



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

KOSTEUDEN HUOMIOIMINEN KATTILAN POLTTOAINEEN SYÖTÖN SÄÄDÖSSÄ

Vili Hainari

Opinnäytetyö
Toukokuu 2018
Kone- ja tuotantotekniikka
Koneautomaatio



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Koneautomaatio

HAINARI, VILI:

Kosteuden huomioiminen kattilan polttoaineen syötön säädössä

Opinnäytetyö 70 sivua, joista liitteitä 25 sivua
Toukokuu 2018

Kosteus vaikuttaa merkittävästi polttoaineesta saatavaan teholliseen lämpöarvoon. Kiinteän polttoaineen kattiloissa lämpöarvon muuttuminen aiheuttaa ongelmia polttoprosessin hallinnassa. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella kiinteän polttoaineen kattiloille säädin, joka muuttaa syötetyn polttoaineen määrää kosteusmittauksen perusteella. Lisäksi ohjelmalle tuli tehdä myös käyttöliittymä sekä käyttöohjeet.

Työskentely aloitettiin tutustumalla polttoaineiden ominaisuuksiin sekä lämpölaitosten prosesseihin. Jo työn alkuvaiheessa kävi ilmi, että kattiloiden polttoaineen syötön toteutuksessa ja prosessin säädössä on suuria kattila kohtaisia eroja. Kaikille kattiloille suoraan soveltuvan säätimen tekeminen on siis todella haastavaa. Tämän takia työtä varten valittiin kaksi erilaista kattilaa, joihin suunnitellut säätimet voisi siirtää muihin kattiloihin mahdollisimman vähäisellä työllä.

Suunnittelun ja ohjelmoinnin tuloksena on kaksi toiminnaltaan hieman eroavaa ohjelmaa, jotka laskevat lähtötietojen ja kosteusmittauksen perusteella polttoaineen lisäys- tai vähennystarpeen. Tämän perusteella suoritetaan polttoaineen syötön säätö. Polttoaineen syötön muutostarpeen perusteella tapahtuva säätö on helppo toteuttaa tulevaisuudessa myös muissa kattiloissa. Ohjelmien käyttäminen valvomon tietokoneella on toteutettu helppokäyttöisen käyttöliittymän avulla ja käyttöohjeet tarjoavat käyttäjälle apua ongelmatilanteissa.

Asiasanat: lämpövoimala, kiinteä polttoaine, kosteus, säätö

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Machine Automation

HAINARI, VILI:

Usage of moisture measurement on fuel supply control in boilers

Bachelor's thesis 70 pages, appendices 25 pages

May 2018

Moisture significantly influences the effective calorific value of a fuel. Change in heating value causes problems in the combustion process control in solid fuel boilers. The goal of this thesis was to design a controller for solid fuel boilers which changes the amount of fuel supply based on moisture measurement. In addition, the aim was to create a user interface and instructions for the program.

Work started by exploring the properties of fuels and the thermal power plant process theory. Already at the start of the work it became apparent that there are large boiler-specific differences in the fuel delivery and process control of boilers. Making a controller that is directly applicable to all boilers is therefore really challenging. For this reason, two different boilers were selected for controller design, so the designed controllers could be transferred to other boilers with minimum work.

As the result of designing and programming, two programs are created that differ slightly in function, both of which calculate addition or reduction requirements of the fuel supply based on the initial data and the moisture measurement. On this basis, the fuel supply adjustment is performed. Fuel supply control based on the need for change can be easily implemented in other boilers in the future. The use of the / these programs on the monitoring computer is implemented with an easy-to-use interface and the instructions that are provided with the program will help the user in problem situations.

Key words: thermal power plant, solid fuel, moisture, control

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	HÖYRYKATTILAN TOIMINTAPERIAATE.....	6
2.1	Arinakattilat	7
2.2	Leijukattilat	8
3	KIINTEIDEN POLTTOAINEDEN KÄYTTÖ JA OMINAISUUDET	10
3.1	Kiinteän polttoaineen palaminen	12
3.2	Kosteus.....	13
3.3	Kosteuspitoisuuden määrittäminen.....	15
3.4	Lämpöarvo	15
3.5	Tehollinen lämpöarvo	17
3.6	Tiheys.....	20
3.7	Energiatiheys	21
3.8	Puupolttoaineet	23
3.9	Puu ja kosteus	24
3.10	Turve.....	25
3.11	Laadunvaihtelu ja tehonsäätö.....	26
4	PROJEKTIN TAVOITTEET	28
4.1	Saarijärven kerrosleijukattila	28
4.2	Urjalan arinakattila	29
5	KOSTEUSMITTAUSTAPA.....	31
6	SÄÄTIMEN TOIMINTA.....	33
6.1	Kertoimen laskenta	33
6.1.1	Saarijärvi	36
6.1.2	Urjala.....	37
6.2	Säätö kertoimen avulla.....	38
6.2.1	Saarijärven säätökäyrän muuttaminen	38
6.2.2	Urjalan arinan ja syöttimen nopeuden muuttaminen	40
6.3	Kosteuden vaikutuksen määrä	41
7	TESTAUS JA OHJEET	43
7.1	Testaus	43
7.2	Ohjeet.....	43
8	YHTEENVETO JA POHDINTA	44
	LÄHTEET.....	45
	LIITTEET.....	46

1 JOHDANTO

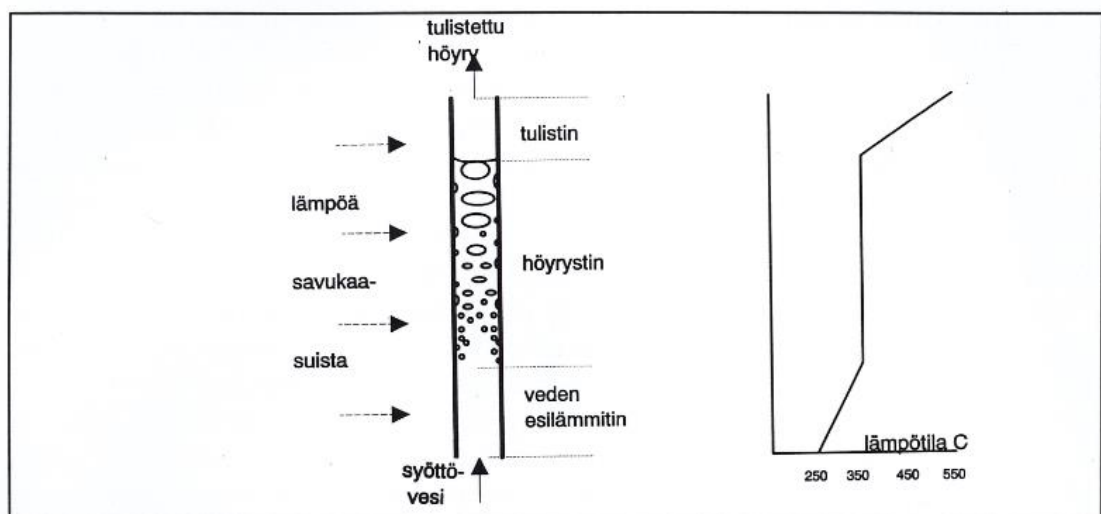
Kiinteän polttoaineen palamisessa tuottama lämpöteho vaihtelee suuresti polttoaineen sisältämän kosteuden mukaan. Liian kosteata polttoainetta käytettäessä suuri osa lämpöenergiasta menee sen kuivattamiseen, mikä näkyy heikkona lämpötehon tuottona. Polttoaineen kosteuspitoisuuden vaihtelu tulisi siis ottaa huomioon polttoaineen syötön yhteydessä, jotta kattilaan syötettäisiin sopiva määrä polttoainetta ja se pystyisi tuottamaan haluttua lämpötehoa.

Tällä hetkellä monissa kattiloissa on käytössä korjauskerroin, jolla voidaan lisätä tai vähentää kattilaan menevän polttoaineen määrää. Kerrointa käytettäessä reagointi tulee kuitenkin usein vasta, kun lämpötilat ovat lähteneet muuttumaan halutusta arvosta. Polttoaineen kosteusmittauksen avulla kosteuden aiheuttamiin muutoksiin voitaisiin reagoida reaaliajassa jo ennen kuin prosessissa alkaa näkyä muutoksia.

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella kiinteän polttoaineen kattiloiden polttoaineen syöttöön säädin, joka muuttaa syötetyn polttoaineen määrää kosteusmittauksen perusteella. Säätimen tulisi toimia erilaisissa kattiloissa ja useita eri polttoaineita käytettäessä. Säätimen voi valmistuttuaan sovittaa jo olemassa oleviin kattiloihin tai ottaa mukaan uusien kattiloiden tehonsäätimen suunnittelussa. Säätimelle tulee myös tehdä käyttöliittymä sekä käyttöohjeet.

2 HÖYRY- JA LÄMMINVESIKATTILAN TOIMINTAPERIAATE

Höyrykattiloita käytetään sähköä tuottavissa voimalaitoksissa sekä kaukolämpöä ja sähköä tuottavissa kaukolämpövoimalaitoksissa. ”Höyrykattilassa tuotetaan kattilaan syötetystä vedestä höyryä. Nykyaikainen höyrykattila voidaan vedenkierron kannalta ajatella pitkäksi putkeksi, jonka toisesta päästä vesi syötetään nestemäisenä sisään ja jonka toisesta päästä se tulee ulos tulistuneena vesihöyrynä.” (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 7.) Lämminvesikattiloissa vesi lämmitetään, mutta sitä ei höyrystetä. Höyrystämätön lämmin vesi käytetään kaukolämmitykseen.



KUVA 1. Höyrykattilan toimintaperiaate (Huhtinen ym. 2000, 7)

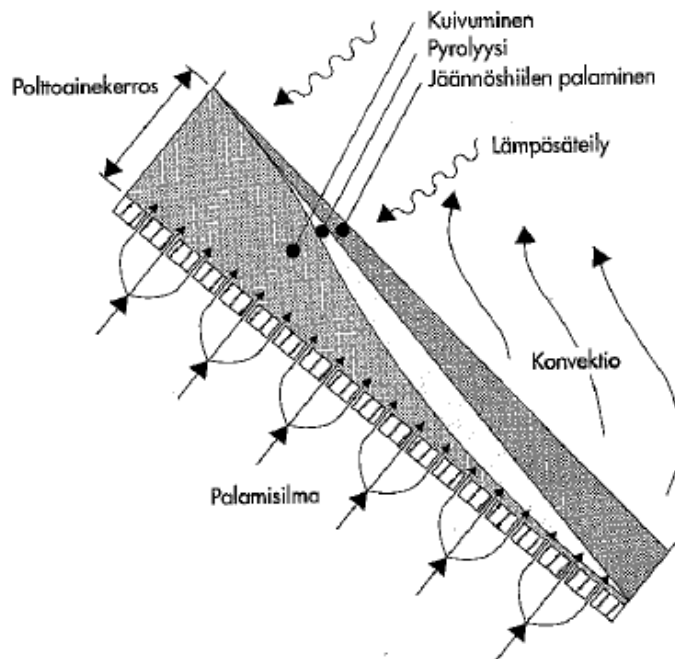
Höyry- ja lämminvesikattiloiden polttoaineen lämmityksen peruseriaate on sama. Huhtisen ym. (2000, 7-12) mukaan höyrykattiloissa polttoainetta poltetaan kattilan tulipesässä ja sen tuottamalla lämpöenergialla lämmitetään putkissa virtaavaa vettä (ks. kuva 1). Tämän opinnäytetyön kannalta merkityksellisiä kattiloita ovat kiinteän polttoaineen kattilat.

Kiinteän polttoaineen kattiloissa (KPA), tulipesään syötetään kiinteässä muodossa olevaa polttoainetta, kuten kivihiiltä tai puuhaketta. Kiinteän polttoaineen käyttö tulee huomioida kattilan suunnittelussa ja polttoaineen varastoinnissa. (Huhtinen ym. 2000, 47, 126.)

Seuraavissa kappaleissa käsitellään muutama kattilatyyppejä, joiden toiminnan ymmärtäminen on tämän opinnäytetyön kannalta oleellista. Nämä kattilatyypit ovat arinakattilat sekä leijukattilat. Molemmissa kattiloissa käytetään pääasiassa kiinteää polttoainetta, mutta kattiloiden toimintaperiaate polttoprosessin osalta on kuitenkin hyvin erilainen. (Huhtinen ym. 2000, 126, 146-163). Molemmat työssä valituista esimerkkikattiloista on lämminvesikattiloita.

2.1 Arinakattilat

Arinakattiloissa polttoaine palaa arinoiden päällä paikallaan pysyvänä tai liikkuvana kerroksena. (Huhtinen ym. 2000, 146.) Palamisilma syötetään useimmiten kahdessa vaiheessa. Primääri-ilma syötetään arinan alta ja sekundääri-ilma syötetään arinan päältä polttamaan loput palamiskaasut. Primääri ilma voi olla esilämmitettyä palamisprosessin nopeuttamiseksi. (Raiko, Kurki-Suonio, Saastamoinen & Hupa 1995, 400). Arinalla polttoaine käy läpi palamisen eri vaiheet (ks. kuva 2). Lisää palamisen vaiheista kappaleessa 3.1.



KUVA 2. Polttoaineen palaminen arinalla (Raiko ym. 1995, 394)

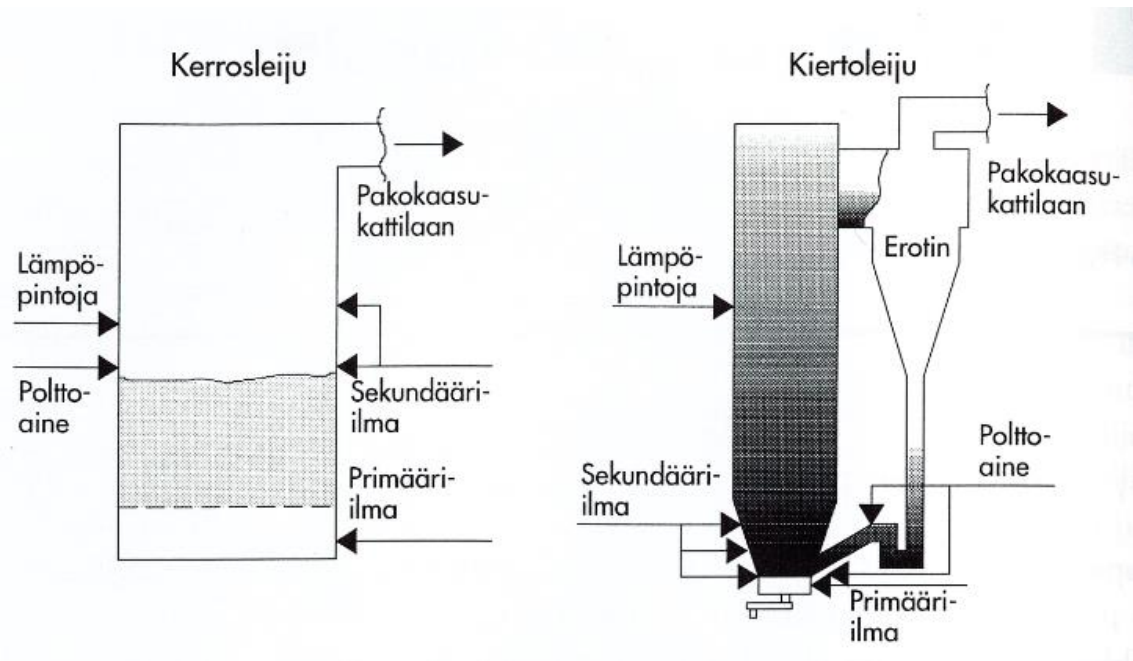
Arinan rakenne määräytyy kattilan koon ja käytettävän polttoaineen mukaan. Polttoaineen kulkeutuminen arinoiden päällä tapahtuu useimmiten menetelmillä, jotka käyttävät hyväkseen painovoimaa, tärinää tai mekaanista liikettä. Polttoaineen liikkuminen voidaan varmistaa myös edellä mainittuja menetelmiä yhdistelemällä. (Raiko ym. 1995, 399-405.)

Polttoaineen syöttöjärjestelmän tehtävä arinakattiloissa on syöttää polttoaine arinalle mahdollisimman tasaisena kerroksena. Tasaisuus on tärkeää palamisprosessin kannalta, koska polttoaineen sekoittuvuus on arinalla erityisesti leveyssuunnassa huonoa, vaikka arina olisi liikkuva. Huonosti levittynyt polttoainekerros päästää liikaa palamisilmaa kerroksen läpi sen ohuimmissa kohdissa ja polttoprosessi häiriintyy. (Raiko ym. 1995, 398). Polttoaineen syöttö arinakattilaan voidaan toteuttaa syöttöruuvilla tai esimerkiksi syötintä käyttämällä.

2.2 Leijukattilat

Leijupoltosta on tullut 1970 –luvulta lähtien yksi tärkeimmistä tavoista polttaa kiinteitä polttoaineita. Suomi on ollut leijutekniikan kehittämisessä maailman kärkeä. Kattiloiden soveltuvuus monien eri polttoaineiden polttoon on yksi syy niiden suosioon. Leijukattilat voidaan jaotella kerrosleijukattiloihin ja kiertoleijukattiloihin. (Raiko ym 1995, 417-418). Leijupoltossa polttoaine lämpenee ja palaa kuumen petimateriaalin vaikutuksesta.

Kerrosleijukattiloissa leijupetillä on selkeästi havaittava pinta. Leijumateriaali esilämmitetään polttimella, jonka jälkeen polttoaineen syöttö voi alkaa. Polttoaine syötetään leijukerroksen päälle ja se alkaa käymään läpi palamisen eri vaiheita. Ilmavirta varmistaa polttoaineen tehokkaan sekoittumisen. Petimateriaali varaa tehokkaasti lämpöä, joten polttoprosessi ei ole hirveän herkkä polttoaineen kosteuden muutoksiin. Osa palamisilmasta syötetään kerroksen päälle sekundääri ilmaa. (Huhtinen ym. 2000, 157-159).



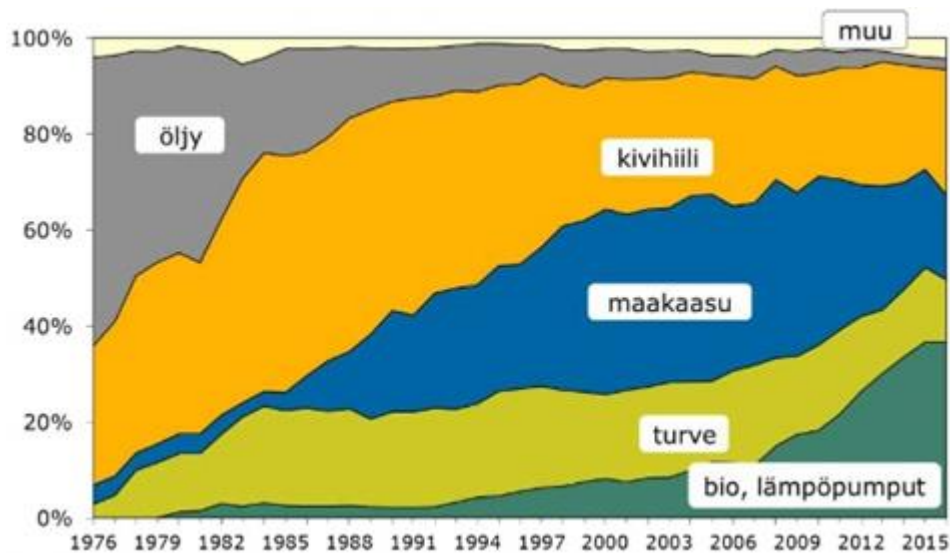
KUVA 3. Leijukattiloiden rakenne (Raiko ym. 1995, 418)

Kiertoileijukattiloissa ilmavirtaus on niin voimakasta, että petimateriaalilla ei enää ole selkeää pintaa. Kuvasta 3 voidaan havaita kiertoileijukattilan eroavaisuudet kerrosleijukattilaan. Osa petimateriaalista nousee pakokaasujen mukana erottimelle, josta se palautetaan kiertoon. Polttoaine syötetään kiertoileijukattiloissa usein palautuvan petimateriaalin mukana. Petimateriaali on kiertoileijukattiloissa hienojakoisempaa, kuin kerrosleijukattiloissa. (Huhtinen ym. 2000, 159-160).

Kiertopetikattilat soveltuvat hyvin pitkiä palamisaikoja tarvitseville polttoaineille. Polttoaineen palamattomat osat tempautuvat ilmavirtauksen mukana erottimelle, josta ne palaavat petimateriaalin mukana takaisin kattilan tulipesään. Näin saadaan riittävän pitkä palamisaika. (Huhtinen ym. 2000, 162).

3 KIINTEIDEN POLTTOAINEIDEN KÄYTTÖ JA OMINAISUUDET

Suomessa käytettäviin kiinteisiin polttoaineisiin kuuluvat pääasiassa kivihiili, puupolttoaineet, turve sekä yhdyskuntajäte. Näistä hiili ja turve luetaan fossiilisiin polttoaineisiin ja puupolttoaineet sekä biopolttoaineet uusiutuviin polttoaineisiin. (Raiko ym. 1995, 89; Huhtinen ym. 2000, 27-28).



KUVIO 1. Kaukolämmön käyttämät polttoaineet 2016 (Virtanen 2017) (muokattu)

Kuviosta 1 voidaan päätellä, että puu ja muu biomassa ovat kasvattaneet suosiotaan fossiilisiin polttoaineisiin nähden ja päästörajoitusten takia ne kasvattanevat suosiotaan myös jatkossa. Kokonaisuudessaan tämän opinnäytetyön kannalta merkittävät kiinteät polttoaineet vastaavat noin 70 % osuudesta kaukolämmöntuotossa.

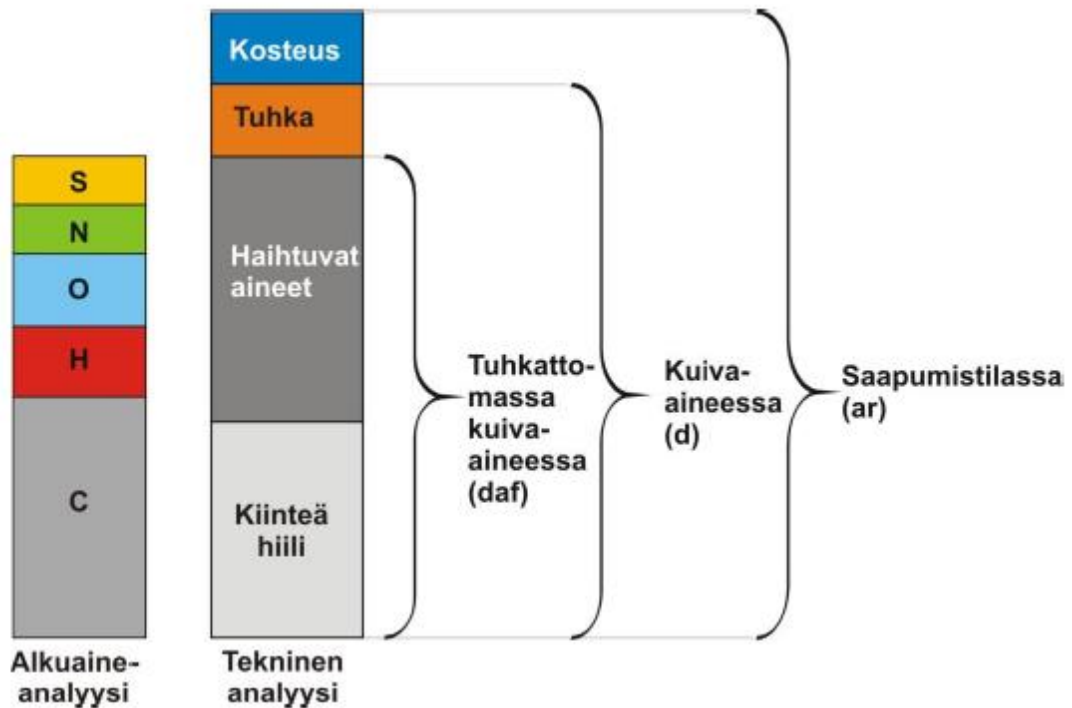
Polttoaineiden lämmöntuoton kannalta tärkeimmät ominaisuudet ovat:

- lämpöarvo
- polttoaineen kemiallinen koostumus
- kosteus
- tuhkapitoisuus, tuhkan koostumus ja tuhkan sulamiskäyttäytyminen
- tiheys sekä muut käsittelytekniset ominaisuudet.

(Alakangas, Hurskainen, Laatikainen-Luntama & Korhonen 2016, 22).

Tietyn polttoaineen ominaisuudet saadaan selville teknisen analyysin avulla. ”Polttoaineiden tekninen analyysi on kosteuden, haihtuvien aineiden, kiinteän hiilen ja

tuhkan määrittäminen. Teknistä analyysiä käytetään polttoaineen laatua arvioitaessa ja se antaa lämpöarvomäärittysten ohella perustan polttoainekaupalle.” (Alakangas ym. 2016, 23.)

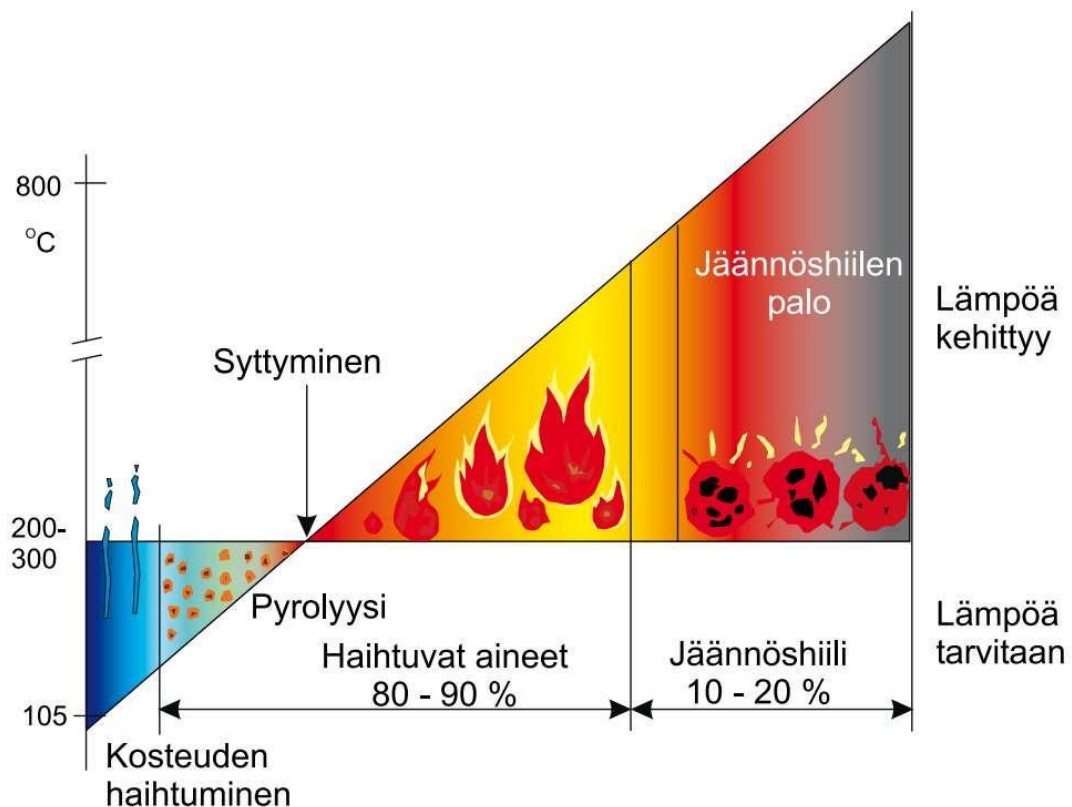


KUVA 4. Polttoaineen määrittäminen (Alakangas ym. 2016, 24)

Polttoaineiden ominaisuuksista puhuttaessa on tärkeää määrittää, missä tilassa polttoaineiden ominaisuudet esitetään. Kuvassa 4 näkyy kolme erilaista olotilaa, joissa polttoaineen ominaisuudet voidaan määrittää. Tuhkattomassa kuiva-aineessa (daf, dry ash free) ei oteta huomioon polttoaineen sisältämää kosteutta tai tuhkaa. Kuiva-aineesta (d, dry, dry basis) puhuttaessa polttoaine oletetaan täysin kuivaksi. Saapumistilassa (ar, as received) oleva polttoaine kuvaa parhaiten kattilaan menevää polttoainetta. Siinä on otettuna huomioon niin tuhka, kuin kosteuskin. (Alakangas ym. 2016, 23).

3.1 Kiinteän polttoaineen palaminen

”Polttoainepartikkelin palaminen ja kaasutus jakautuu eri vaiheisiin. Aluksi partikkeli lämpenee kuivumislämpötilaan. Kuivumisen jälkeen seuraa pyrolyysi ja pyrolyysin jälkeen jäännöshiilen palaminen ja kaasutus.” (Raiko ym. 2002, 139.) Polttoaineesta riippuen nämä vaiheet voivat olla myös päällekkäisiä. Kappaleen pinta voi esimerkiksi olla jo hiiltynyt, kun ydin on vielä kostea. (Raiko ym. 2002, 139.)



KUVA 5. Puun palamisen vaiheet (Knuuttila 2003, 25)

Ensimmäisessä palamisen vaiheessa polttoaine lämpenee ja siitä poistuu sen sisältämä kosteus. Kun polttoaine on kuivunut ja vesi on haihtunut, alkaa polttoaine lämmitä syttymispistettä kohti. Polttoaineessa olevat haihtuvat aineet alkavat kaasuuntua jo ennen syttymispisteen saavuttamista. (Huhtinen ym. 2000, 83). Kuvasta 5 voidaan huomata, että polttoaineen lämmittäminen ja kuivuminen kuluttaa energiaa.

Syttymisessä kaasut syttyvät palamaan ja vapautuva energia nostaa lämpötilaa entisestään. Samalla polttoaineen kiinteä aine alkaa kiihtyvään tahtiin muuttua muotoaan korkean lämpötilan vuoksi. Tätä kutsutaan pyrolyysiksi. Pyrolyysin aikana

polttoaineesta kaasuuntuvat ja palavat haihtuvat aineet. Vapautuneesta lämpöenergiasta suurin osa tulee polttoaineen ympärillä palavista kaasuista. (Raiko ym, 1995, 145-146).

Polttoaine siirtyy palamisen viimeiseen vaiheeseen, kun haihtuvat aineet ovat pääosin palaneet ja lämpötila on noussut riittävän korkealle. Viimeisessä palamisen vaiheessa polttoaineen jäljelle jäänyt hiili alkaa palaa. Lopuksi jäljelle jää tuhkaa sekä palamattomat aineet. (Raiko ym 1995, 153).

3.2 Kosteus

Kiinteän polttoaineen tuottaman lämpöenergian kannalta yksi merkittävimmistä tekijöistä on kosteus. Kosteuspitoisuuden kasvaminen vähentää merkittävästi polttoaineen palamisesta saatavaa nettoenergiaa. (Raiko ym. 1995, 91). Kosteuden lämmittäminen ja höyrystäminen on energiaa kuluttavaa. Tämä energia täytyy ottaa joko jo palavasta polttoaineesta, tai ulkoisesta energialähteestä. Polttoprosessin ollessa käynnissä, energian otto tapahtuu käytännössä jo palavan polttoaineen kustannuksella, joka näkyy alhaisempana kattilan lämpötilana. Lämpöenergian tuotto voidaan pitää vakiona polttamalla enemmän polttoainetta, joka kompensoi kosteuden aiheuttaman lämpötehon menetyksen. (Huhtinen ym. 2000, 39-40).

Kattilat on suunniteltu tietyille kosteusalueille, joten liian kuivan tai märän polttoaineen poltto aiheuttaa suuria ongelmia polttoprosessissa. Huhtisen ym. (2000, 152-153) mukaan kosteuden haihduttamista voidaan tehostaa rakentamalla kattilaan lämpöä varaavia rakenteita, jotka lämmittävät polttoainetta lämpösäteilyllään. Polttoaineen käyttäminen voi myös muuttua tietyssä kosteudessa polttoaineesta ja kattilasta riippuen taloudellisesti kannattamattomaksi. Tämä johtuu kattiloiden alentuneesta hyötysuhteesta sekä polttoaineen kulutuksen kasvusta. (Huhtinen ym. 2000, 39-40). Kosteus vaikuttaakin merkittävästi voima- ja lämpölaitosten polttoainekustannuksiin.

Kosteuspitoisuus voidaan ilmaista absoluuttisena pitoisuutena tai suhteellisena pitoisuutena. Suhteellinen kosteuspitoisuus vertaa polttoaineessa olevan veden massaa polttoaineen kokonaismassaan. (Huhtinen ym. 2000, 39-40). Jos esimerkiksi puun suhteellinen kosteus on 40 %, on polttoaineen kokonaismassasta 60 % puuta ja 40 %

vettä. Tehollisen lämpöarvon laskentakaavoissa veden osuus on useimmiten ilmaistu suhteessa kokonaismassaan, eli suhteellisenä kosteutena. Polttoaineen suhteellinen kosteus voidaan laskea kaavan 1 avulla.

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100 \% \quad (1)$$

jossa

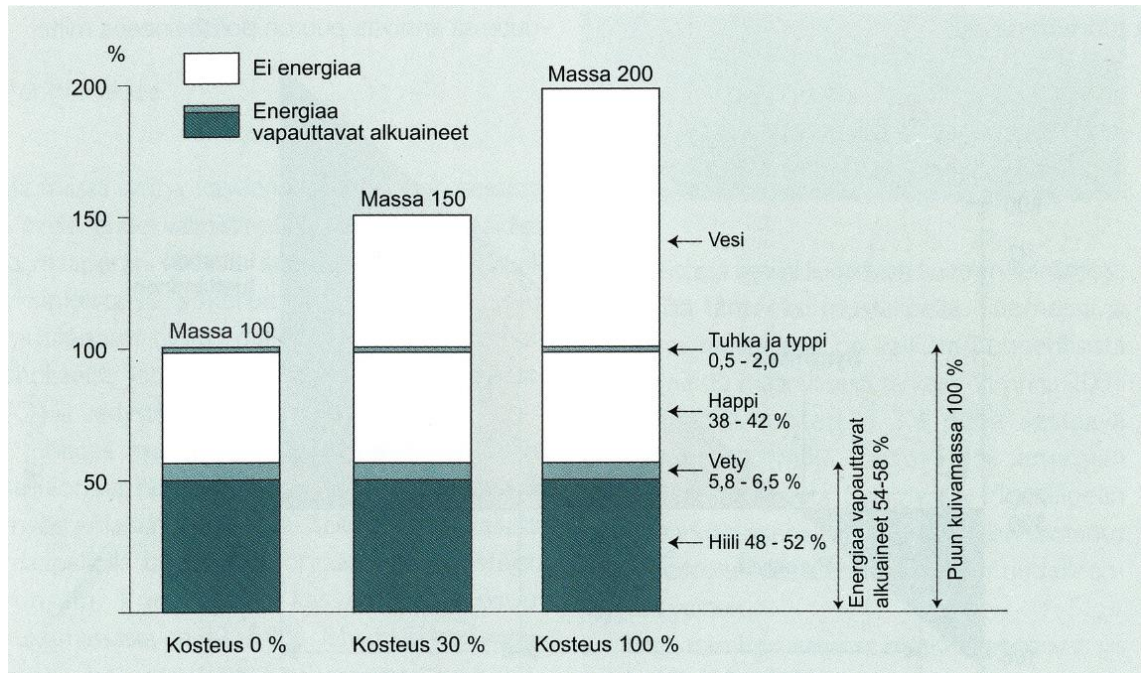
M_{ar}	Suhteellinen kosteus
m_1	tyhjän kuivausastian paino
m_2	kuivausastian ja näytteen yhteispaino ennen kuivausta, g
m_3	kuivausastian ja näytteen yhteispaino kuivauksen jälkeen, g

Absoluuttisessa kosteuspitoisuudessa polttoaineessa olevan veden massaa verrataan kuivan polttoaineen massaan. Näin ollen, absoluuttisen kosteuspitoisuuden ollessa 100 % on polttoaineessa olevan veden massa yhtä suuri, kuin kuivan polttoaineen massa. Kaavan 2 avulla saadaan laskettua polttoaineen absoluuttinen kosteus, joka tunnetaan myös nimellä kosteussuhde. Kosteussuhde on yleisesti puun kosteudesta käytetty muoto. (Huhtinen ym. 2000, 39; Alakangas ym. 2016, 26). Puun ja veden massan suhde suhteellisessa kosteudessa näkyy kuvassa 6.

$$U_d = \frac{M_{ar}}{100 - M_{ar}} \cdot 100 \% \quad (2)$$

jossa

U_d	Kosteussuhde
M_{ar}	Suhteellinen kosteuspitoisuus



KUVA 6. Puun suhteellinen kosteus (Knuutila 2003, 26)

3.3 Kosteuspitoisuuden määrittäminen

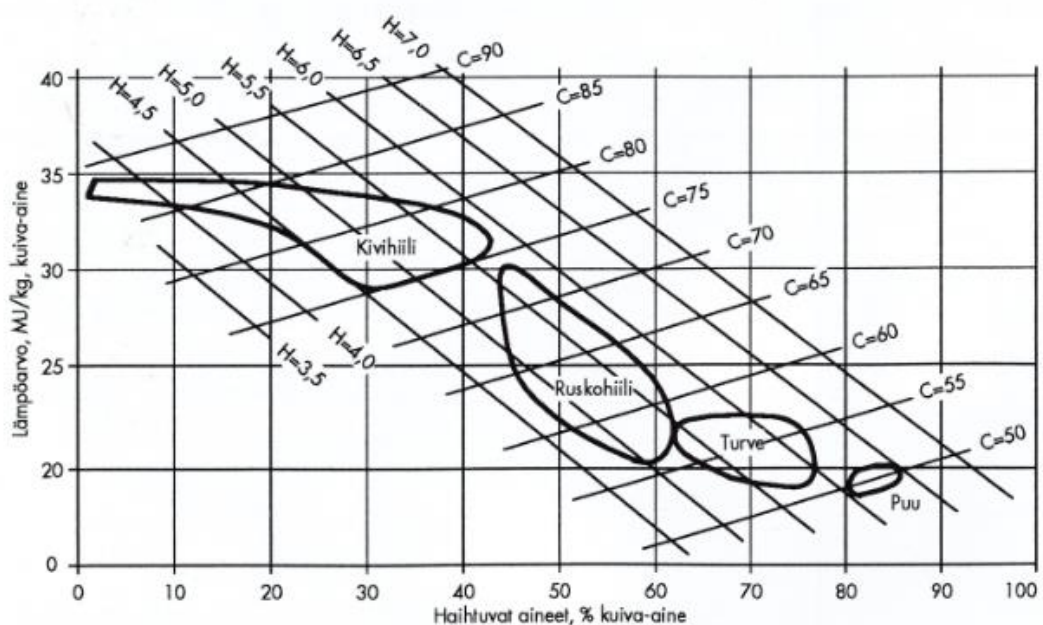
Yksi luotettava polttoaineen kosteuden määrittämistapa on uunikuivatuskoe. Kokeessa polttoaine punnitaan ja laitetaan lämpökaappiin kuivumaan. Kuivatuksen jälkeen kappale punnitaan uudelleen, jotta saadaan selville haihtuneen veden massa. Koe kestää niin kauan, kunnes polttoaineen massa ei muutu uunissa enää merkittävästi tunnin sisällä. Koe lopetetaan, jos se kestää yli 24 tuntia. Uunista ottamisen jälkeen näyte täytyy punnita mahdollisimman nopeasti, jotta ilman kosteus ei imeydy takaisin näytteeseen. (Alakangas ym. 2016, 26.) Punnituksista saatujen massojen avulla voidaan laskea polttoaineen suhteellinen kosteus käyttämällä kaavaa 1. Kaavassa otetaan huomioon myös punnitusastian paino. Testin ja kaavan avulla saatu kosteuspitoisuus ilmaisee veden massan osuuden polttoaineen kokonaismassasta.

3.4 Lämpöarvo

Lämpöarvo on tärkein polttoaineen ominaisuus. Sillä ilmaistaan, paljonko polttoaineesta vapautuu lämpöenergiaa sen täydellisessä palamisessa. Vapautuneen lämpöenergian määrä on suhteutettuna massayksikköä kohden, joten lämpöarvon mittasuurena

käytetään yleisimmin joko MJ / kg tai kWh / kg. (Raiko ym. 1995, 93; Knuutila 2003, 26.)

Polttoaineen kemiallinen koostumus määrittelee sen lämpöarvon suuruuden. Palamisessa vapautuvan lämpöenergian kannalta tärkeimmät alkuaineet ovat hiili ja vety. Vedystä muodostuu kuitenkin sen palaessa vettä, joka taas heikentää polttoaineen lämpöarvoa. (Raiko ym. 1993, 94). Lämpöarvo voidaan ilmaista joko kalorimetrinenä lämpöarvona eli ylempänä lämpöarvona tai tehollisena lämpöarvona eli alempana lämpöarvona. (Alakangas ym. 2016, 28-29.) Pääsääntönä paljon hiiltä ja vähän haihtuvia aineita sisältävillä polttoaineilla on korkea lämpöarvo (ks. kuva 7).



KUVA 7. Hiilipitoisuuden ja korkean lämpöarvon välinen yhteys (Raiko ym. 1995, 90)

Kalorimetrillä lämpöarvolla kuvataan polttoaineen täydellisessä palamisessa tuottaman kokonaislämpöenergian määrän. Polttoaineessa oleva ja palamisessa syntyvä vesi oletetaan palamisen jälkeen vedeksi, joten sen höyrystämiseen kuluva energia ei oteta huomioon. (Knuutila 2003, 26.)

Kalorimetrinen lämpöarvo voidaan määrittää laboratoriossa kaloripommikokeella. Kokeessa pieni määrä polttoainetta asetetaan kalorimetripommiin, jossa on sisällä paineistettua happea täydellisen palamisen varmistamiseksi. Pommi on upotettuna nesteeseen, jotta vapautunut lämpö voidaan mitata nesteen lämpötilan muutoksena.

Kalorimetrinen lämpöarvon määrittämisen jälkeen voidaan laskea polttoaineen tehollinen lämpöarvo. (Huhtinen ym. 2000, 43-44.)



KUVA 8. Pommikalorimetri (Intermed 2018)

3.5 Tehollinen lämpöarvo

Tehollinen lämpöarvo ottaa huomioon veden höyrystämisen menetetyt energiat. Polttoaineen sisältämän veden ja vedyn määrän kasvu kasvattaa tehollisen ja kalorimetrin lämpöarvon eroa. (Knuutila 2003, 26). Polttoaine sisältää käytännössä aina myös kosteutta, joten tehollinen lämpöarvo on käytännön tilanteisiin hyödyllisempi, kuin kalorimetrinen lämpöarvo. Tästä syystä Suomessa lämpöarvo yleensä ilmoitetaan juuri tehollisena lämpöarvona. (Huhtinen ym. 2000, 43; Alakangas ym. 2016, 28). Tehollinen lämpöarvo voidaan laskea, kun polttoaineen kalorimetrinen lämpöarvo on tiedossa.

Tehollinen lämpöarvo voidaan laskea kaavoilla 3, 4 ja 5 joko kuiva-aineessa, saapumistilassa kokonaismassaa kohden tai saapumistilassa kuivamassaa kohden. (Knuutila 2003, 26.) Kuvista 2 voidaan havaita edellä mainittujen lämpöarvojen erot.

$$q_{p,net,d} = q_{V,gr,d} - 212,2 \cdot w(H)_d - 0,8 \cdot [w(O)_d + w(N)_d] \quad (3)$$

jossa

$q_{p,net,d}$	kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo vakiopainessa, J / g tai kJ / kg
$q_{V,gr,d}$	kuiva-aineen kalorimetrinen lämpöarvo vakiotilavuudessa, J / g tai kJ / kg
$w(H)_d$	vetypitoisuus kuivassa polttoaineessa (sisältäen vedyn mineraaliaineksen hydraatioveden sekä polttoaineen sisältämän vedyn), p-%
$w(O)_d$	happipitoisuus kuivassa polttoaineessa, p- %
$w(N)_d$	typpipitoisuus kuivassa polttoaineessa, p- %

Kaavan 3 laskennassa voidaan käyttää taulukoituja vakioarvoja, jos tarkkoja tietoja polttoaineesta ei ole saatavilla. Kaavasta voidaan havaita myös, että muuttujista vedyn vaikutus lämpöarvoon on huomattavasti suurempi, kuin hapen ja typen. Kun polttoaineesta tiedetään sen tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa, voidaan siitä laskea sen kosteuden avulla tehollinen lämpöarvo saapumistilassa. (Alakangas ym. 2016, 28-29.) Kaavalla 4 voidaan kaavan 3 tulosta ja kosteuspitoisuutta käyttäen selvittää polttoaineen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa.

$$q_{p,net,ar} = q_{p,net,d} \cdot \left(\frac{100 - M_{ar}}{100} \right) - 0,02443 \cdot M_{ar} \quad (4)$$

jossa

$q_{p,net,ar}$	tehollinen lämpöarvo (vakiopainessa) saapumistilassa, MJ / kg
$q_{p,net,d}$	tehollinen lämpöarvo (vakiopainessa) kuiva-aineessa, MJ / kg
M_{ar}	kosteus saapumistilassa, p- %
0,02443	on höyrystymiseen entalpiian korjauskerroin (vakiopainessa) vedelle (kosteus) 25°C lämpötilassa, MJ / kg per 1 p- % kosteutta.

Kaavaa hieman muuttamalla voidaan laskea polttoaineen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa kuivamassaa kohden. Kaavassa polttoaineen osuutta ei vähennetä

kosteuden vaikutuksesta, vaan lämpöarvosta vähennetään vain veden osuus kerrottuna sen höyrystymislämmöllä. (Knuuttila 2003, 27.)

$$q_{p,net,dar} = q_{p,net,d} - 0,02443 \cdot M_{ar} \quad (5)$$

jossa

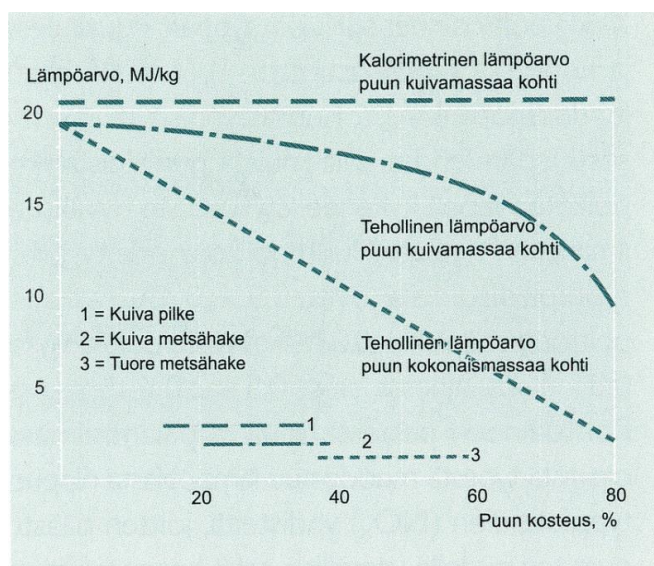
$q_{p,net,dar}$ tehollinen lämpöarvo (vakiopaineessa) saapumistilassa kuivamassaa kohden, MJ / kg

$q_{p,net,d}$ tehollinen lämpöarvo (vakiopaineessa) kuiva-aineessa, MJ / kg

M_{ar} kosteus saapumistilassa, p- %

0,02443 on höyrystymisen entalpian korjauskerroin (vakiopaineessa) vedelle (kosteus) 25°C lämpötilassa, MJ / kg per 1 p- % kosteutta.

Kaavojen 4 ja 5 avulla voidaan piirtää tehollisen lämpöarvon kuvaajat, joista ilmenee niiden avulla saatavien lämpötehojen eroaminen toisistaan. Kuvioista 2 voidaan havaita, että kokonaismassaan suhteutettu lämpöteho lähtee alusta asti jyrkkään laskuun, mutta kuivamassaan suhteutettu lämpöteho aleneminen kosteuspitoisuuden kasvaessa on alkuun maltillisempaa. Lämpöteho suhteessa kuivamassaan lähtee kosteuspitoisuuden kasvaessa tarpeeksi nopeaan pudotukseen. (Knuuttila 2003, 27.)



KUVIO 2. Puun tehollinen lämpöarvo (Knuuttila 2003, 27)

Kuvion 2 käyrien jyrkkyys riippuu myös polttoaineen lämpöarvosta. Mitä pienempi lämpöarvo on, sitä aikeisemmin kuivamassaa kohden lasketun lämpöarvon käyrä lähtee

yrkkään laskuun. Vastaavasti todella suuren lämpöarvon omaavan polttoaineen lämpöarvokäyrä pysyy pidempään loivana. Asiasta lisää kappaleessa 3.7.

3.6 Tiheys

Työn kannalta kolmas merkittävä polttoaineiden ominaisuus on niiden tiheys. Tiheyden avulla voidaan laskea polttoaineen energiatiheys. Kiinteiden polttoaineiden tiheyksistä on syytä tietää, että tilavuusyksiköitä on käytössä kolme erilaista: kiintotiheys, pinotiheys sekä irtotiheys. Nämä merkitään tiheyden yksikön yhteydessä olevalla pienillä kirjaimilla. Esimerkiksi irtotiheys merkitään muodossa $\text{kg}/\text{i-m}^3$ ja pinotiheys $\text{kg}/\text{pino-m}^3$. (Alakangas ym. 2016, 19,31). Laskennan kannalta oleellista on, että kaikki käytetyt tiheydet ovat samassa muodossa. Kuva 9 selventää tiheyksien välistä suhdetta.



KUVA 9. Kiinto-, pino- ja irtokuutiometri (Bioenergianeuvoja 2018)

Kosteus vaikuttaa polttoaineiden tiheyteen lisäämällä veden painon polttoaineen massaan. Tilavuuden muutos kosteudesta riippuu polttoaineesta. Alakankaan ym. (2016, 61) mukaan esimerkiksi puu ei muuta ulkomittojaan merkittävästi kosteuden ylittäessä 30 p- %. Tästä syystä puun tiheys muuttuu vain veden massan vaikutuksen verran sen kosteuden noustessa kyllästyspisteen yli.

Työssä ei olla otettu huomioon kosteudesta johtuvaa polttoaineen tilavuuden muutosta, koska se vaihtelee polttoaineesta riippuen. Lisäksi todellisuudessa polttoaineen kosteus liikkuu lähes poikkeuksetta yli 20 p-% kosteuksien yläpuolella, jättäen osan vaikutuksesta automaattisesti alueen ulkopuolelle. Edellä mainitut tekijät tekevät

turpoamisen vaikutuksen arvioinnista hankalaa ja se on loppujen lopuksi niin pientä, että sitä ei kannata ottaa huomioon.

3.7 Energiatiheys

Kun polttoaineesta tiedetään tehollinen lämpöarvo sekä tiheys, voidaan siitä laskea sen energiatiheys. (Alakangas ym. 2016, 31.) Laskentaan käytetään kaavaa 6. Energiatiheys on merkittävä lämmön- ja sähköntuotannon kannalta, koska sen avulla saadaan helposti selville tarvittava tilavuus, joka polttoainetta täytyy syöttää tietyn lämpötehon saavuttamiseksi. Polttoaineen syöttö voidaan mitoitaa myös massavirtana, joka ilmaisee syötetyn polttoaineen massan sekunnissa.

$$E_{ar} = q_{p,net,ar} \cdot BD_{ar} \quad (6)$$

jossa

E_{ar} biopolttoaineen energiatiheys saapumistilassa, MWh / irto-m³

$q_{p,net}$ tehollinen lämpöarvo suhteessa kuivamassaan, MJ / kg

BD_{ar} polttoaineen tilavuuspaino saapumistilassa, kg / irto-m³

Saatu tulos on yksikössä MJ/kg saapumistilassa. Sama tulos saadaan käyttämällä yksinkertaistettua kaavaa (kaava 7), jossa tehollinen lämpöarvo on suhteessa kuivamassaan ja tiheys on kuivatiheytenä. Näin toinen arvoista on koko ajan vakio.

$$E_{ar} = q_{p,net,dar} \cdot BD_d \quad (7)$$

jossa

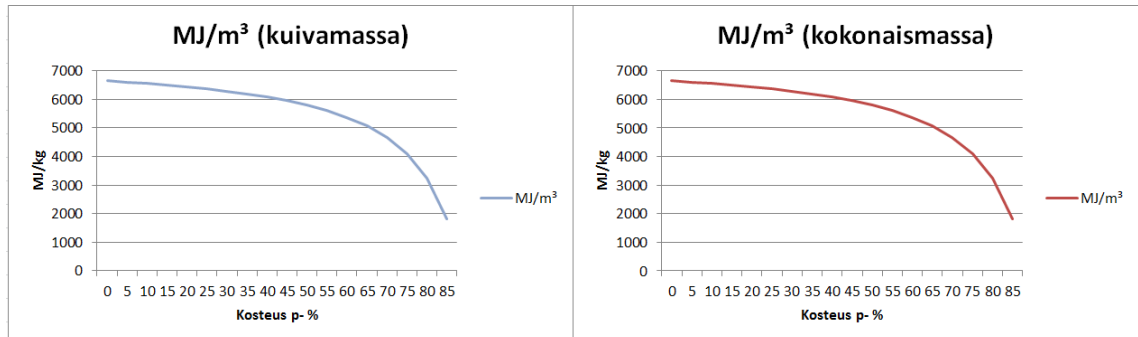
E_{ar} biopolttoaineen energiatiheys saapumistilassa, MJ / irto-m³

$q_{p,net,dar}$ tehollinen lämpöarvo suhteessa kuivamassaan, MJ / kg

BD_d polttoaineen kuivatiheys, kg / irto-m³

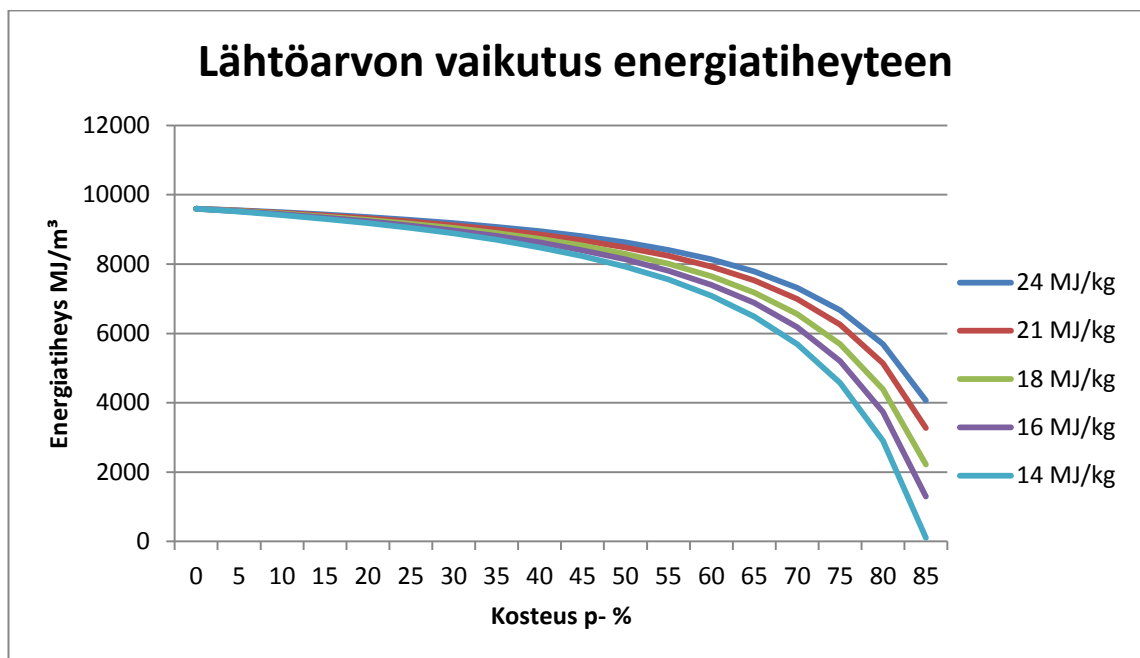
Kun polttoaineen tilavuuden muutosta kosteuden takia ei oteta huomioon, antavat kaavat identtiset tulokset (ks. kuvio 3). Kuivamassan kaavan (kaava 5) avulla laskiessa tiheys pysyy vakiona, joten laskutoimitus on yksinkertaisempi. Käyttäjällä ei kuitenkaan välttämättä ole kuivan polttoaineen tietoja. Tämän takia ohjelman laskutoimitukset on

suoritettu kaavojen 4 ja 6 avulla. Näin ollen polttoaineesta täytyy tietää lämpöarvo ja tiheys missä tahansa kosteudessa (saapumistilassa).



KUVIO 3. Energiatiheyksien vertailu

Polttoaineen lämpöarvolla on suuri merkitys energiatiheyden käyrän jyrkkyyteen. Alhaisemmilla lämpöarvoilla käyrä jyrkkenee kosteuden vaikutuksesta huomattavasti enemmän, kuin korkeammilla lämpöarvoilla. Kuviossa 4 on esitettyinä polttoaineiden energiatiheyden käyriä eri lähtöarvoilla. Käyrät on siirretty alkamaan samasta pisteestä, jotta niiden jyrkkyyksien erot tulevat helposti havaittavaksi. Jyrkkyys on merkittävä tekijä ohjelman kertoimen laskennan kannalta. Asiasta lisää kappaleessa 7.3.



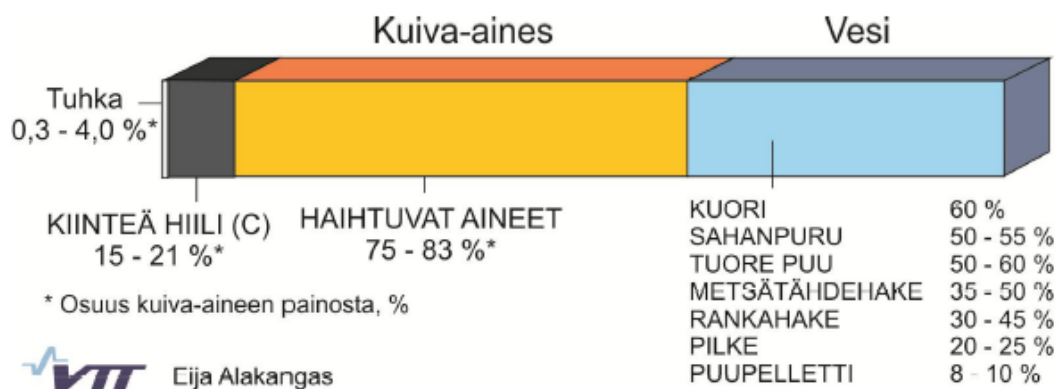
KUVIO 4. Lähtöarvojen vaikutus energiatiheyteen.

3.8 Puupolttoaineet

Puupolttoaineet ovat Suomessa eniten käytettyjä biopolttoaineita. Se erottuu muista polttoaineista uusiutuvuutensa takia. Puusta tekee erityisen myös sen monipuoliset hyödyntämismahdollisuudet energiantuotannossa. Puuperäisiä polttoaineita saadaan esimerkiksi metsäteollisuuden sivutuotteista ja tuotantoon kelpaamattomasta energiapuusta. (Knuutila 2003, 18-19.)

Puun biomassassa syntyy kasvien yhteyttämisprosessissa. Lehdet valmistavat hiilidioksidista, vedestä ja auringon energiasta sokereita. Kasvin solut muokkaavat niistä edelleen monimutkaisempia yhdisteitä, jotka koostuvat hiilestä, hapestasta ja vedystä. Yhteyttäminen siis poistaa ilmakehästä hiilidioksidia ja sitoo sen biomassaan. (Alakangas ym. 2016, 54).

Yhteyttämisestä takia puu voidaan lukea lähes hiilineutraaliksi polttoaineeksi. Puussa oleva hiili on yhteyttämisessä otettu ilmassa olevasta hiilidioksidista ja se palaa takaisin ilmaan puun lahotessa tai palaessa. Puun käyttö polttoaineena voidaan katsoa lisäävän päästöjä vain sen keruusta, käsittelystä ja kuljetuksesta aiheutuvien päästöjen verran. (Knuutila 2003, 24-26).

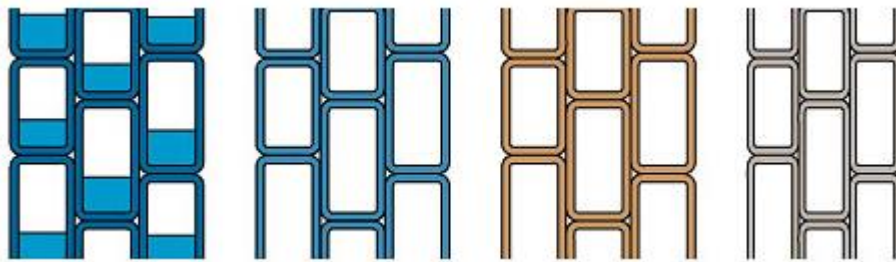


KUVA 10. Puun koostumus (Alakangas ym. 2016, 55)

Puuta käytetään polttoaineena monessa muodossa. Se voi olla esimerkiksi haketta, sahanpurua, brikettejä tai pellettejä. Sen koostumus vaihtelee suuresti käytettävän muodon mukaan (ks. kuva 10). Myös metsähakkuusta jäävät tähteet voidaan hyödyntää polttoaineena. (Knuutila 2003; 18-19, Alakangas ym. 2016, 55).

3.9 Puu ja kosteus

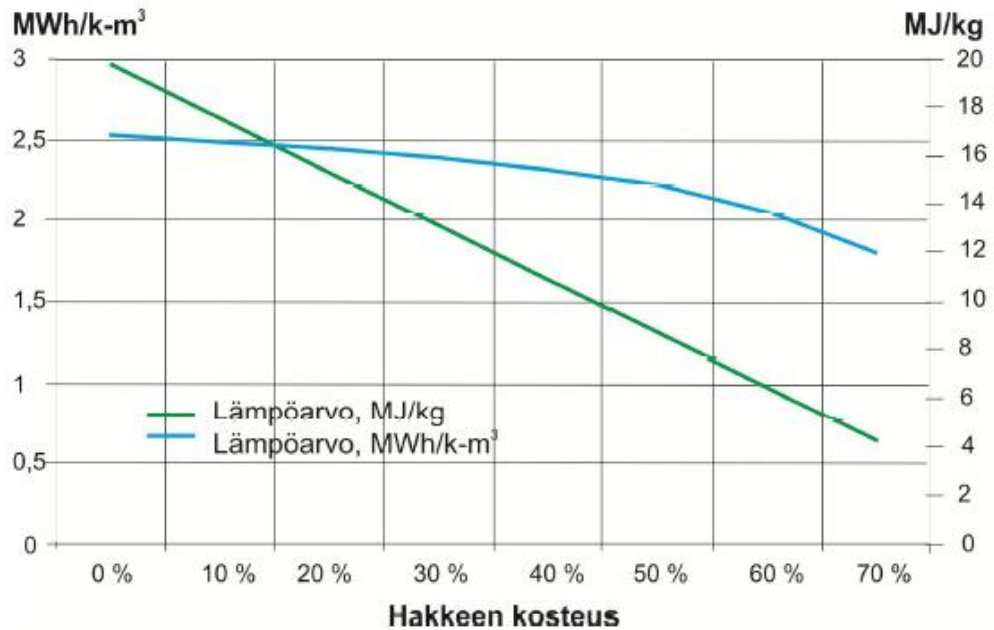
Puussa kosteus voi olla varastoituneena puun soluihin ja niiden väleihin. Kuivan puun imiessä kosteutta, se varastoituu ensin puun soluseinämiin. Samalla puu turpoaa veden vaikutuksesta. Kun vettä ei enää mahdu soluseinämiin on saavutettu niin sanottu kyllästymispiste. Kyllästymispisteen yli menevä kosteus alkaa varastoitua puun soluväleihin, eikä se enää muuta puun ulkomittoja. Huoneen lämmössä kyllästymispiste on noin 30 %. Vastaavasti kyllästymispistettä suuremmissa kosteuksissa puusta poistuu ensin soluväleissä oleva vesi. (Alakangas ym. 2016, 61). Kuvassa 11 on nähtävissä puun kosteuskäyttäytymisen periaate. Kyllästymispisteen ylittävä kosteus ei aiheuta puun turpoamista, vaan kertyy puun syihin. Kuvan oikean puoleisin harmaa solukko kuvaa täysin kuivaa puuta.



KUVA 11. Kosteuden poistuminen solukosta (Puuproffa 2012)

Kosteus alentaa merkittävästi puun tehollista lämpöarvoa. Kuviossa 5 näkyvä muutos on kuvattu hakkeelle, mutta se on samanlaista myös tavalliselle puulle. Suurin muutos tapahtuu lämpöarvon suhteessa kokonaismassaan (vihreä kuvaaja), joka on suoraan verrannollinen lisääntyneen kosteuden määrään.

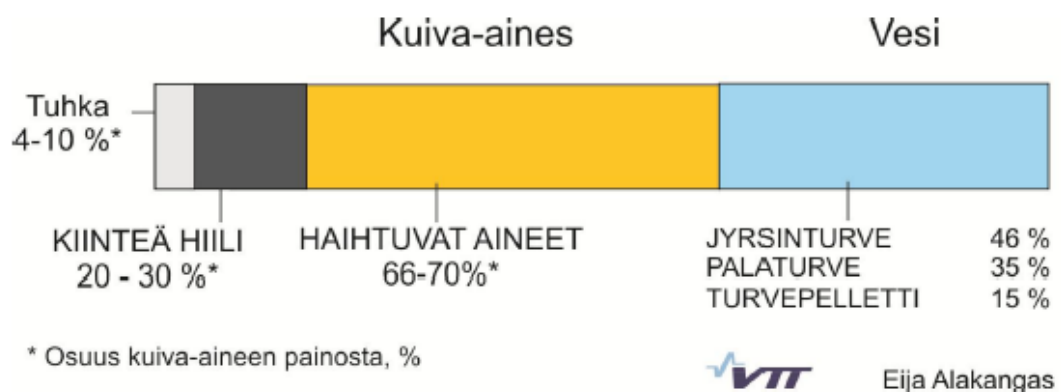
Puun kosteuskäyttäytymisestä johtuen kyllästymispisteen ylittävä kosteus lisääkin vain puun massaa, muttei muuta ulkomittoja. Tämä vaikutus voidaan huomata kuvion 5 sinisen kuvaajan käyttäytymisessä. Työssä on oletettu, että polttoaineet eivät muuta ulkomittojaan kosteuden vaikutuksesta.



KUVIO 5. Kosteuden vaikutus hakkeen teholliseen lämpöarvoon (Alakangas ym. 2016, 71)

3.10 Turve

Turve on muodostunut kasvin osien hapettomasta maatumisesta kosteissa olosuhteissa. Hapettoman maatumisen takia turpeessa esiintyy vaihtelevissa määrin huonosti maatuneita ja maatumattomia kasvinosia. Turpeen tärkeimmät ominaisuudet voidaan ottaa valmiista taulukoista tai määrittää ne laboratorionkokein. (Alakangas ym. 2016, 119). Kuvasta 12 voidaan nähdä eri turvetyyppien keskimääräisiä koostumuksia.



KUVA 12. Turpeen koostumus (Alakangas ym. 2016, 120)

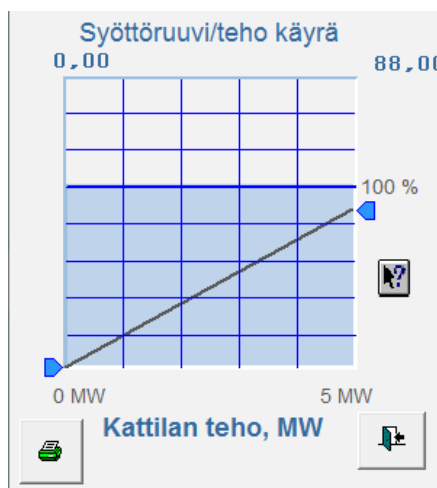
Turvetta käytetään Suomessa pääasiassa kahdessa muodossa, palaturpeena sekä jyrsinturpeena. Molemmat polttoaineet ovat käytännössä samaa polttoainetta, mutta eroavat tyypillisesti tiheydensä ja kosteutensa puolesta toisistaan. (Huhtinen ym 2000, 31-32).

3.11 Laadunvaihtelu ja tehonsäätö

Työn kannalta merkittävimmät polttoaineet ovat puuhake sekä turve. Kumpikaan polttoainetyyppi ei ole tasalaatuista, vaan polttoaineessa ilmenee laadunvaihtelua. Vaihtelua voi olla polttoaineen tiheydessä, lämpöarvossa (kalorimetrinen) tai kosteudessa. Laadunvaihtelut vaikuttavat polttoaineen energiatiheuteen.

Polttoainetta syötetään kattilaan tehontarpeen mukaan. Kattilantehon asetusarvo määräytyy tuorehöyryn paine-eropoikkeamasta, sähkötehon säätöpoikkeamasta tai turbiinin säätöventtiilin asentopoikkeamasta. (Huhtinen ym. 2000, 266.) Jos polttoaineen energiatiheys muuttuu, täytyy tehontarpeen mukaan tapahtuvaa syöttöä säätää, että se vastaa muuttunutta tilannetta.

Työtä varten valittujen esimerkkiprojektien (asiasta lisää kappaleessa 5) polttoaineensyöttö määräytyi ensiöpuhaltimen asennon sekä valvomosta asetetun säätökäyrän mukaan. Energiatiheyden muutoksesta johtuen säätökäyrät eivät enää vastaa todellista tilannetta. Kuviossa 6 näkyy syöttöruuvien säätökäyrä.



KUVIO 6. Saarijärven säätökäyrä

Tarkoituksena on poistaa kosteudesta johtuvan tehollisen lämpöarvon vaihtelun vaikutus ja näin parantaa kattilan polttoprosessin sujuvuutta. Polttoaineensyötön säätökäyrää voi säätää myös manuaalisesti, mutta manuaalinen säätäminen ei ole niin optimaalista, kuin automaattisesti suoritettu säätö. Säätäminen tapahtuu viiveellä vasta silloin, kun lämpötilat ovat jo niin alhaalla, että valvomosta on huomattu ongelma. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on siis säätimen avulla huomioida kosteudesta johtuvat vaihtelut automaattisesti. Näin jäljelle jäisi vain laadunvaihtelusta johtuvat vaihtelut.

4 PROJEKTIN TAVOITTEET

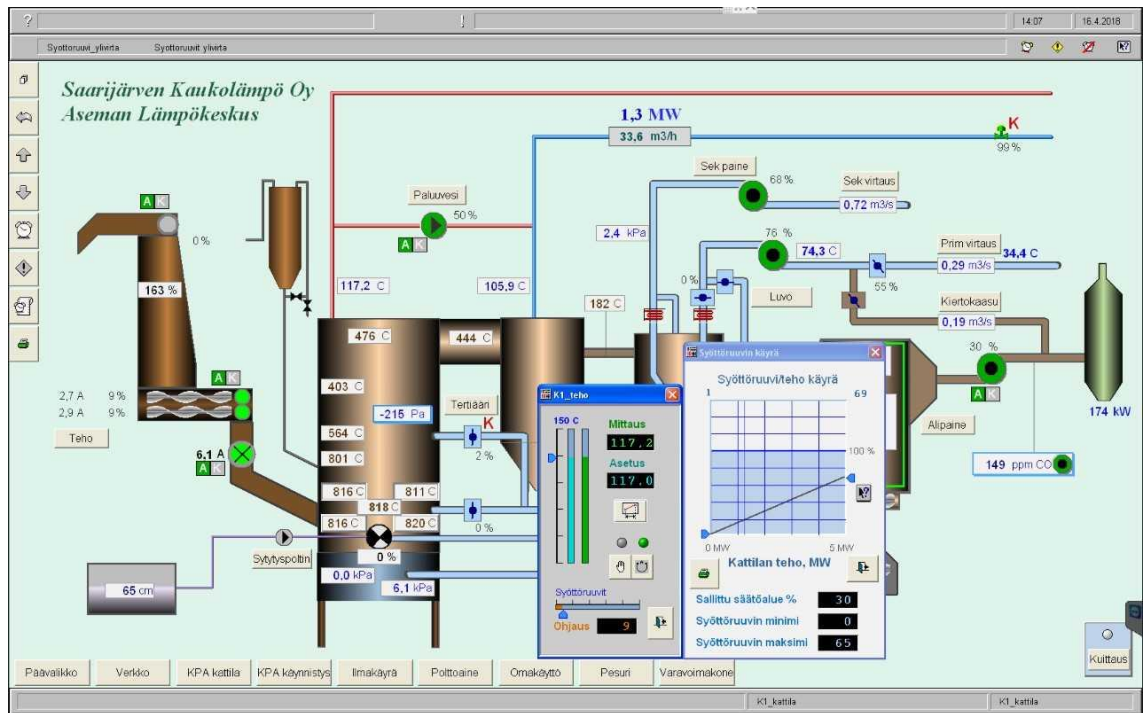
Työn alussa projektille asetettiin tietyt tavoitteet, jotka tulisi täyttää sen aikana. Ensisijaiseksi tavoitteeksi asetettiin säätimen kehittäminen, joka muuttaa syötetyn polttoaineen määrää kattilaan mitatun kosteuspitoisuuden mukaan. Säädin tulisi olemaan yhteensopiva sekä arinakattiloille, että leijukattiloille. Säätimen tulisi toimia erilaisia polttoaineita käytettäessä. Projektin tulisi tuottaa kattilan valvomon tietokoneeseen sopiva käyttöliittymä, josta säätimen asetuksia voisi muuttaa. Asiakkaita varten tulisi tehdä myös ohjeet säätimen käytöstä.

Harva kattila on täysin identtinen muiden kattiloiden kanssa, joten ”universaalinen” säätimen tekeminen tietylle kattilatyypille on todella haastavaa. Tavoitteiden takia järkevintä olisikin valita kaksi esimerkkiprojektia jo valmiista projekteista, joihin säätimen voisi suunnitella.

Kaksi valittua projektia sisältävät arinakattilan sekä leijukattilan, jotta säätimen käyttöönotto samankaltaisissa kattiloissa on mahdollisimman vaivatonta. Pieniä muutoksia joudutaan todennäköisesti tekemään, mutta kun tehdään kaksi erillistä versiota säätimestä, muutosten määrä on mahdollisimman pieni. Seuraavassa osiossa esitellään esimerkkiprojektien perustiedot sekä niiden polttoaineensyötön toiminnan periaate.

4.1 Saarijärven kerrosleijukattila

Ensimmäinen esimerkkiprojekti on Saarijärven 4 MW:n biokattila. Kattila on tyypiltään kerrosleijukattila. Polttoaineensyöttö on toteutettu syöttöruuvien avulla, joita löytyy kaksi kappaletta. Syöttöruuveilta polttoaine menee sulkusyöttimen kautta kattilan palotilaan.

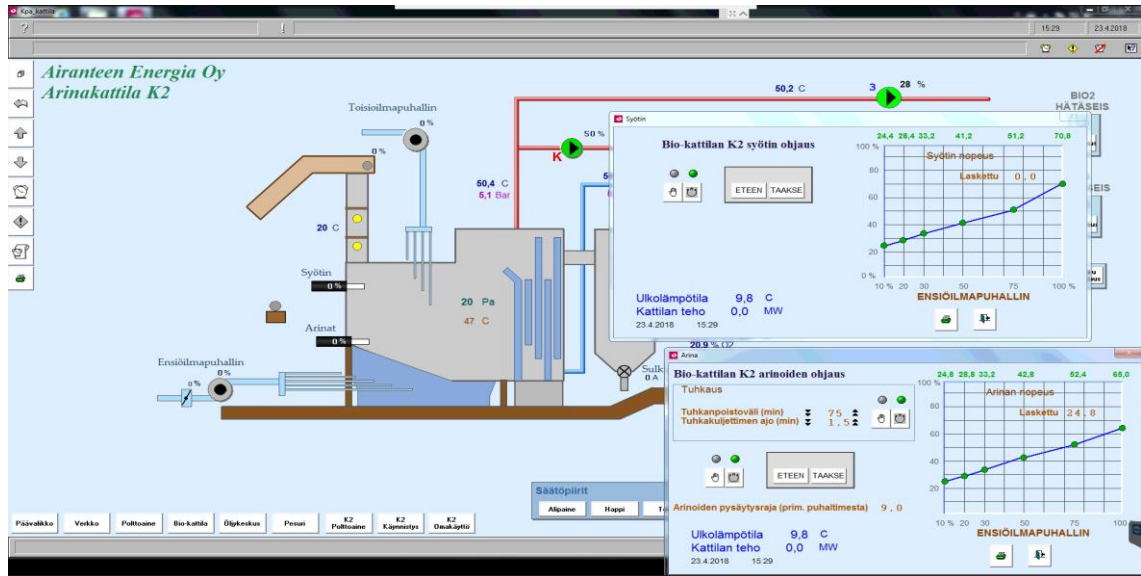


KUVA 13. Saarijärven kattilan käyttöliittymä

Kattilan ollessa automaattijossa ruuvit käyvät jatkuvasti. Kuten aikaisemmin oli esillä, ruuvien nopeus määräytyy kattilan tehontarpeen mukaan säätökäyrän avulla. Säätökäyrän voi nähdä kuvassa 13 ja se määrittelee tehonsäätimelle syöttöruuvin maksimi- ja miniminopeuden. Ensiöpuhaltimen nopeus ohjautuu syöttöruuvin nopeuden mukaan. Näin polttoaine saa oikean määrän happea.

4.2 Urjalan arinakattila

Urjalan esimerkkiprojektiin kuuluu 1,5 MW arinakattila. Kuvasta 14 voi nähdä Urjalan kattilan käyttöliittymän. Lämpölaitoksen polttoaineensyöttö tapahtuu syöttimen avulla, joka tekee jatkuvasti edestakaista liikettä siirtäen polttoainetta kattilan palotilaan. Polttoaineensyötön tehtävänä on varmistaa, että syöttimellä on jatkuvasti polttoainetta.



KUVA 14. Urjalan arinakattilan käyttöliittymä

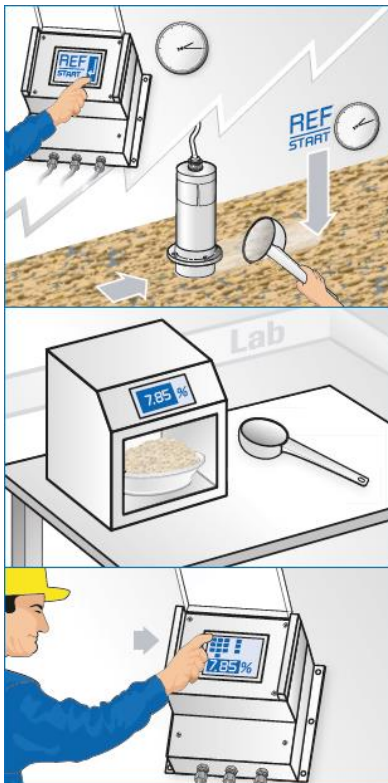
Polttoaineen lisäys tapahtuu täyttämällä polttoainesiilon sulkupeltien väliä. Lisäys käynnistyy polttoaineen pinnan laskettua riittävän alas. Lisäyksen alussa alempi syöttöluukku suljetaan ja ylempi luukku avataan. Kolakuljetin lähtee tämän jälkeen käyntiin ja täyttää peltien välin polttoaineella. Kun väli on täynnä, kolakuljetin pysäytetään ja ylempi syöttöluukku sulkeutuu. Lopuksi alempi syöttöluukku avataan ja polttoaine pääsee syöttimelle. Luukut tekevät myös ”kolautuksia”, joiden tehtävänä irroittaa niihin tarttunut polttoaine.

Syöttimeltä polttoaine kulkeutuu arinalle, joiden päällä polttoaine palaa. Syöttimen ja arinan nopeus määräytyy ensiöpuhaltimen nopeuden mukaan. Kattilan valvomosta asetetaan arinalle ja syöttimelle säätökäyrä, joka määrittää niiden nopeuden suhteessa ensiöpuhaltimen nopeuteen. Arina ja syötin tekevät edestakaista liikettä, joten nopeuden lisääminen on suoraan verrannollinen tehtyjen liikkeiden määrään.

5 KOSTEUSMITTAUSTAPA

Kosteusmittaukseen voidaan käyttää hyvin erilaisia menetelmiä. Kosteusanturit voivat esimerkiksi perustua optiseen havainnointiin tai säteilyn vaimenemiseen. Jokaisella tekniikalla on hyvät ja huonot puolet. (Järvinen 2013, 19). Mittaustapa voidaan lyödä lukkoon vasta käyttökohteen ollessa selvillä. Esimerkiksi seuraavaksi käsiteltävä kapasitiivinen kosteusanturi toimii parhaiten 0-30 p- % kosteusalueella. (Kouvo.fi 2014.) Valmistaja ilmoittaa sen kuitenkin havaitsevan 0 – 65 p- % kosteuksia, joten anturin valinnassa tulee käyttää harkintaa. Seuraavaksi tutustutaan tarkemmin kapasitiiviseen kosteusanturiin, joka on käytössä useassa kiinteän polttoaineen kattilassa.

Kosteusmittaus voidaan toteuttaa siis esimerkiksi kapasitiivisella kosteusanturilla. Yksi tarjouksissa esiin tullut anturi havaitsee valmistajan mukaan 0 - 65 –p- %:n suhteellisen kosteuden kiinteistä polttoaineista. Se on tarkoitus asentaa siten, että se on kosketuksissa polttoaineen kanssa. Anturin toiminta perustuu dielektrisyiden havaitsemiseen ja se lähettää logiikalle 4-20 mA analogisen signaalin. (SWR 2017). Logiikalla signaali muutetaan mittaustulokseksi skaalaamalla.



KUVA 15. anturin kalibrointi (SWR 2017)

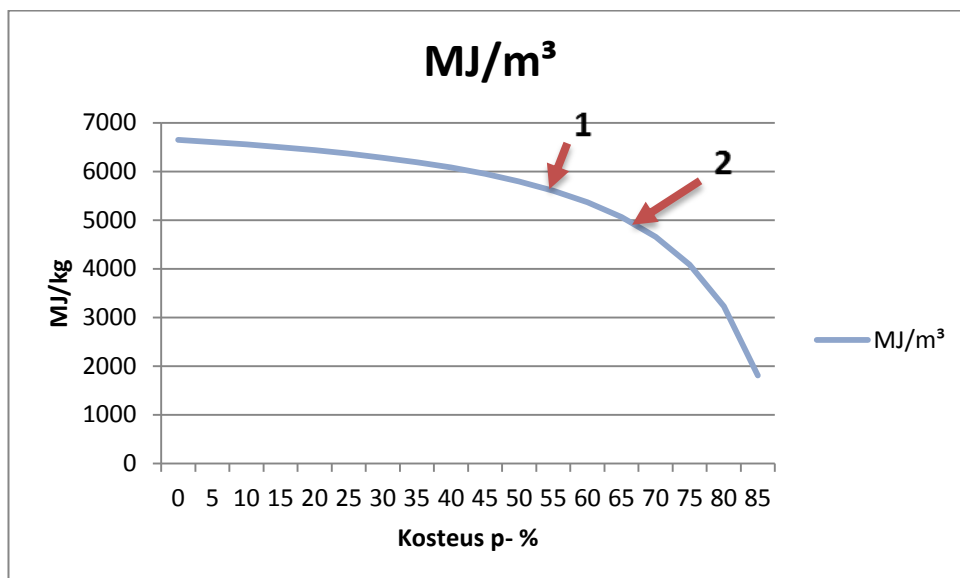
Anturi kalibroidaan ottamalla polttoaineesta vähintään minuutin mittainen näyte. Kalibrointiin käytetty polttoaine viedään punnituksen kautta kuivatusuuniin, jossa polttoaine kuivuu. Vertaamalla kuivan polttoaineen massaa märkämassaan saadaan selville polttoaineen suhteellinen kosteus, joka syötetään laitteelle. Polttoaineseoksien kalibrointi voi aiheuttaa haasteita, koska polttoaineiden tulisi olla mahdollisimman hyvin sekaisin ja ylimääräisiä ilmataskuja olisi hyvä välttää kalibroinnin onnistumisen varmistamiseksi. (SWR 2017).

6 SÄÄTIMEN TOIMINTA

Säätimen rakenne jakaantuu karkeasti kahteen osaan: kertoimen laskentaan ja sen avulla tehtäviin säätöihin. Esimerkkiprojektien polttoaineensyöttöprosessien eroavaisuudesta johtuen molemmille tuli suunnitella kosteusmittaustapa erikseen. Ensimmäisenä käydään läpi kertoimen laskennan perusperiaate, sitten kumpaankin projektiin suunniteltu kosteusmittauksen toteutus ja lopuksi säätö saadun kertoimen avulla.

6.1 Kertoimen laskenta

Kertoimen laskenta perustuu käyttöliittymän kautta syötettävien tietojen sekä mittauksesta laskettujen energiatiheyksien vertailuun. Polttoaineelle ilmoitetun normaalin kosteuspitoisuuden avulla lasketaan polttoaineelle energiatiheys, johon mittaustuloksesta laskettavaa energiatihelyttä verrataan.



KUVIO 7. Polttoaineen lämpöarvon muutos suhteessa kosteuteen.

Kuviosta 7 voidaan havaita, että kosteuden ollessa 0-30 p-%, polttoaineen energiatiheys laskee melko maltillisesti, jonka jälkeen se lähtee aina vain jyrkempään laskuun. Kertoimen laskennan ideana on, että käyttäjä ilmoittaa polttoaineelle niin sanotun normaalin kosteuspitoisuuden (nuoli 1), jonka lämpöarvoa verrataan mittaustuloksesta saadun kosteuspitoisuuden lämpöarvoon (nuoli 2). Jakamalla alkuperäisen lämpöarvon juuri saadulla lämpöarvolla saadaan kerroin, joka ilmaisee polttoaineensyötön

muutostarpeen suhteessa aiempaan, jotta polttoaineesta saatava lämpöarvo pysyisi samana. Alla laskentaesimerkki kaavaa 4 käyttäen. Polttoaineen tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa on esimerkissä 19 MJ / kg ja ”normaaliksi” kosteudeksi on ilmoitettu 40 %.

$$q_{p,net,ar} = 19 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot \left(\frac{100 - 40}{100} \right) - 0,02443 \cdot 40 = 10,43 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$$

Kun lämpöarvo on selvillä, voidaan kaavan 6 avulla laskea polttoaineen energiatiheys. Ohjelma laskee lähtöarvoista ja kosteudesta polttoaineen tiheyden saapumistilassa. Saatua tulosta vertaillaan mittauksen avulla saatavaan energiatiheyteen.

$$E_{ar} = 10,43 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 583 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 6080 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$$

Kun ohjelma saa kosteusmittauksesta arvoksi 45 p- %, se suorittaa samat laskut kuin aikaisemmin käyttäen mittauksesta saatua kosteusarvoa. Alla laskutoimitukset kaavaa 4 käyttäen.

$$q_{p,net,ar} = 19 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot \left(\frac{100 - 45}{100} \right) - 0,02443 \cdot 45 = 9,35 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$$

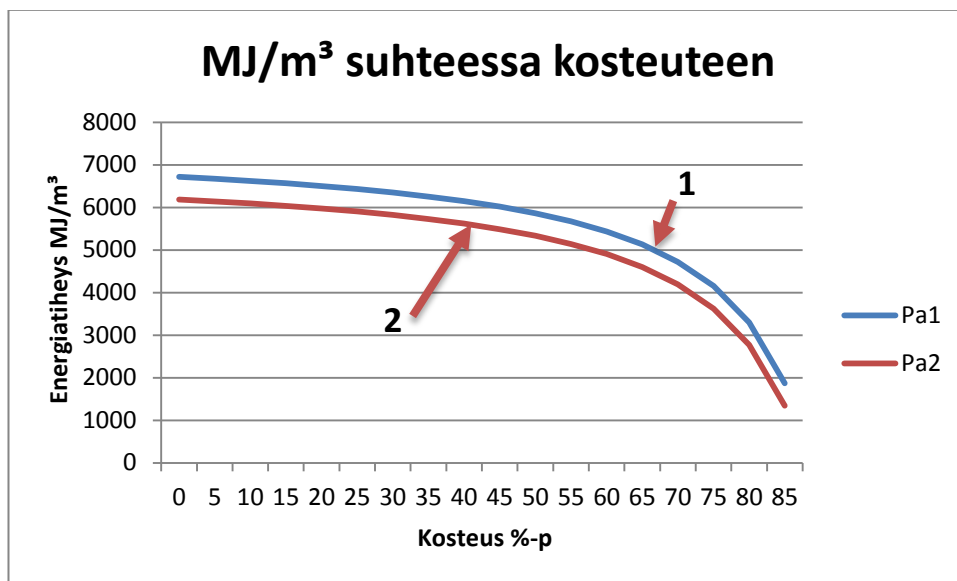
Lämpöarvoissa on selkeä ero, mutta kosteuden määrän kasvaminen nostaa polttoaineen tiheyttä, joka pehmentää vaikutusta hieman. Kaavaa 6 käyttämällä saatu energiatiheys on käytössä olevan polttoaineen energiatiheys.

$$E_{ar} = 9,35 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 636 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 5947 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$$

Kun molemmat arvot on laskettu, suoritetaan jakolasku, jossa mittauksesta saatu energiatiheys jaetaan lähtöarvoista saadulla energiatiheydellä. Näin saadaan suoraan kerroin, joka ilmaisee, paljonko polttoainetta täytyy syöttää lisää, että siitä saatu lämpöteho pysyy vakiona.

$$\text{Kerroin} = \frac{6080 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}}{5947 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}} = 1,0219$$

Esimerkkitapauksessa polttoainetta täytyy siis syöttää noin 2,2 % enemmän, jotta kosteuden muutos saadaan kompensoitua. ”Normaali” kosteudella tarkoitetaan polttoaineen kosteutta, jossa säätökäyrät on asetettu. Näin säätökäyrät mukautuvat muuttuneeseen tilanteeseen.



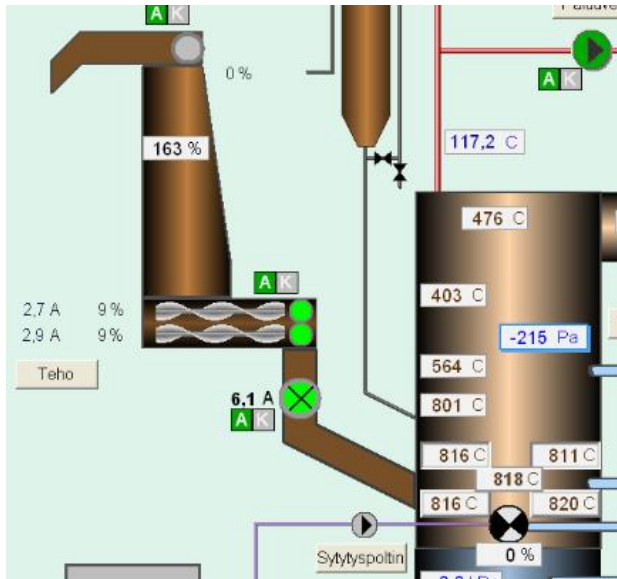
KUVIO 8. Kahden eri polttoaineen vertailu

Kertoimen laskennassa vertausta voidaan tehdä myös kahden eri polttoaineen välillä. Kuvioista 8 selviää vertailun peruseriaate. Käyttöliittymässä on oma kenttä toisen polttoaineen tietojen syöttöä varten. Peruseriaate kertoimen laskennassa pysyy silti ennallaan. Toiminto mahdollistaa käytettävän polttoaineen muuttamisen jouheasti. Jos kattilaan on piakkoin alkamassa tulla toista polttoainetta, ei säätökäyriä tarvitse mennä muuttamaan, vaan polttoaineen muuttuminen voidaan huomioida kertoimen avulla.

Ohjelmaan kuuluu myös kertoimen suuruuden säätö, jonka avulla voidaan muuttaa sen erotusta ykkösestä. Esimerkiksi, jos kerroin on 1,05 ja käyttäjä asettaa kertoimen vaikutuksen kaksinkertaiseksi, kerroin kasvaa 1,1:een. Asiasta lisää kappaleessa 6.3.

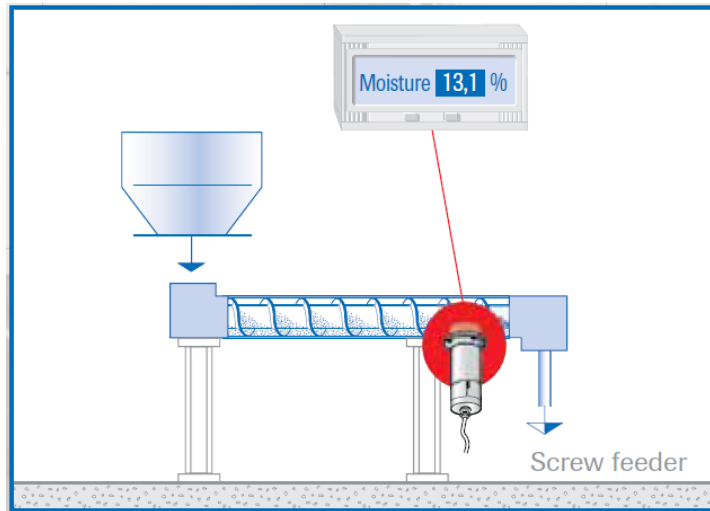
6.1.1 Saarijärvi

Saarijärven leijukattilan polttoaineensyöttö on jatkuvasti käynnissä. Tämä helpottaa polttoaineen kosteuden mittausta, koska mittauksia voidaan ottaa tasaisin väliajoin. Syöttöruuvin käyntitieto on ainoa vaatimus mittauksen ottamiselle. Kuvassa 16 näkyy käyttöliittymästä otettu suurennos laitoksen polttoaineensyötöstä.



KUVA 16. Saarijärven polttoaineensyöttö

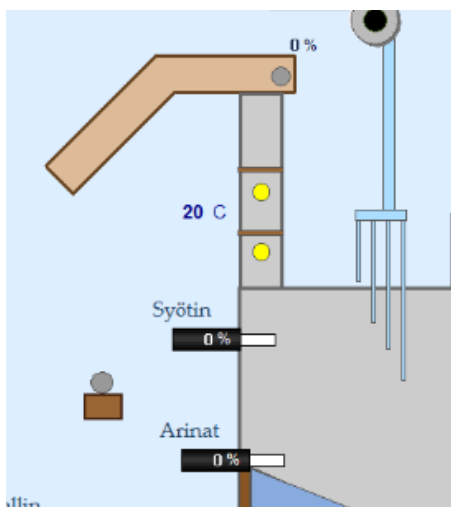
Anturi tulisi asentaa syöttöruuvien kylkeen kiinni siten, että se on kosketuksissa polttoaineen kanssa. Kuva 17 näyttää esimerkin anturin sijoittamispaikasta. Mittaustiedoista muodostetaan keskiarvolaskennan avulla käyttäjälle näkyvä kosteushistoria, josta näkee kätevästi aina seitsemän vuorokauden takaisia kosteustietoja. Aikana käytetään syöttöruuvien ajoaika.



KUVA 17. Anturin asennus syöttöruuviin (SWR 2017)

6.1.2 Urjala

Urjalan arinakattilan polttoaineensyöttö tapahtuu syöttimen avulla, joka tekee edes takaista liikettä työntäen polttoainetta arinalle. Polttoaineenlisäys alkaa polttoaineen pinnan laskiessa tarpeeksi syöttimen lähellä. Kosteusmittaus on toteutettu keskiarvolaskennan avulla. Anturi tulisi sijoittaa polttoainekuljettimen päähän. Polttoaineenlisäyksen ollessa käynnissä ohjelma ottaa sekunnin välein mittauksen, joka tallennetaan ohjelman muistiin. Lisäyksen päättyessä ohjelma ottaa mittauksista keskiarvon ja kirjaa sen muistiin. Kuvassa 18 näkyy Urjalan polttoaineensiilo käyttöliittymässä.



KUVA 18. Urjalan polttoainesiilo käyttöliittymässä

Ohjelmaan on tehty erillinen sisääntulo juuri mitatun kosteuspitoisuuden kirjausta varten. Näin voidaan halutessa varmistaa, että uusi kosteusarvo kirjataan vasta, kun juuri lisätty polttoaine siirtyy arinalle. Kirjauksen ajankohta voidaan määrittää esimerkiksi syöttimen liikkeiden laskurilla.

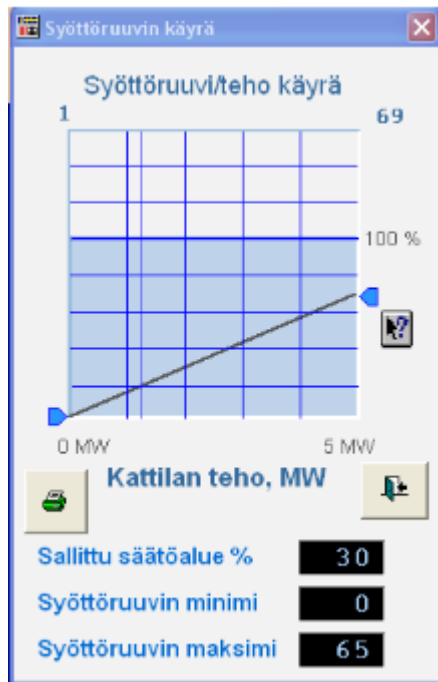
Saarijärven ohjelman tapaan polttoaineenlisäyksistä otetaan keskiarvolaskennalla talteen kosteushistoria, joka kattaa tuhannen viime lisäyksen kosteusarvot. Käyttäjän on näin helppo tarkastella, kuinka kosteaa polttoainetta kattilaan on mennyt.

6.2 Säätö kertoimen avulla

Kerroin ilmaisee siis, paljonko polttoaineen syöttöä täytyy suhteessa muuttaa, jotta kattilan lämmöntuotto pysyy vakiona. Kattilasta ja tyypistä riippuen, kerrointa voidaan suoraan soveltaa polttoaineensyötön säätöön tai sen avulla saadaan tarvittavat tiedot, jotta polttoaineensyöttöön vaikuttaviin tekijöihin voidaan vaikuttaa muuttaen näin polttoaineensyötön nopeutta halutuksi.

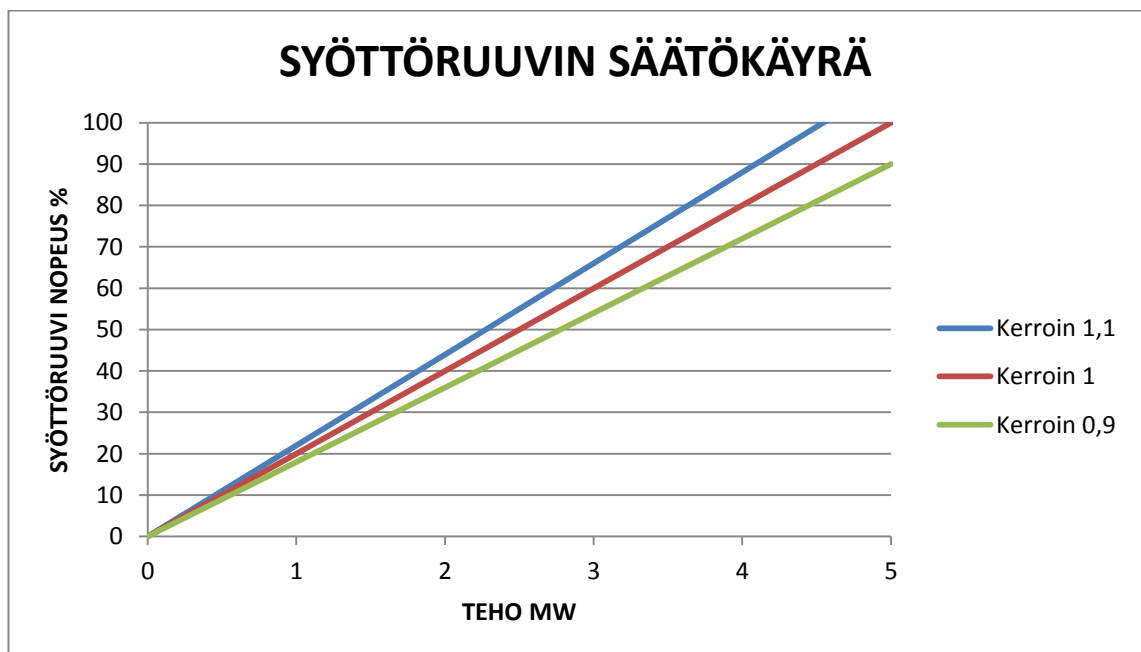
6.2.1 Saarijärven säätökäyrän muuttaminen

Kuten aikaisemmin asiaa käsitellessä tuli ilmi, Saarijärven syöttöruuvien nopeus määräytyy tehontarpeen sekä säätökäyrän mukaan (ks. kuvio 9). Säätökäyrästä annetaan kuviossa 9 näkyvän säätöalueen avulla tehonsäätimelle minimi- ja maksimi-arvot, joiden väliin syöttöruuvien nopeus on asetettava.



KUVIO 9. Syöttöruuvin säätökäyrä

Kun kertoimesta saadaan tieto, että polttoaineensyöttöä täytyisi lisätä esimerkiksi 10 %, on käyrää helppo muuttaa kertomalla koko käyrä saadulla kertoimella. Tämä muuttaa käyrän jokaista kohtaa suhteessa saman verran ylös tai alas. Kuviossa 10 on esitetty Excelillä tehty säätökäyrä havainnollistamiseksi. Käyrä näyttää 10 % muutoksen vaikutuksen.



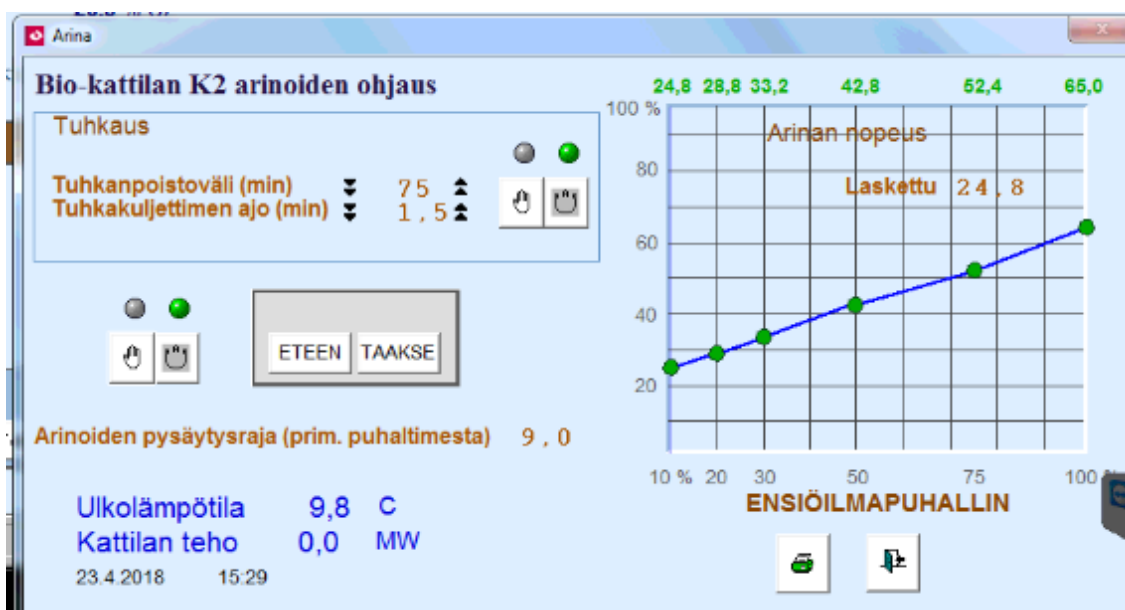
KUVIO 10. Kertoimien vaikutus säätökäyrään.

Käyrän kertominen kertoimella siirtää syöttöruuvin pyörimisnopeuden lähemmäs sitä pistettä, jota muuttunut tilanne vaatii. Polttoaineessa esiintyy silti laadunvaihtelua, jonka varalle täytyy säätövaraan jättää haarukka, mutta kosteuden huomioonotto auttaa pienentämään säätövara. Säätövaran pienentäminen vähentää prosessin muutoksista johtuvaa heilumista, joka näkyy vakaampana polttoprosessina.

Ensiöpuhallin seuraa syöttöruuvin nopeutta, joten polttoaine saa tarvittavan määrän happea, vaikka sen syötön määrää muutetaan. Näin ollen polttoaineen syötön muuttaminen vastaavissa tapauksissa on melko yksinkertaista. Lisätietoja Saarijärven ohjelman toiminnasta löytyy liitteestä 1.

6.2.2 Urjalan arinan ja syöttimen nopeuden muuttaminen

Urjalan arinakattilassa syöttimen ja arinan nopeus määräyty kuusipiste-käyrällä, joka asetetaan ensiöpuhaltimen nopeuden mukaan. Jos syöttimen nopeutta muutettaisiin pelkästään kertoimen avulla, polttoaine saisi väärän määrän palamisilmaa. Näin ollen piti löytää keino muuttaa ensiöpuhaltimen nopeutta niin, että syöttimen nopeus saataisiin halutuksi. Säädössä pitää siis edetä juuri toisin päin, kuin Saarijärven säädössä.



KUVA 19. Urjalan syöttimen säätökäyrä

Kuvassa 19 näkyy syöttimen säätökäyrä. Syöttimen nopeus seuraa asetettavan käyrän mukaisesti ensiöpuhallinta, joka saa nopeutensa tehonsäätimeltä. Tehonsäädin lisää tai vähentää ensiöpuhaltimen nopeutta lähtevän veden mitatun ja asetetun lämpötilan mukaan.

Jos Urjalan säätimellä olisi jonkinlainen säätökäyrä ensiöpuhalltimelle, voitaisiin siihen tehdä tarvittavat muutokset. Nopeus määräytyy kuitenkin lämpötilojen erosta, joten vaihtoehtoiksi jää muuttaa lämpötilan pyyntiä ja saada säädin muuttamaan ensiöpuhaltimen nopeutta tai muuttaa puhaltimen nopeus käsiajon avulla. Valinta osuu yksinkertaisuuden vuoksi jälkimmäiseen.

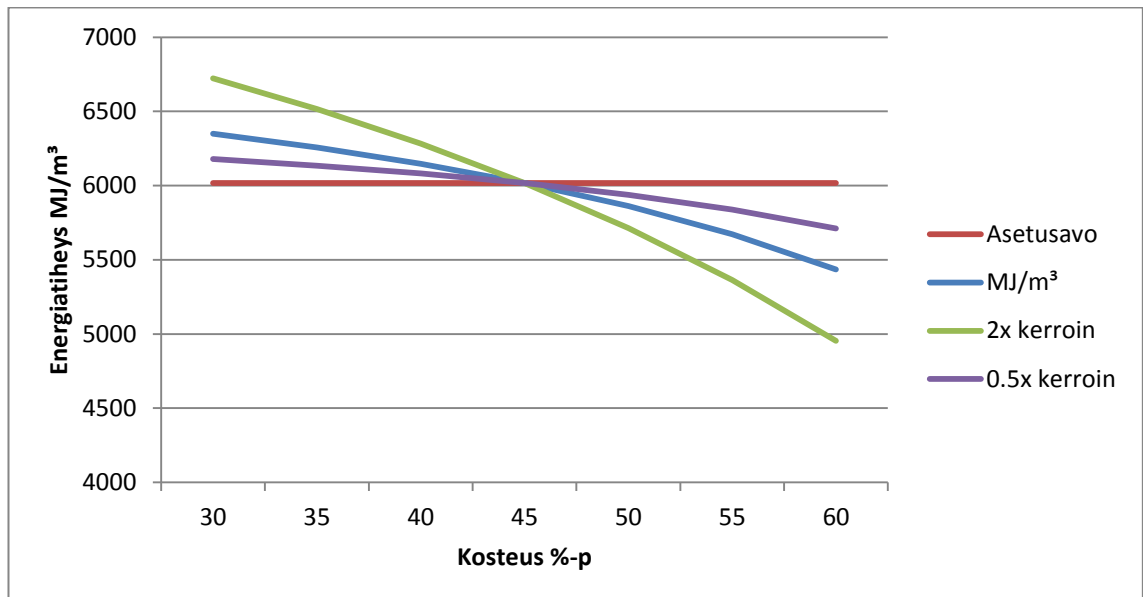
Säätökäyrän avulla saadaan laskettua ensiöpuhalltimelle tarvittava nopeus, jotta syöttimen ja arinan nopeudet muuttuvat halutun verran. Tämän jälkeen säädin käytetään käsiajolla, jonka aikana ensiöpuhaltimen nopeus muutetaan halutuksi. Kun puhallin on saavuttanut halutun nopeuden, säädin palautetaan automaattiajolle, jotta se voi taas ohjata prosessia lähtevän lämpötilan mukaan.

Käyttöliittymästä voidaan asettaa myös syöttimen nopeuden minimimuutos, jota pienemmät muutokset eivät aiheuta puhaltimen nopeuden muuttamista. Näin varmistetaan, että säädin pysyy automaattiajolla mahdollisimman paljon ja vasta merkittävän muutoksen tarpeen vuoksi säädin käytetään hetkeksi käsiajolla. Käsiajolla käyttö kirjoittaa säätimelle puhaltimen tämän hetkisen nopeuden, joten se alkaa tekemään säätöjä uudesta asetuspisteestä. Lisätietoja Urjalan ohjelman toiminnasta löytyy liitteestä 2.

6.3 Kosteuden vaikutuksen määrä

Polttoaineiden tietojen syötön ollessa enemmän tai vähemmän arvioon perustuva, on säätimeen syytä sisällyttää mahdollisuus muuttaa sen aiheuttaman muutoksen suuruutta. Energiatiheyttä käsitelleessä osuudessa kävi ilmi (ks. kuvio 4), että energiatiheyskäyrän jyrkkyys riippuu polttoaineen alkuperäisestä lämpöarvosta.

Säädin laskee energiatiheyksien suhteita, joten on tärkeää että lämpöarvokäyrän jyrkkyys vastaa todellista tilannetta. Muussa tapauksessa saaduissa kertoimissa on todelliseen tilanteeseen nähden virhettä. Jos esimerkiksi alkuperäinen lämpöarvo on ilmoitettu liian pieneksi, alkaa käyrä jyrkentyä alhaisemmissa kosteuksissa ja tästä seuraa kertoimen liiallinen muuttuminen kosteuden vaikutuksesta. Tätä kompensoimaan on tehty mahdollisuus muuttaa kosteuden vaikutusta kertoimeen. Säättö yksinkertaisesti muuttaa kosteuden avulla laskettavan kertoimen muutosherkkyyttä. Kertoimen suuruuden muuttaminen vaikuttaa kuitenkin samaan tapaan, kuin lämpöarvokäyrän jyrkkyuden muuttaminen. Näin saadaan kompensoitua lähtötietojen pienet heitot. Kuvio 11 selvennykseksi.



KUVIO 11. Käyrän jyrkkyuden muuttaminen

Kuviossa 11 näkyvä punainen vaakasuora viiva on asetusarvo, johon mitattua arvoa verrataan. Muut viivat ovat kerrointa vastaavan muutoksen aiheuttamia energiatiheyden käyriä. Kertoimen muutosherkkyyden muutos vaikuttaa samalla tapaa, kuin lämpöarvon hienosäätäminen.

7 TESTAUS JA OHJEET

Työn loppuvaiheilla siirryttiin ohjelman testaukseen sekä ohjeiden laatimiseen. Ohjelmaan tehtiin muutamia muutoksia vielä testausvaiheessa. Ohjeet ja toimintakuvaus laadittiin testauksen valmistuttua.

7.1 Testaus

Työn tuloksena valmistuneet ohjelmat voitiin testata vain oman toimintansa osalta. Työtä ei vielä valmistumisvaiheessa myyty asiakkaille, joten käytännön tulokset saadaan vasta mahdollisen asiakkaan löydyttyä. Testauksesta saadut tulokset vaikuttavat kuitenkin lupaavilta. Syötettyjen arvojen perusteella toimiva laskenta toimii moitteitta ja ohjelmasta ei muutamien vikojen korjailun jälkeen löytynyt virheitä.

Testauksessa käytettiin Siemensin S300 –logiikkaa, johon otettiin yhteys ethernetin avulla. Näin voitiin testata myös käyttöliittymän toiminta. Analoginen mittaus todettiin toimivaksi, jonka jälkeen mittaus korvattiin tietokoneelta syötettävällä arvolla testauksen nopeuttamiseksi. Datan keruu testattiin muuttamalla ohjelman suoritusihteys satakertaiseksi ajan säästämiseksi. Testauksen jälkeen siirryttiin ohjeiden ja toimintakuvauksien tekoon.

7.2 Ohjeet

Ohjelmasta tuli lopuksi laatia käyttöohjeet. Ohjeissa selitetään aluksi ohjelman peruseriaate ja käydään sen jälkeen läpi ohjelman kaikki ominaisuudet. Käyttöohjeissa oleellisinta oli ohjelman käytön selittäminen yksinkertaisesti tekstin sekä kuvien avulla. Ohjeita tuli loppujen lopuksi kaksi kappaletta. Niiden sisältö on lähes samanlainen, mutta projektien eroavaisuuksien takia yhden ohjeen tekeminen olisi ollut vaikeaa. Ohjeet löytyvät liitteistä (liitteet 1 ja 2).

8 YHTEENVETO JA POHDINTA

Työssä saatiin suunniteltua ohjelmat, jotka täyttävät niille projektin alussa asetetut tavoitteet. Tavoite erilaisten polttoaineiden soveltumisesta täyttyi kokonaisuudessaan. Pyrkimys saada monille eri kattiloille toimiva säädin onnistui melko hyvin. Polttoaineen kosteudesta saadaan laskettua kerroin niin arinakattiloilla kuin leijukattiloilla. Kertoimen avulla tehtävät säädöt ovat kuitenkin niin tapauskohtaisia, että työssä esitellyt ratkaisut eivät todennäköisesti toimi suoraan toisilla kattiloilla. Tämä oli kuitenkin tiedossa jo aikaisessa vaiheessa.

Haasteita ohjelman suunnittelun kannalta tuli energiatiheyksien laskentatavan valinnassa. Kuivamassaan perustuva laskenta olisi ollut paljon yksinkertaisempi ratkaisu, mutta se olisi aiheuttanut ohjelman käyttäjälle ongelmia lähtötietoja syöttäessä. Polttoaineesta olisi täytynyt tietää lämpöarvo ja tiheys kuiva-aineessa. Nyt käytössä olevalla laskutavalla polttoaineesta tulee tietää lähtötiedot missä tahansa kosteudessa.

Työn tuloksena syntyi kaksi ohjelmaa, jotka laskevat lähtötietojen ja mittauksen avulla polttoaineen syötölle kertoimen. Toinen ohjelmista toimii jatkuvan polttoaineensyötön kanssa ja toinen tarpeen mukaan tapahtuvan polttoaineen lisäyksen kanssa. Lisäksi ohjelmalle tehtiin käyttöliittymä ja käyttöohjeet. Saadun kertoimen avulla muidenkin kattiloiden polttoaineensyötön säätö on helposti toteutettavissa.

Yksi jatkokehityskohde voisi olla tiheysmittauksen yhdistäminen jo suunniteltuun säätimeen. Näin kattilaan menevästä polttoaineesta saataisiin tarkka energiatiheys ja massavirta, joiden avulla voitaisiin tehdä vielä tarkempia säätöjä polttoprosessiin. Lisäksi työssä selvitettyjä tietoja voidaan käyttää yrityksen tulevissa projekteissa hyväksi.

LÄHTEET

Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Luettu 20.2.2018.
<https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T258.pdf>

Bioenergianeuvoja. 2018. Muuntokertoimet. Luettu 15.4.2018.
<http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/polttopuu/puu/>

Huhtinen, Kettunen, Nurminen ja Pakkanen 2000. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Oy Edita Ab.

Intermed. 2018. Kalometrin huolto. Luettu 20.4.2018.
<https://www.intermed.fi/huoltotoimintamme/laboratoriolaitehuolto/kalorimetrin-huolto/>

Järvinen, T. 2013. Nopea ja tarkka biopolttoaineiden kosteuden määrittäminen käyttäen magneettisen resonanssin mittaukseen perustuvaa laitetta. Luettu 1.4.2018.
<https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2013/T90.pdf>

Knuuttila, K. 2003. Puuenergia. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.

Kouvo automation. 2014. Prosessiaineen kosteusmittaus. Luettu 8.3.2018.
<https://www.kouvo.fi/tuotteet/prosessiaineen-kosteusmittaus>

Puuproffa. 2012. Puun rakenne. Luettu 22.3.2018.
http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/fi/puun-rakenne

Raiko, Kurki-Suonio, Saastamoinen & Hupa 1995. Poltto ja palaminen. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.

SWR. 2017. M-Sens 2 –anturin pdf-esite. Luettu 8.3.2018.
https://www.kouvo.fi/sites/default/files/M-Sens_2-PI-EN-2013-01-03.pdf

Virtanen, M. 2017. Kaukolämpö 2016. Luettu 3.3.2018.
<http://slideplayer.fi/slide/11963587/>

LIITTEET

1 (12)

Liite 1 Saarijärven (FB62) ohjelman käyttöohje.

KÄYTTÖOHJEET SAARIJÄRVI

jatkuu

SISÄLLYS

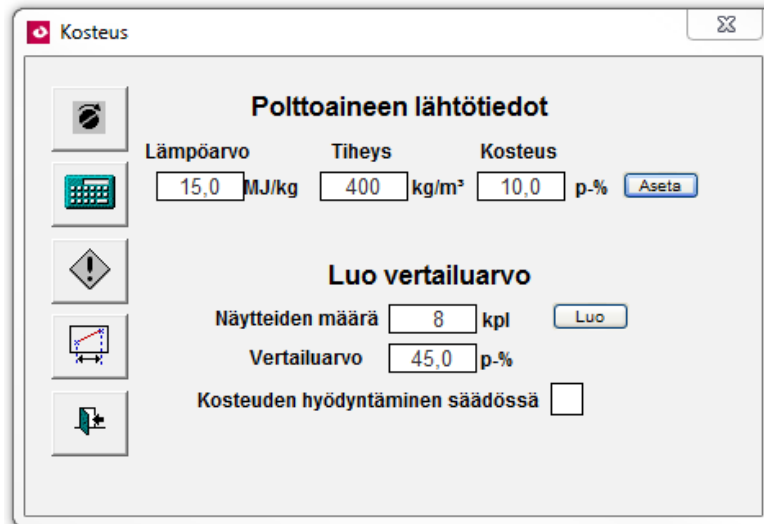
2 (12)

1	Yleistä.....	3
1.1	Perusperiaate	4
2	Säätimen käyttäminen	5
2.1	Polttoaineen tiedot.....	5
2.2	Kosteuden vertailuarvo.....	6
2.3	Säätimen asettaminen päälle	7
2.4	Seoslaskurin käyttäminen.....	7
2.5	Kosteusdata ja hälytykset	8
2.6	Vikalista.....	10
2.7	Lisäasetukset	11

1 Yleistä

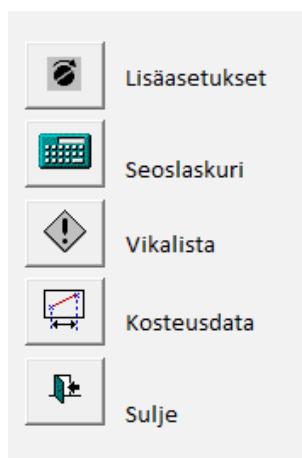
3 (12)

Ohjelman tarkoitus on tuottaa saamiensa lähtötietojen sekä mittauksen avulla kerroin, joka ilmaisee, paljonko polttoaineen lämpöarvo on muuttunut kosteuden vaikutuksesta. Säätimen asetukset saadaan esiin painamalla käyttöliittymästä Kosteus –painiketta. Painike avaa kuvan 1 mukaisen näkymän.



KUVA 1. Käyttöliittymän pääikkuna

Pääikkunasta löytyy polttoaineen tietojen sekä kosteuden vertailuarvon syöttökentät. Säädin asetetaan päälle pääikkunasta. Ikkunan vasemmassa laidassa on viisi painiketta. Painikkeiden toiminnot on selitetty kuvassa 2.

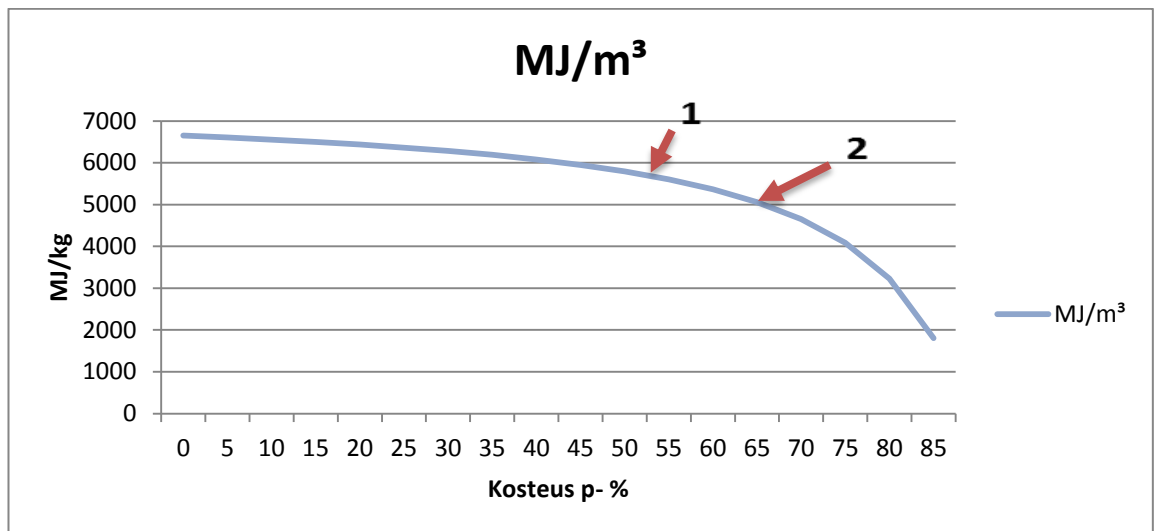


KUVA 2. Painikkeiden selitykset

1.1 Peruseriaate

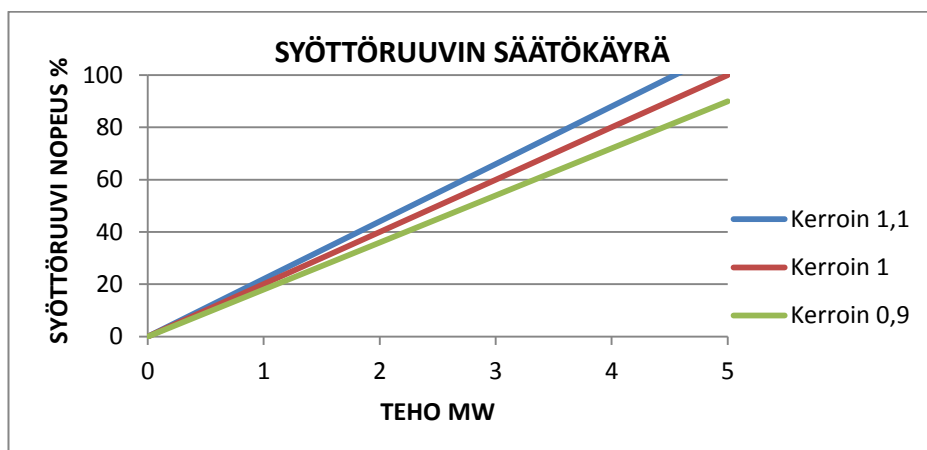
4 (12)

Säätimen toiminta perustuu polttoaineen energiatiheyksien vertailuun. Polttoaineen tietojen perusteella saadaan muodostettua energiatiheyden käyrä. Syöttämällä ohjelmalle ”normaalin” kosteuden saadaan ohjelmalle kiintopiste (nuoli 1), johon mittauksesta saatua energiatiheyttä (nuoli 2) voidaan verrata. Laskemalla energiatiheyksien välinen suhde saadaan selville polttoaineen lisäys- tai vähennystarve.



KUVIO 1. Energiatiheys suhteessa kosteuteen

Saadun kertoimen avulla muutetaan polttoaineen syöttöruuvien nopeutta. Tämä tapahtuu säätökäyrää muuttamalla. Koko säätökäyrä kerrotaan saadulla kertoimella. Näin säätökäyrä siirtyy lähemmäs todellista tilannetta vastaavaa pistettä.



KUVIO 2. Säätökäyrän muuttaminen

2.0 Säätimen käyttäminen

5 (12)

Säätimen käyttäminen on yksinkertaista. Kertoimen saamiseksi ohjelmaan tarvitsee vain syöttää polttoaineen lähtötiedot sekä kosteusarvo, johon mittauksesta saatua kosteuden arvoa verrataan. Seuraavissa kappaleissa käydään seikkaperäisesti läpi säätimen käyttö ja ominaisuudet.

2.1 Polttoaineen tiedot

Pääikkunan avauduttua polttoaineen tiedot voi syöttää kuvassa 3 rajattuihin kenttiin. Ohjelma laskee tietojen pohjalta polttoaineelle kuiva-aineen lämpöarvon sekä tiheyden. Tiedot voivat olla siis missä tahansa kosteudessa. Jos polttoaineesta tiedetään valmiiksi sen kuiva-aineen arvot, kosteuden ikkunaan (oikean puoleisin) kirjoitetaan nolla.

The screenshot shows a software window titled 'Kosteus'. On the left is a vertical toolbar with icons for a calculator, a warning sign, a graph, and a plus sign. The main area is divided into two sections. The top section, 'Polttoaineen lähtötiedot', has a black border and contains three input fields: 'Lämpöarvo' with the value '15,0' and unit 'MJ/kg', 'Tiheys' with '400' and 'kg/m³', and 'Kosteus' with '10,0' and 'p-%'. An 'Aseta' button is to the right. The bottom section, 'Luo vertailuarvo', contains 'Näytteiden määrä' with '8' and 'kpl', and 'Vertailuarvo' with '45,0' and 'p-%'. A 'Luo' button is to the right. At the bottom, there is a checkbox labeled 'Kosteuden hyödyntäminen säädössä' which is currently unchecked.

KUVA 3. Polttoaineen tietojen syöttäminen

Tiedot siirtyvät logiikalle vasta Aseta –painiketta painamalla. Tämä estää tahattomat virheet polttoaineen arvoja syötettäessä. Tiedot eivät saa olla puutteelliset tai tietojen siirto estyy. Esimerkiksi lämpöarvoksi ei voi kirjata nollaa. Tietojen asettamisen jälkeen voidaan siirtyä kosteustietojen syöttämiseen (kappale 2.2).

2.2 Kosteuden vertailuarvo

6 (12)

Pääikkunasta löytyy myös vertailuarvon syöttökenttä. Vertailuarvolla tarkoitetaan kosteuden arvoa, jonka avulla laskettavaan energiatiheyyteen verrataan mittauksesta saatua energiatihyettä. Vertailuarvon kenttään tulisi siis syöttää kosteuden arvo, jossa polttoaineensyötön säätökäyrät on asetettu.

Jos polttoaineen kosteutta ei ole tiedossa, voidaan polttoaineesta ottaa näytteitä. Syöttämällä Näytteiden määrä -kenttään haluttu näytteiden määrä ja painamalla Luo -painiketta, ohjelma ottaa halutut näytteet ja asettaa saadun tuloksen kosteuden vertailuarvoksi. Näytteitä otetaan kerran sekunnissa, joten esimerkiksi 10 näytteen ottoon menee kymmenen sekuntia. Vaihtoehtoisesti polttoaineen keskimääräisen kosteuden saa selville avaamalla kosteusdatan ikkunan (ks. kuva 2).

Huom! Kosteus tulee asettaa suhteellisena kosteutena!

The screenshot shows a software window titled 'Kosteus'. It contains a section for 'Polttoaineen lähtötiedot' (Fuel output data) with three input fields: 'Lämpöarvo' (15,0 MJ/kg), 'Tiheys' (400 kg/m³), and 'Kosteus' (10,0 p-%). Below this is a section titled 'Luo vertailuarvo' (Create comparison value) with two input fields: 'Näytteiden määrä' (8 kpl) and 'Vertailuarvo' (45,0 p-%). There is also a checkbox for 'Kosteuden hyödyntäminen säädössä' (Moisture utilization in control) which is currently unchecked. A vertical toolbar on the left contains icons for home, calculator, warning, graph, and zoom.

KUVA 4. Kosteustietojen syöttökentät

2.3 Säätimen asettaminen päälle

7 (12)

Kun polttoaineen tiedot on syötetty ja kosteudelle on asetettu vertailuarvo, voi ohjelma aloittaa kertoimen laskennan. Säätimen saa asetettua päälle kuvan 5 ruudusta. Kerroin lasketaan vain, jos polttoaineensyöttö käy ja se on automaattilla. Muussa tapauksessa kertoimeksi pakko kirjataan 1, joka käytännössä poistaa säätimen vaikutuksen. Myös vikatilanteissa kertoimeksi kirjataan 1, joka estää esimerkiksi puutteellisista lähtötiedoista johtuvat virheet (asiasta lisää kappaleessa 2.6).

KUVA 5. Säätimen asettaminen päälle

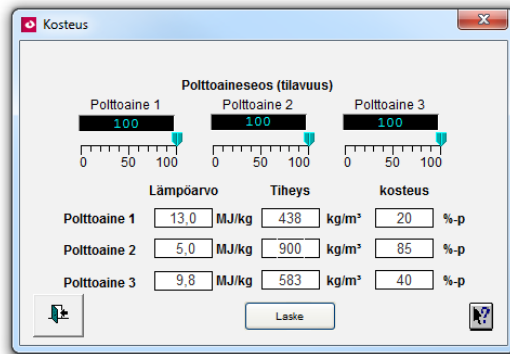
2.4 Seoslaskurin käyttäminen

Ohjelmasta löytyy myös seoslaskuri (ks. kuva 2), jonka avulla voidaan laskea 2-3 polttoaineen seoksien lähtötiedot. Kuvassa 6 näkyvillä vetimillä asetetaan kunkin polttoaineen suhteellinen osuus seoksesta (tilavuudesta). Esimerkiksi kolmen polttoaineen seoksessa, jossa kaikkia polttoaineita on yhtä paljon, tulee vetimet asettaa 33/33/33 tai 100/100/100 jne.

Muihin kenttiin syötetään polttoaineiden arvot. Polttoaineista tulee siis tietää lämpöarvo ja tiheys sekä kosteus, jossa ne on ilmoitettu. Jos seoksessa on vain

8 (12)

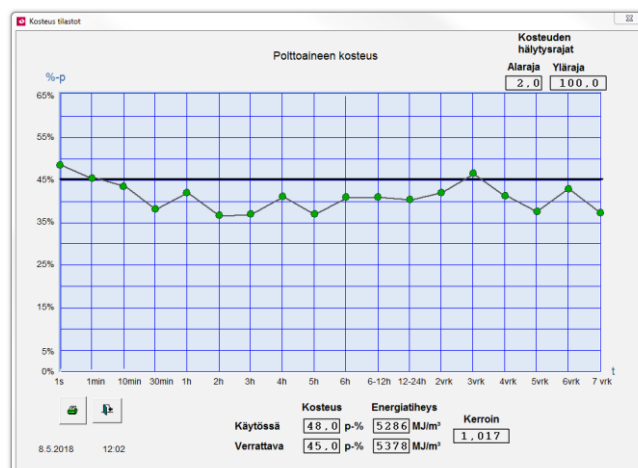
kahta polttoainetta, voidaan yksi vetimistä vetää nolnaan yhden polttoaineen poistamiseksi laskuista.



KUVA 6. Seoslaskuri

2.5 Kosteusdata ja hälytykset

Kosteusdataa pääse tarkkailemaan painamalla toiseksi alinta painiketta pääikkunasta (ks. kuva 2). Painikkeesta avautuva ikkuna näyttää kosteuden arvoja aina 7 vrk päähän. Huomioitavaa on, että kuvaajassa näkyvät ajat ovat ajoaikana, joten tiedot eivät päivity polttoaineensyötön ollessa seis.



KUVA 6. Kosteusdata

Ikkunan alalaidassa näkyy sen hetkiset ohjelmassa olevat kosteus- ja energiatiheystiedot sekä säätimen laskema kerroin. Ruudun oikeassa ylälaudassa löytyy syöttökentät kosteuden hälytysrajoille. Jos mitattu kosteuden arvo menee raja-alueen ulkopuolelle yli

9 (12)

minuutiksi, seuraa hälytys. Hälytys ei itsessään aiheuta mitään toimenpiteitä, mutta se välittää tiedon valvomoon. Kuvassa 6 näkyvä paksu musta viiva näyttää kosteuden asetuseron, joten kosteuden heittäyt arvosta on helppo havaita.

Tiedonkeruu perustuu keskiarvolaskentaa, joten arvoilla on erilaisia päivittymisnopeuksia. Mitä kauemmas mennään nykyhetkestä, sitä suurempi on päivitysväli.

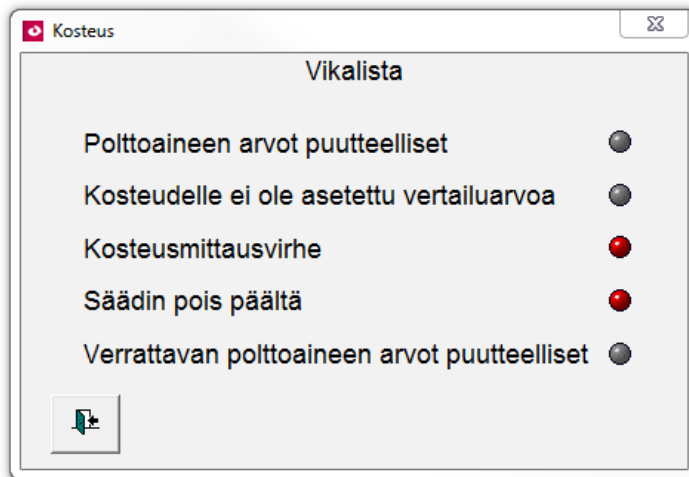
Kosteustietojen päivitysnopeus

Arvo	Päivitysnopeus
1s	1 s
0-1min	1 min
0-10min	10 min
0-30min	10 min
0-1h	10 min
1-2h	1 h
2-3h	1 h
3-4h	1 h
4-5h	1 h
5-6h	1 h
6-12h	1 h
12-24h	1 h
1-2vrk	1 vrk
2-3vrk	1 vrk
3-4vrk	1 vrk
4-5vrk	1 vrk
5-6vrk	1 vrk
6-7vrk	1 vrk

2.6 Vikalista

10 (12)

Käyttöliittymästä löytyy myös vikalista, joka näyttää merkkilamppujen avulla ohjelmassa mahdollisesti aktiivisena olevat virheet. Jokainen listan virheistä aiheuttaa suojoitoiminnon päälle menon, joka pakottaa kertoimen ykköseksi (poistaa säätimen käytöstä).



KUVA 7. Vikalista

Alla on selitettyä jokainen virheiden aiheuttaja.

1. Polttoaineen arvot puutteelliset
 Syy: Polttoaineen lämpöarvo tai tiheys on nolla (kuva 3).
 Korjaus: Syötä polttoaineelle oikeat tiedot, kirjaa ne Syötä –painikkeella.
2. Kosteudelle ei ole asetettu vertailuarvoa
 Syy: Kosteuden vertailuarvo on nolla (kuva4).
 Korjaus: Syötä kosteudelle vertailuarvo ja paina Syötä –painiketta.
3. Kosteusmittausvirhe
 Syy: Mitattu kosteus on nolla, voi johtua anturin vioittumisesta.

4. Säädin pois päältä

Syy: Säädintä ei ole asetettu päälle.

Korjaus: Aseta säädin päälle (kuva 5).

5. Verrattavan polttoaineen arvot puutteelliset

Syy: Eri polttoaineeseen vertailu on päällä ja sen arvot ovat puutteelliset (nolla).

Korjaus: Syötä toisen polttoaineen arvot oikein ja siirrä ne Syötä –painikkeella.

(Vika lähtee pois myös lopettamalla toiseen polttoaineeseen vertailun) (kuva 8).

2.7 Lisäasetukset

Pääikkunasta löytyy painike lisäasetuksille (ks. kuva 2), joista voidaan muuttaa säätimen herkkyyttä sekä asettaa kahden polttoaineen välinen vertailu päälle. Punaisella rajattuun alueeseen syötetään mahdolliset toisen polttoaineen tiedot. Vihreällä rajattu nuolipainike kopioi sen yläpuolella olevat polttoaineen tiedot alempiin kenttiin. Tiedot siirretään ohjelman muistiin Aseta –painikkeella

Jos esimerkiksi tiedetään, että käyttöön on tulossa uutta polttoainetta, jonka lämpöarvo eroaa tämänhetkisestä polttoaineesta, ei säätökäyriä tarvitse mennä muuttamaan. Punaisella rajattuun alueeseen siirretään silloin edellisen polttoaineen tiedot ja käyttöön tulevan polttoaineen tiedot asetetaan ylimpiin kenttiin.

Tietojen syöttäminen ei vielä aiheuta muutoksia ohjelmassa, mutta asettamalla toisen polttoaineen vertailun päälle, säädin alkaa verrata nykyisen polttoaineen tietoja (ks. kuva 3) toisen polttoaineen tietoihin.

The screenshot shows a software window titled 'Kosteus'. It contains several sections for configuring moisture-related parameters:

- Polttoaineen lähtötiedot**: Input fields for 15,0 MJ/kg, 400 kg/m³, and 10,0 p-%, with an 'Aseta' button.
- Vertailu eri polttoaineeseen**: Input fields for 0,0 MJ/kg, 0 kg/m³, and 0,0 p-%, with an 'Aseta' button. A checkbox 'Vertaile toiseen polttoaineeseen' is present.
- Luo vertailuarvo**: Input fields for 'Näytteiden määrä' (8 kpl) and 'Vertailuarvo' (45,0 p-%), with a 'Luo' button. A checkbox 'Kosteuden hyödyntäminen säädössä' is checked.
- Vaikutus**: A slider control ranging from 0% to 200%, currently set at 100%.

KUVA 8. Lisäasetus ikkuna

Säätimen herkkyyttä voidaan muuttaa kuvassa 8 sinisellä rajatulla vetimellä. Vetimen avulla voidaan muuttaa kosteuden muutoksesta seuraavan kertoimen muutoksen suuruutta. Vetimen asettaminen 200 % asentoon tuplaa kosteuden vaikutuksen ja 50 % puolittaa vaikutuksen. Vedin on oletuksena asetettuna 100 %:iin.

Liite 2. Urjalan (FB63) ohjelman käyttöohje

1 (13)

KÄYTTÖOHJEET URJALA

jatkuu

SISÄLLYS

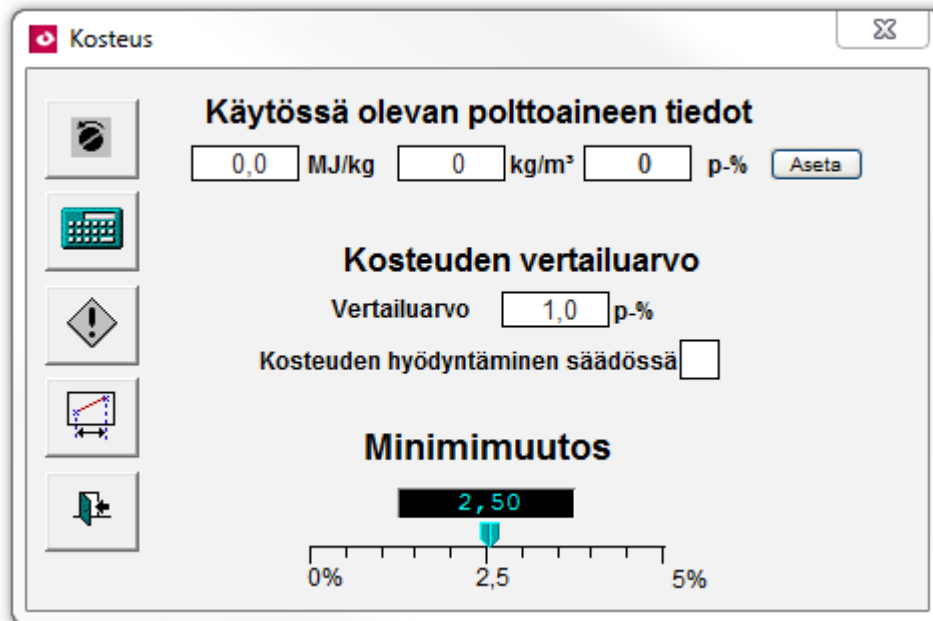
2 (13)

1	Yleistä.....	3
1.1	Perusperiaate	4
2	Säätimen käyttäminen	5
2.1	Polttoaineen tiedot.....	5
2.2	Kosteuden vertailuarvo.....	6
2.3	Säätimen asettaminen päälle	7
2.4	Seoslaskurin käyttäminen.....	7
2.5	Kosteusdata ja hälytykset	9
2.6	Vikalista.....	10
2.7	Lisäasetukset	12
2.8	Minimimuutos.....	13

1 Yleistä

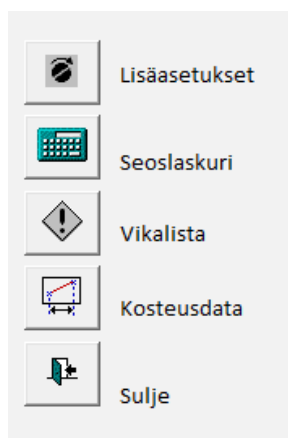
3 (13)

Ohjelman tarkoitus on tuottaa saamiensa lähtötietojen sekä mittauksen avulla kerroin, joka ilmaisee, paljonko polttoaineen lämpöarvo on muuttunut kosteuden vaikutuksesta. Säätimen asetukset saadaan esiin painamalla käyttöliittymästä KOSTEUS –painiketta. Painike avaa kuvan 1 mukaisen näkymän.



KUVA 1. Käyttöliittymän pääikkuna

Pääikkunasta löytyy polttoaineen tietojen sekä kosteuden vertailuarvon syöttökentät. Säädin asetetaan päälle pääikkunasta. Ikkunan vasemmassa laidassa on viisi painiketta. Painikkeiden toiminnot on selitetty kuvassa 2.

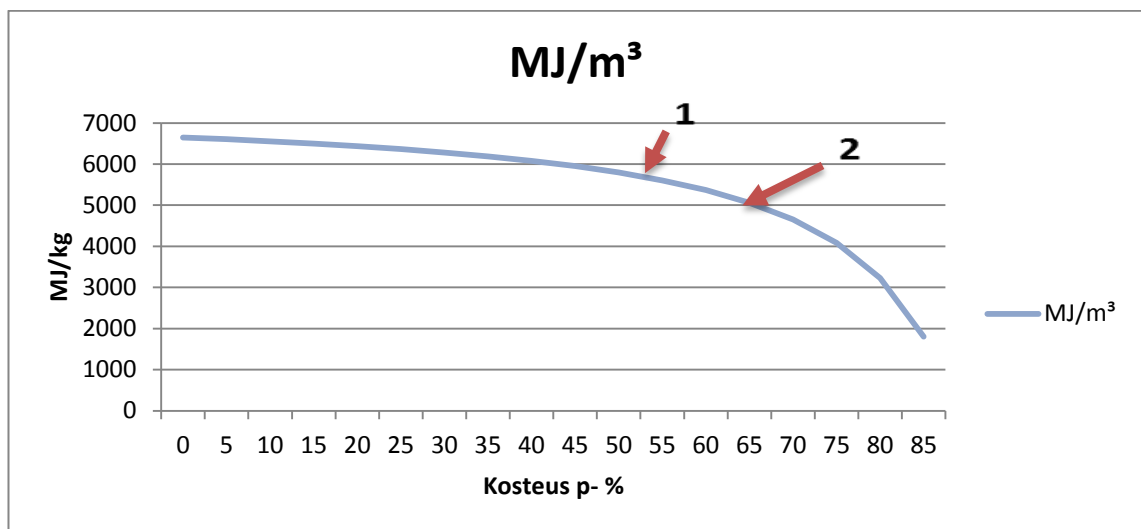


KUVA 2. Painikkeiden selitykset

1.1 Peruseriaate

4 (13)

Säätimen toiminta perustuu polttoaineen energiatiheyksien vertailuun. Polttoaineen tietojen perusteella saadaan muodostettua energiatiheyden käyrä. Syöttämällä ohjelmalle ”normaalin” kosteuden saadaan ohjelmalle kiintopiste (nuoli 1), johon mittauksesta saatua energiatiheyttä (nuoli 2) voidaan verrata. Laskemalla energiatiheyksien välinen suhde saadaan selville polttoaineen lisäys- tai vähennystarve.



KUVIO 1. Energiatiheys suhteessa kosteuteen

Kosteuden mittaus tapahtuu ottamalla lisättävästä kosteudesta sekunnin välein mittauksia ja laskemalla lisäyksen päätyttyä kosteuden keskiarvo. Uusimman lisäyksen kirjaus tapahtuu, kun polttoaine on siirtynyt syöttimelle. Kertoimen avulla lasketaan syöttimen muutostarve. Ensiöpuhaltimen nopeutta muutetaan tarvittava määrä, jotta syöttimen nopeus muuttuu kertoimen osoittaman verran.

2 Säätimen käyttäminen

5 (13)

Säätimen käyttäminen on yksinkertaista. Käyttäjän tarvitsee vain syöttää polttoaineen lähtötiedot sekä kosteusarvo, johon mittauksesta saatua kosteuden arvoa verrataan. Seuraavissa kappaleissa käydään seikkaperäisesti läpi säätimen käyttö ja ominaisuudet.

2.1 Polttoaineen tiedot

Pääikkunan avauduttua polttoaineen tiedot voi syöttää kuvassa 3 rajattuihin kenttiin. Ohjelma laskee tietojen pohjalta polttoaineelle kuiva-aineen lämpöarvon sekä tiheyden. Tiedot voivat olla siis missä tahansa kosteudessa. Jos polttoaineesta tiedetään valmiiksi sen kuiva-aineen arvot, kosteuden ikkunaan (oikean puoleisin) kirjoitetaan nolla.

The screenshot shows a software window titled 'Kosteus'. On the left is a vertical toolbar with icons for a calculator, a warning sign, a graph, and a printer. The main area contains the following elements:

- A header box titled 'Käytössä olevan polttoaineen tiedot' with three input fields: '0,0 MJ/kg', '0 kg/m³', and '0 p-%', followed by an 'Aseta' button.
- A section titled 'Kosteuden vertailuarvo' with an input field for 'Vertailuarvo' set to '1,0 p-%' and a checkbox for 'Kosteuden hyödyntäminen säädössä' which is currently unchecked.
- A section titled 'Minimimuutos' with a slider control. The slider is positioned at '2,50' on a scale from 0% to 5%.

KUVA 3. Polttoaineen tietojen syöttäminen

Tiedot siirtyvät logiikalle vasta ASETA –painiketta painamalla. Tämä estää tahattomat virheet polttoaineen arvoja syötettäessä. Tiedot eivät saa olla puutteelliset tai tietojen siirto estyy. Esimerkiksi lämpöarvoksi ei voi kirjata nollaa. Tietojen asettamisen jälkeen voidaan siirtyä kosteustietojen syöttämiseen (kappale 2.2).

2.2 Kosteuden vertailuarvo

6 (13)

Pääikkunasta löytyy myös vertailuarvon syöttökenttä. Vertailuarvolla tarkoitetaan kosteuden arvoa, jonka avulla laskettavaan energiatiheyteen verrataan mittauksesta saatua energiatiheyttä. Vertailuarvon kenttään tulisi siis syöttää kosteuden arvo, jossa polttoaineensyötön säätökäyrät on asetettu. Jos kosteudesta ei ole tietoa, polttoaineen aiempien lisäyksien keskimääräisen kosteuden saa selville avaamalla kosteusdatan ikkunan (ks. kuva 2).

Huom! Kosteus tulee asettaa suhteellisena kosteutena!

Kosteus

Käytössä olevan polttoaineen tiedot

0,0 MJ/kg 0 kg/m³ 0 p-% Aseta

Kosteuden vertailuarvo

Vertailuarvo 1,0 p-%

Kosteuden hyödyntäminen säädössä

Minimimuutos

2,50

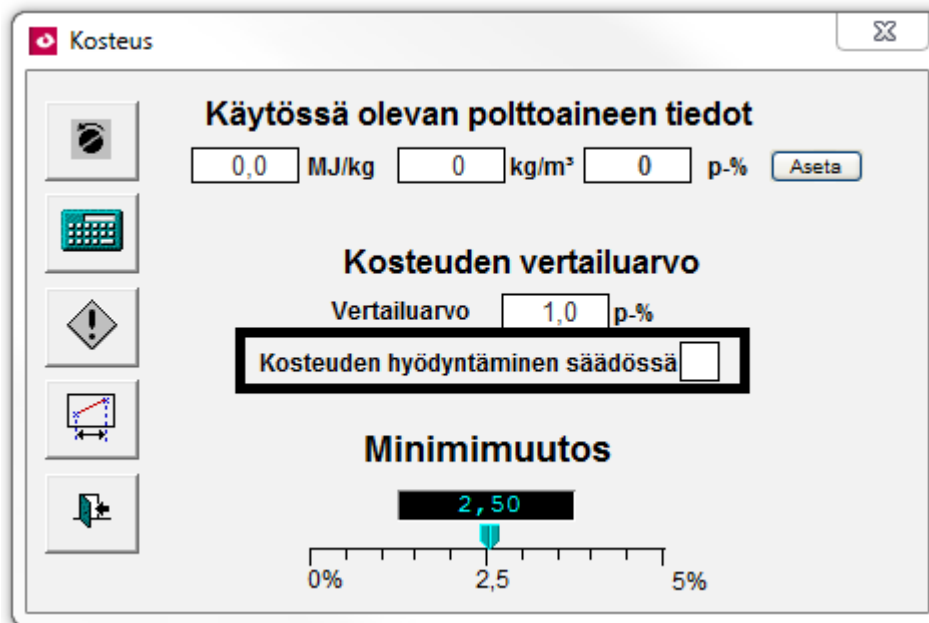
0% 2,5 5%

KUVA 4. Kosteustietojen syöttökentät

2.3 Säätimen asettaminen päälle

7 (13)

Kun polttoaineen tiedot on syötetty ja kosteudelle on asetettu vertailuarvo, voi ohjelma alkaa laskea kertoimia. Säätimen saa asetettua päälle kuvan 5 ruudusta. Kerroin lasketaan aina, jos polttoaineensyöttö käy ja se on automaattilla. Muussa tapauksessa kertoimeksi pakko kirjataan 1, joka käytännössä poistaa säätimen vaikutuksen. Myös vikatilanteissa kertoimeksi kirjataan 1, joka estää esimerkiksi kosteusmittauksen vioittumisen aiheuttaman polttoaineensyötön heittelyn (asiasta lisää kappaleessa 2.6).



KUVA 5. Säätimen asettaminen päälle

2.4 Seoslaskurin käyttäminen

Ohjelmasta löytyy myös seoslaskuri (ks. kuva 2), jonka avulla voidaan laskea 2-3 polttoaineen seoksien lähtötiedot. Kuvassa 6 näkyvillä vetimillä asetetaan kunkin polttoaineen suhteellinen osuus seoksesta (tilavuudesta). Esimerkiksi kolmen polttoaineen seoksessa, jossa kaikkia polttoaineita on yhtä paljon, tulee vetimet asettaa 33/33/33 tai 100/100/100 jne.

8 (13)

Muihin kenttiin syötetään polttoaineiden arvot. Polttoaineista tulee siis tietää lämpöarvo ja tiheys sekä kosteus, jossa ne on ilmoitettu. Jos seoksessa on vain kahta polttoainetta, voidaan yksi vetimistä vetää noltaan yhden polttoaineen poistamiseksi laskuista.

The screenshot shows a software window titled "Kosteus" with a close button in the top right. The main content is titled "Polttoaineseos (tilavuus)" and contains three sliders for "Polttoaine 1", "Polttoaine 2", and "Polttoaine 3", each with a scale from 0 to 100 and a value of 100. Below the sliders is a table with three columns: "Lämpöarvo", "Tiheys", and "kosteus". The table has three rows for "Polttoaine 1", "Polttoaine 2", and "Polttoaine 3". At the bottom, there is a "Laske" button and two help icons.

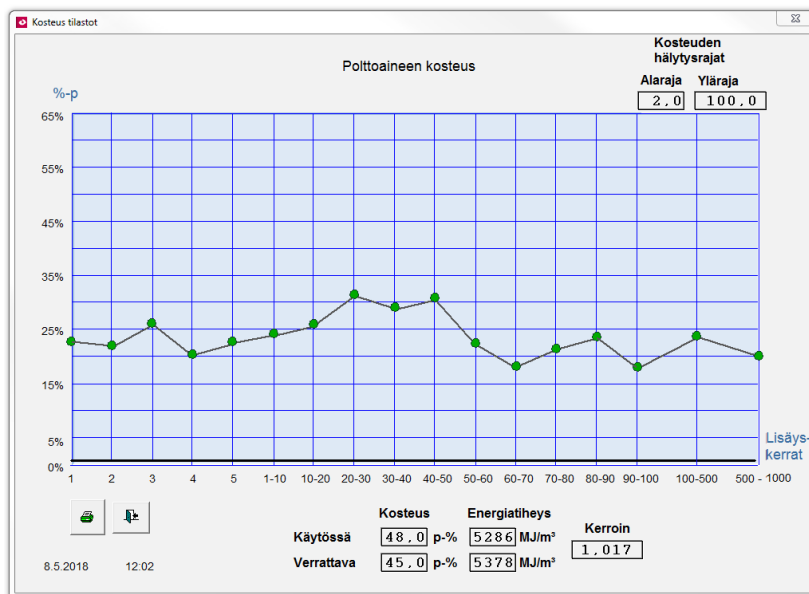
	Lämpöarvo	Tiheys	kosteus
Polttoaine 1	13,0 MJ/kg	438 kg/m ³	20 %-p
Polttoaine 2	5,0 MJ/kg	900 kg/m ³	85 %-p
Polttoaine 3	9,8 MJ/kg	583 kg/m ³	40 %-p

KUVA 6. Seoslaskuri

2.5 Kosteusdata ja hälytykset

9 (13)

Kosteusdataa pääse tarkkailemaan painamalla toiseksi alinta painiketta pääikkunasta (ks. kuva 2). Painikkeesta avautuva ikkuna näyttää kosteuden arvoja aina tuhannen lisäyksen päähän.



KUVA 6. Kosteusdata

Ikkunan alalaidassa näkyy sen hetkiset ohjelmassa olevat kosteus- ja energiatehystiedot sekä säätimen laskema kerroin. Ruudun oikeassa yläalaidassa löytyy syöttökentät kosteuden hälytysrajoille. Jos mitattu kosteuden arvo menee raja-alueen ulkopuolelle yli minuutiksi, seuraa hälytys. Hälytys ei itsessään aiheuta mitään toimenpiteitä, mutta se välittää tiedon valvomoon. Kuvassa 6 näkyvä paksu musta viiva näyttää kosteuden asetusarvon, joten kosteuden heittäytyä arvosta on helppo havaita.

10 (13)

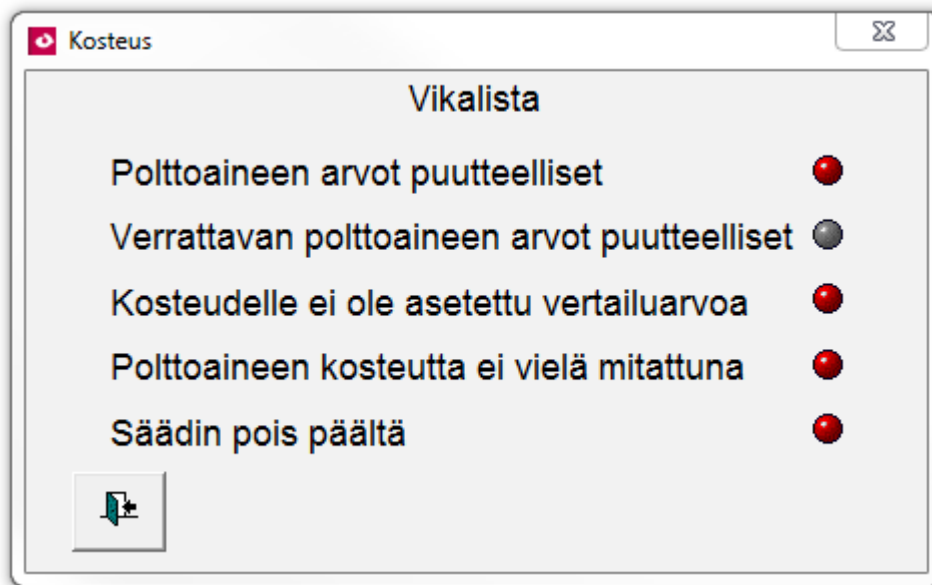
Tiedonkeruu perustuu keskiarvolaskentaa, joten arvoilla on erilaisia päivittymisnopeuksia. Mitä kauemmas mennään nykyhetkestä, sitä suurempi on päivitysväli.

Kosteustietojen päivitysnopeus

Arvo	Päivitysnopeus
1 lisäys	1 lisäys
2	1 lisäys
3	1 lisäys
4	1 lisäys
5	1 lisäys
1-10	10 lisäystä
10-20	10 lisäystä
20-30	10 lisäystä
30-40	10 lisäystä
40-50	10 lisäystä
50-60	10 lisäystä
60-70	10 lisäystä
70-80	10 lisäystä
80-90	10 lisäystä
90-100	10 lisäystä
100-500	100 lisäystä
500-1000	100 lisäystä

2.6 Vikalista

Käyttöliittymästä löytyy myös vikalista, joka näyttää merkkilamppujen avulla ohjelmassa mahdollisesti aktiivisena olevat virheet. Jokainen listan virheistä aiheuttaa suojoitiminon päälle menon, joka pakottaa kertoimen ykköseksi (poistaa säätimen käytöstä).



KUVA 7. Vikalista

Alla on selitettyä jokainen virheiden aiheuttaja.

1. Polttoaineen arvot puutteelliset

Syy: Polttoaineen lämpöarvo tai tiheys on nolla (kuva 3).

Korjaus: Syötä polttoaineelle oikeat tiedot ja muista kirjata ne Syötä – painikkeella.

2. Verrattavan polttoaineen arvot puutteelliset

Syy: Eri polttoaineeseen vertailu on päällä ja sen arvot ovat puutteelliset (nolla).

Korjaus: Syötä toisen polttoaineen arvot oikein ja siirrä ne Syötä –painikkeella. (Vika lähtee pois myös lopettamalla toiseen polttoaineeseen vertailun) (kuva 8).

3. Kosteudelle ei ole asetettu vertailuarvoa

Syy: Kosteuden vertailuarvo on nolla (kuva 4).

Korjaus: Syötä kosteudelle vertailuarvo ja paina Syötä –painiketta.

4. Polttoaineen kosteutta ei vielä mitattuna

Syy: Mitattu kosteus on nolla, tai ohjelma ei ole ehtinyt mitata lisätyn polttoaineen kosteutta.

Korjaus: Odota, että kattilaan lisätään polttoainetta. Muussa tapauksessa syy voi olla anturin vioittuminen.

5. Säädin pois päältä

Syy: Säädintä ei ole asetettu päälle.

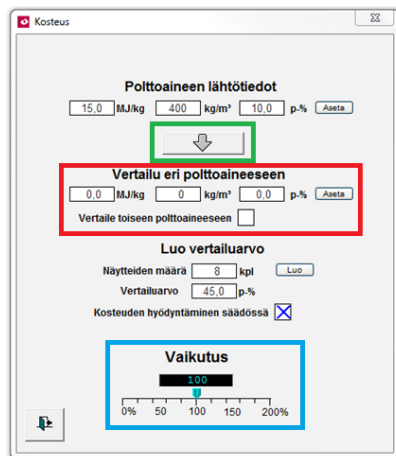
Korjaus: Aseta säädin päälle (kuva 5).

2.7 Lisäasetukset

Pääikkunasta löytyy painike lisäasetuksille (ks. kuva 2), joista voidaan muuttaa säätimen herkkyyttä sekä asettaa kahden polttoaineen välinen vertailu päälle. Punaisella rajattuun alueeseen syötetään mahdolliset toisen polttoaineen tiedot. Vihreällä rajattu nuolipainike kopioi sen yläpuolella olevat polttoaineen tiedot alempiin kenttiin. Tiedot siirretään ohjelman muistiin Aseta –painikkeella

Jos esimerkiksi tiedetään, että käyttöön on tulossa uutta polttoainetta, jonka lämpöarvo eroaa tämänhetkisestä polttoaineesta, ei säätökäyriä tarvitse mennä muuttamaan. Punaisella rajattuun alueeseen siirretään silloin edellisen polttoaineen tiedot ja käyttöön tulevan polttoaineen tiedot asetetaan ylimpiin kenttiin.

Tietojen syöttäminen ei vielä aiheuta muutoksia ohjelmassa, mutta asettamalla toisen polttoaineen vertailun päälle, säädin alkaa verrata nykyisen polttoaineen tietoja (ks kuva 3) toisen polttoaineen tietoihin.



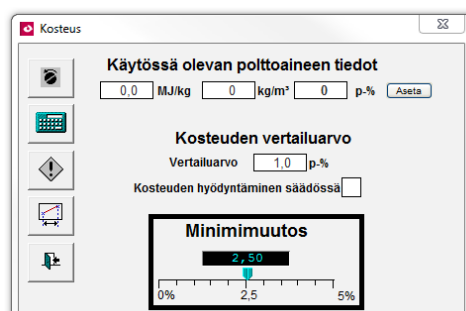
KUVA 8. Lisäasetus ikkuna

Säätimen herkkyyttä voidaan muuttaa kuvassa 8 sinisellä rajatulla vetimellä. Vetimen siirtäminen muuttaa kosteuden muutoksesta seuraavan kertoimen muutoksen suuruutta. Vetimen asettaminen 200 % asentoon tuplaa kosteuden vaikutuksen ja 50 % puolittaa vaikutuksen. Vedin on oletuksena asetettuna 100 %:iin.

2.8 Minimimuutos

Säätötavasta johtuen säätimelle on hyvä asettaa vähimmäismuutos jonka se voi suorittaa. Muussa tapauksessa aivan liian pienet (vaikkapa 0,25 %) muutokset aiheuttaisivat säätimen käsiajolle menon, joka ei ole toivottavaa.

Pääikkunasta löytyy kuvassa 9 rajattu vedin. Vetimellä voidaan säätää vähimmäismuutos, jota pienempiä muutoksia säädin ei tee. Jos vedin on esimerkiksi asetettuna 2,5 % arvoon ja säätimen pitäisi muuttaa ensiöpuhaltimen nopeutta 2 %, se ei tee sitä. Vasta 2,5 % ylittävät muutokset aiheuttavat tällöin nopeuden muuttamisen.



KUVA 9. Minimimuutos –vedin