentti laskettiin myöhemmin lämpökaappimenetelmällä.



KUVA 10. Lämmitin ja puhallin

Kokeen jälkeen käytiin laboratoriossa mittaamassa lämpökaappimenetelmällä näytepussien kosteudet. Näytepussien hakkeet tyhjennettiin alumiinivuokiin, jotka laitettiin lämpökaappiin (kuva 11). Näytteet punnittiin ennen uuniin laittoa ja kuivauksen jälkeen. Punnitustuloksien avulla laskettiin hakkeen kosteudet kaavaa 1 käyttäen (s. 13).



KUVA 11. Luonnonvara-ala yksikön lämpökaappi ja hakenäytteet

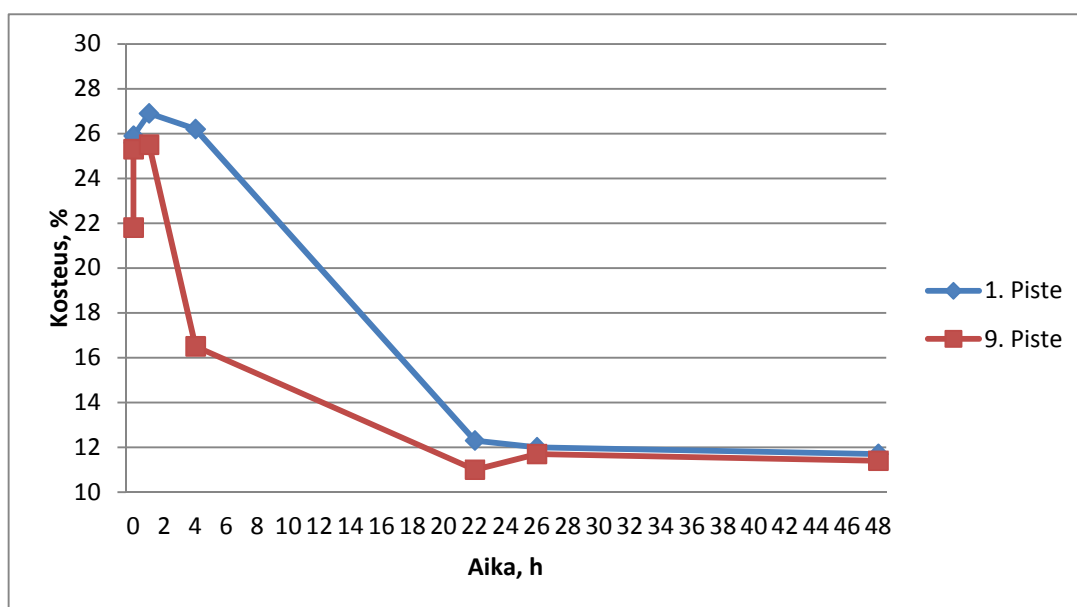
7.2 Tulokset

Kuivauskoe meni odotuksien mukaisesti, sillä kosteudet laskivat alle tavoitearvojen noin 22 tunnissa. Kokeen alussa mittauspisteiden kosteudet vaihtelivat 22–30 %:n välillä. 90 minuuttia kokeen aloituksesta mittaustuloksissa oli kosteuden nousua, jolloin vesi lähti irtoamaan hakkeesta. 255 minuutin kuluttua kosteusprosentit olivat laskeneet, mutta kuivumisessa oli eroja mittauspisteillä. Tuloilman nurkissa kosteudet olivat korkeimmat. 22 tunnin ja 10 min kuluttua kosteudet olivat laskeneet alle tavoitearvojen ja kosteuksissa ei ollut suuria eroja mittauspisteiden välillä. 48 tunnin kuluttua hakkeen kosteus oli 7,3 %. (Taulukko 1.)

TAULUKKO 1. Kuivauskokeen mittauspisteiden kosteudet eri aikoina

Hallin Lämpötila (°C)	-1,1	0,6	1,6	2,5	-9,5	0,1	0,7
1. Piste (%)	25,6	25,9	26,9	26,2	12,3	12	11,7
2. Piste (%)	25,8	25,5	27	21,2	12	11,7	11,6
3. Piste (%)	29,7	25,5	27	26,1	11,8	11,7	11,4
4. Piste (%)	27,6	26,3	27,1	19,8	12,1	12,5	11,5
5. Piste (%)	23,9	27,5	28,4	24,7	11,8	12,1	11,7
6. Piste (%)	23	27,8	29	21	11,7	12,2	11,6
7. Piste (%)	22,4	28,4	27,4	19,3	12,1	12,1	11,7
8. Piste (%)	24,2	27	27,6	17,5	11,2	11,6	11,4
9. Piste (%)	21,8	25,3	25,5	16,5	11	11,7	11,4
Keskiarvo (%)	24,9	23,7	27,3	21,4	11,7	12	11,6
Lämpökaappi (%)	28,4				8,8		7,3
Aika (h)	0,00	0,75	1,50	4,25	22,17	26,62	48,00

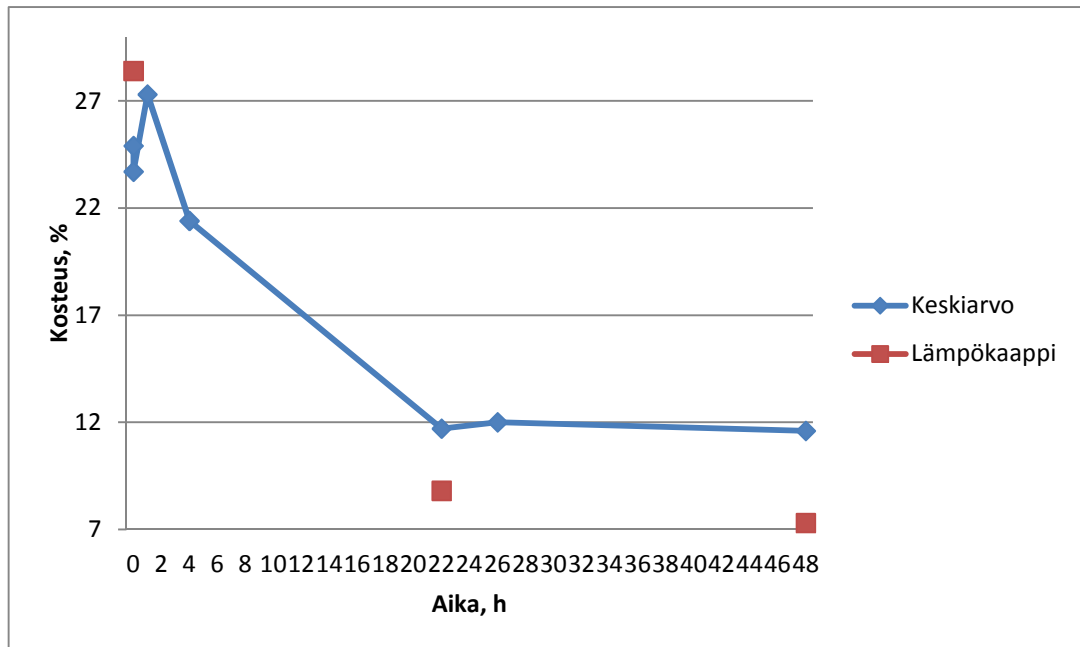
Mittauspisteissä 1 ja 3 kosteudet olivat huomattavasti korkeammat kuin toisessa päässä kuivuria, pisteillä 7, 8 ja 9 (kuva 12). Eroa oli jopa 10 prosenttia. Tämä johtui siitä, että lämmintä ilmaa kulkeutui huonommin 1 ja 3 mittauspisteelle.



KUVA 12. Hakkeen kosteuden muutokset mittauspisteissä 1 ja 9

48 tunnin jälkeen lämpökaappimenetelmällä laskettuna kosteus oli vielä laskenut 1,5 prosenttia, mutta kosteusmittarin lukemat olivat samoja kuin

edellisessä mittauksessa. Kosteusmittarin mittausalue ulottui vain 12–40 %, minkä vuoksi tulokset pysyivät samoina. Kosteusmittauksissa oli muutaman prosenttiyksikön ero lämpökaappimenetelmän ja pikakosteusmittarin välillä. (Kuva 13.)



KUVA 13. Lämpökaappimenetelmän ja pikakosteusmittarin mittaustulokset

7.3 Johtopäätökset

Mittaustuloksista havaittiin epätasaisuutta kuivumisessa. Tämä saataisiin korjattua, jos ilmavirtausta ohjattaisiin paremmin pisteille 1 ja 3. Tässä kokeessa haketta ei sekoitettu kokeen aikana. Sekoittamisella saataisiin hake mahdollisesti kuivumaan tasaisemmin. Noin 22 tunnin kuluttua hakkeen kosteus oli kuitenkin alle tavoitearvon jokaisella mittauspisteellä. Puhaltimen nopeuden muutoksella saataisiin kuivumista ehkä nopeutettua jonkin verran. Kokeen aikana taajuusmuuttajassa asetusarvo oli 20 kokeen ajan.

Kuivauskokeen aikana huomattiin, että kuivurin suomulevyn alta ei voi puhdistaa. Sinne voi mahdollisesti jäädä materiaalia, mikä voi heikentää lämpimän kuivausilman kulkua ja näin ollen vaikuttaa kuivurin kuivaus-

ominaisuuksiin. Puhdistus onnistuisi, jos tyhjennysluukku ulottuisi kuivurin alareunaan asti.

Kuivuriin olisi hyvä asentaa nostokoukut, jotta sen siirtäminen paikasta toiseen olisi helpompaa. Nostokoukut voitaisiin hitsata yläreunassa olevaan kulmarautaan, kuivurin jokaiseen neljään nurkkaan.

7.4 Seuraavat koeajot

Seuraavissa kuivauskokeissa hakkeen määrää ja puhaltimen nopeutta voitaisiin muuttaa. Kuivurin tuloilman puolelle voitaisiin kokeilla asentaa ohjureita, jotka suuntaisivat paremmin lämmintä ilmaa mittauspisteille 1 ja 3. Tällöin nähtäisiin, kuivaisiko hake tasaisemmin. Kuivauskokeita voisi tehdä muillakin materiaaleilla kuin hakkeella. Lisäksi mittauspisteitä tulisi lisätä useaan eri kerrokseen, jos materiaalia laitettaisiin enemmän. Mittauskertoja tulisi lisätä alkupäähän 4,25 ja 22,17 tunnin väliin, jotta nähtäisiin, miten kosteus käyttäytyy tällä aikavälillä.

8 LAVAKUIIVURIN KÄYTTÖ- JA HUOLTO-OHJEET

Tutkimuksen yhteydessä suunniteltiin käyttö- ja huolto-ohjeet Oulun seudun ammattikorkeakoulun luonnonvara-alan yksikön lavakuivurille. Ohjeet laadittiin yhteistyössä EkoPelletti T&K -hankkeen projektipäällikkö Ritva Imppolan kanssa.

8.1 Käyttöohjeet

Aluksi kuivuri täytetään kuivattavalla materiaalilla. Laitteen sähkökaappiin kytketään voimavirtakaapeli. Virta kytketään päälle päävirtakytkimestä, joka on sähkökaapin edessä. Seuraavaksi kytketään päälle lämmitin ja lämmittimen puhallin. Lämmitin säädetään maksimilämmölle. Tämän jälkeen painetaan sähkökaapin sisällä olevan taajuusmuuttajan vihreää painiketta, jolloin puhallin alkaa pyöriä. Taajuusmuuttajasta voidaan säädellä puhaltimen pyörimisnopeutta. Käyttöohjeet taajuusmuuttajalle löytyy liitteenä 1.

Kun kuivattavan materiaalin tavoitekosteus on saavutettu, sammutetaan lämmitin ja lämmittimen puhallin. Sitten painetaan taajuusmuuttajan punaista painiketta. Päävirta kytketään pois vasta kun puhallin on pysähtynyt. Lopuksi irrotetaan voimavirtakaapeli ja tyhjennetään lavakuivuri.

8.2 Huolto-ohjeet

Lavakuivuri on suhteellisen huoltovapaa laitteisto. Siinä on vain muutama kuluva osa. Puhaltimessa on suljetut kuulalaakerit, joita ei tarvitse voidella. Kuivurin lämmitin ja puhallin tulee pitää puhtaina. Lika rasittaa kuivurin komponentteja, ja säännöllinen puhdistus ennaltaehkäisee niiden rikkoutumista.

Kuivurin komponentteja tulee seurata käytön aikana ja varmistaa, että ne toimivat asianmukaisesti. Jos kuivurista alkaa kuulua ylimääräistä ääntä, tai laite alkaa täristä, laite pysäytetään ja selvitetään vian syy. Jos komponentti rikkoutuu, otetaan yhteys laitevalmistajaan, joka suorittaa korjauksen. Myös varaosat tilataan valmistajilta.

9 MITTALAITTEIDEN KALIBROINTISUUNNITELMA

Oulun seudun ammattikorkeakoulun luonnonvara-alan yksiköllä on käytössään erilaisia mittauslaitteita pelletin ja biomateriaalien mittaamiseen. Seuraavassa on ohjeita eri mittalaitteitten kalibrointiin.

9.1 Pikakosteusmittari

Puuhakkeen pikakosteusmittarille on syytä tehdä seurantamittauksia kahden vuoden välein. Mittaus tehdään vertaamalla puuhakkeen kosteutta pikakosteusmittarilla ja lämpökaappimenetelmän avulla. Seuranta voidaan toteuttaa esimerkiksi ottamalla haketta 10 litran astiaan, josta tehdään viisi pikakosteusmittausta. Näistä tuloksista lasketaan keskiarvo. Hakkeelle lasketaan lämpökaappimenetelmän avulla kosteusprosentti, jota verrataan pikakosteusmittarin keskiarvoon. Jos tuloksissa on enemmän kuin kahden prosenttiyksikön ero suuntaan tai toiseen, pikakosteusmittari tulisi viedä kalibroitavaksi laitteen valmistajalle.

9.2 Vaa'at

Oulun seudun ammattikorkeakoulun luonnonvara-alan yksikössä on käytävissä koukkuvaaka ja pöytävaaka. Koukkuvaa'an käyttöalue on yleensä 0–30 kg ja pöytävaa'an 0–2 kg. Koukkuvaa'an seurantamittauksiin tulisi käyttää 10 kg:n punnusnormaalia ja pöytävaa'alle 1 kg:n punnusnormaalia. Vaakojen seurantamittauksia tulisi suorittaa vuoden välein. Vaa'at tulisi viedä kalibroitaviksi, jos koukkuvaa'an mittausvirhe on enemmän kuin +/-0,1 g ja pöytävaa'an +/-0,05 g.

10 YHTEENVETO

Tässä työssä otettiin käyttöön Oulun seudun ammattikorkeakoulun luonnonvara-alan yksikön lavakuivuri. Kuivurin toimivuutta ja mahdollisia muutostarpeita tutkittiin kuivauskokeella.

Kuivauskokeessa kuivattiin puuhaketta kahden vuorokauden ajan. Hakkeen kosteutta mitattiin sekä pikakosteusmittarilla että lämpökaappimenetelmällä. Kokeessa selvisi, että lavakuivuri toimii asianmukaisesti, vaikka alussa havaittiin kuivurin päädyissä olevissa hakkeissa epätasaista kosteutta. Tuloilman puolella hakkeen kosteus oli noin kymmenen prosenttia enemmän kuin tyhjennysluukun puoleisessa päädyssä. Ilmavirran ohjauksella sekä sekoittamalla haketta saataneen tasaisempi kuivumistulos. Puhaltimen nopeuden lisäämisellä voitaisiin mahdollisesti nopeuttaa kuivausprosessia. Hakkeen kosteus laski tavoitearvoonsa jokaisella mittauspisteellä 22,17 tunnin kuluttua kokeen aloittamisesta.

Olisi ollut hyvä saada suoritettua kosteusmittauksia 4,24–22,17 tunnin välillä kokeen alkamisesta. Näin olisi saatu tarkempaa tietoa hakkeen tavoitekosteuden saavuttamisesta. Joka tapauksessa hakkeen kuivuminen oli nopeampaa kuin odotettiin, eli kuivauskokeen tulos on kuivurin kannalta hyvä.

Kuivurin tyhjentämisen aikana huomattiin, että lavakuivurin suomulevyn alta ei voi puhdistaa. Sinne voi mahdollisesti jäädä materiaalia, joka heikentäisi lämpimän ilman kulkua ja kuivurin kuivausominaisuuksia. Puhdistus onnistuisi, jos tyhjennysluukku ulottuisi kuivurin alareunaan asti. Nostokoukkujen asentamisella lavakuivurin siirtely helpottuisi.

Osana tutkimusta laadittiin lavakuivurille käyttö- ja huolto-ohjeet. Ohjeet on tiivis tietopaketti siitä, miten kyseistä laitetta tulee käyttää ja pitää kunnossa. Kuivurin taajuusmuuttajalle suunniteltiin erillinen ohjeistus, joka löytyy liitteenä 1. Lisäksi Oulun seudun ammattikorkeakoulun luonnonvara-alan yksikön mittalaitteille tehtiin kalibrointisuunnitelma.

LÄHTEET

1. Ekotehokkaan pellettituotannon ja -teknologian kehittäminen. 2011. Saatavissa: http://www.oamk.fi/hankkeet/ekopelletti/ekotehokas_pellettituotanto/. Hakupäivä 28.10.2012.
2. Norrkniivilä, Matti 2011. Biopolttoaineiden kuivauslaitteisto. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
3. Pellettilämpö Oy - Yleistä pelletistä. 2012. Saatavissa: http://www.pellettilampo.com/?Yleist%E4_pelletist%E4. Hakupäivä 20.10.2012.
4. Pelletin tuotanto. 2011. Saatavissa: http://www.pellettienergia.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=63&. Hakupäivä 28.10.2012.
5. Pelletin raaka-aineet. 2011. Saatavissa: <http://www.pellettienergia.fi/index.php/tietoa/pelletin-tuotanto/raaka-aineet>. Hakupäivä 28.10.2012.
6. Ekopelletti T&K -hankkeen tutkimusympäristö. 2011. Saatavissa: http://www.oamk.fi/hankkeet/ekopelletti/ekotehokas_pellettituotanto/ekopelletti_tk_hankkeen_tutkimusymparisto/. Hakupäivä 29.10.2012.
7. Imppola, Ritva 2012. Projektipäällikkö, EkoPelletti T&K -hanke. Haastattelu 20.3.2012.
8. Kärkkäinen, Matti 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Hämeenlinna: Karisto Oy.
9. Linna, Veli – Järvinen, Timo 1984. Hakkeen keinokuivatuksen tekniset ratkaisut ja taloudellisuus. Helsinki: Poly kopio Oy.

10. Farmcomp - Tuote-esittely. Saatavissa:
<http://www.farmcomp.fi/index.php?id=107&p=51&pid=251>. Hakupäivä
7.11.2012.
11. Järviö, Jorma 2006. Kunnossapito. Hamina: Oy Kotkan Kirjapaino Ab.
12. PSK 7501. 2010. Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut. PSK
Standardointiyhdistys ry.
13. SFS-EN 13306. 2001. Maintenance terminology. Helsinki: Suomenstan-
dardisoimisliitto SFS.
14. Riski, Kari 1998. Vaakojen kalibrointiohje. Mittatekniikan keskus. Saata-
vissa: http://www.mikes.fi/documents/upload/MIKES_J6_1998.pdf. Haku-
päivä 7.11.2012.

Taajuuden säätö

- Puhallin käynnistyy vihreästä painikkeesta (kuvassa 3.)
- Paina säädintä (kuvassa 2.) kaksi kertaa
- ▼ -merkki alkaa vilkkua
- Siirrä ▼ -merkki REF-tekstin kohdalle (kuvassa 4.) pyörittämällä säädintä.
- Paina säädintä kaksi kertaa. Näytössä alkaa vilkkua taajuuden arvo (esim. 20.0)
- Säädintä pyörittämällä taajuuden arvoa voi muuttaa
- Puhallin sammuu punaisesta painikkeesta (kuvassa 1.)

