



ITÄ-SUOMEN YLIOPISTO



Järviruo'on pelletöinti

Teemu Vilppo, Lauri Sikanen ja Risto Ikonen

Itä-Suomen yliopisto, Mekrijärven tutkimusasema

JÄREÄ - Järviruoko energiaksi, vesien tila paremmaksi Pohjois-Karjalassa

1. Johdanto

Järviruon hyötykäyttö polttoaineena tai kuivikkeena edellyttää käsiteltävyyden parantamista hienonnuksella ja tiheyden nostamista paremman kuljetus- ja käsittelytehokkuuden saavuttamiseksi. Briketointi ja pelletointi ovat laajasti tunnettuja menetelmiä tasalaatuisuuden lisäämiseksi ja tiheyden kasvattamiseksi. JÄREÄ-hankkeessa tutkitaan järviruon pelletointia ja pellettien jatkokäyttöä.

Järviruon pelletointia on tehty aiemminkin. Järviruoko tiedetään hieman haastavaksi materiaaliksi pelletointia ajatellen puuhun verrattuna. Toimivan matriisi-lämpötila-kosteus-yhdistelmän löytäminen voi olla vaikeaa ja laadukkaan pelletin syntymiseen vaadittava ”ikkuna” tuotantoparametrien suhteen on puuhun verrattuna pieni. Siksi pelletöinnissä haluttiin kokeilla myös järviruon seostamista puuhun.

Uutena kokeiltavana asiana oli pelletointia varten tehtävän hienonnuksen tekeminen veitsimyllyllä vasaramyllyn sijaan. Vasaramylly on perinteinen pellettiraaka-aineen hienonnustapa, mutta vasaramyllyn tylpät vasaraterät tekevät raaka-ainepartikkeleista usein pyöristyneitä ja pinnaltaan jo tiivistettyjä, jolloin pelletöinnissä tarvittavien sidosten syntymiseen tilanne ei ole optimaalinen. Veitsimyllyhienonnus tekee raaka-ainepartikkelista rakenteeltaan huokoisemman ja hienoaineksen määrä raaka-aineessa nousee hieman. Puuraaka-aineella veitsimyllyhienonnus parantaa pellettien teknistä laatua. Mekrijärven tutkimusaseman vasaramylly ei myöskään soveltunut parhaalla mahdollisella tavalla järviruon jauhatukseen raaka-aineen syöttölaitteen rakenteen vuoksi.

2. Aineisto ja menetelmät

2.1. Aineisto

Pelletöitävä järviruokomassa oli ruskeana syyskorjattua järviruon korsiosaa. Järviruokomassa kuivattiin lämminilmakuivauksella Mekrijärven tutkimusaseman konttikuivaamossa noin 13%:n kosteuteen.

Seospelleteissä käytettiin lisäksi havupuunsahanpurua, joka voidaan käsittää nk. standardiraaka-aineena pellettien valmistuksessa.

2.2. Menetelmät

Järviruoko jauhettiin veitsimyllyllä, jossa käytettiin 4 mm:n seulakokoa. Veitsimyllyä käytettiin koska korsimaista materiaalia ei voi kunnolla jauhaa vasaramyllyllä. Käytetty puuraaka-aine on saatu Vapon Ilomantsin pellettitehtaalta käyttökosteuteen kuivattuna ja jauhettu Mekrijärven tutkimusaseman koepelletöintilaitteiston vasaramyllyllä 6mm seulakoolla jota on käytetty aiemmissakin kokeissa [1].

Järviruoko pelletit tehtiin Mekrijärven koepelletöintilaitteistolla ja seostukseen käytettiin seostusautomaatiota. Järviruokoa ei erikseen kalibroitu, vaan sen oletettiin olevan irtotiheydeltään

yhtä suuri puun kanssa. Tämä oletama todettiin alkuvaiheessa virheelliseksi ja seostusta jouduttiin korjaamaan halutun 50% / 50% seoksen aikaansaamiseksi.

Pelletit puristettiin 3 kanavaisella matriisilla jossa kanavien halkaisija oli 8mm ja pituus 60mm ja kolleripyörät olivat poikittaisuritetut. Syöttönopeus oli vakio ja sama kaikissa kokeissa.

Kukin raaka-aine silo oli punnituksessa ja näiden lisäksi seurattiin tehon kulutusta ja matriisin lämpötiloja 12 mittauspisteestä (kellotaulu-asetelma).

Tuhkan alkuaineanalyysi tehtiin ICP-OES analysaattorilla [2] ja tekninen lujuus CEN-testillä [6].

Tulokset analysoitiin Microsoft Excelissä tarkoitusta varten laadituilla työkalulla.

3. Tulokset

3.1 Pelletöinnin kulku

Järviruokomassan irtotiheys veitsimyllytyksen jälkeen oli huomattavasti pienempi kuin vastaavalla puuraaka-aineella. Tämä aiheutti ongelmia optimaalisen syöttösuhteen löytämisessä. Kun pyrittiin tekemään 50:50 sekoitussuhteella olevaa pellettiä, vaaka-analyysi osoitti että todellinen syöttösuhde oli noin 30% järviruokoa ja 70% puuta (32:68). Tällä sekoitussuhteella pelletöinti onnistui hyvin eikä teknisiä ongelmia ilmentynyt.

Kun sekoitussuhde säädettiin lähelle 50:50 suhdetta (todellinen suhde vaaka-analyysin jälkeen oli 53% järviruokoa ja 47% puuta) pelletöinti sujui edelleen kohtuullisen hyvin mutta prosessin tuottavuus laski hieman ilmeisesti raaka-ainemassan tiheyden pienenemisen takia.

100% järviruoko osoittautui haasteelliseksi. Raaka-aineen pieni tiheys aiheutti ongelmia pellettipuristimen syötössä. Maksiminopeudella tapahtunut syöttökään ei riittänyt viemään riittävästi raaka-ainetta puristimeen vaan pieni raaka-ainevirta "valui" puristimen läpi pölynä eikä pellettiä muodostunut. Raaka-aineen syöttöä tehostettiin pakkaamalla raaka-ainetta käsin puristimen syöttöruuville. Raaka-ainevirta oli nyt riittävä mutta pellettiä ei muodostunut vaan raaka-aine valui edelleen pölynä puristimen läpi. Kun tehostetusti syötettyyn raaka-ainemassaan alettiin lisätä vettä 50 ml (tarkista) minuutissa puristimen matriisiin sisään, alkoi pellettiä muodostua ja pelletöinti saatiin stabiloitua.

3.2 Pelletöintiprosessin mittaustulokset

Pelletöintiprosessista mitattiin sekä sekoitusautomaation että mittausautomaation normaalit mittaukset. Järviruokopelletöinnin kannalta olennaiset parametrit olivat sekoitussuhteet, pellettipuristimen ottoteho ja matriisin lämpötilat. Tässä on käsitelty vain seospelletöintejä ja järviruokopelletöintiä niiltä osin kuin sinne on tehty veden lisäys, koska pelkkä kuiva järviruoko ei pelletöitynyt.

3.2.1. Seostus

Taulukko 1. Seostus ja purkunopeudet

Oletus seossuhde(% (w/w), järviruoko/ puu)	30 / 70	50 / 50	100 / 0
Mitattu seossuhde (%)	32 / 68	53 / 47	100 / 0
Järviruoko (kg/h)	55.1	57.6	111.6
Puu (kg/h)	118.9	50.6	0
Yhteensä (kg/h)	174.0	108.1	111.6

Taulukossa 1 on ilmoitettukeskimääräiset purkunopeudet siiloista kunkin pelletöinnin ajalta ja näistä laskettu seossuhde. Laskennassa on käytetty dataa josta on poistettu siilon purkuongelmista johtuva (siiloa on tönitty, sen päälle on noustu ym.) harhaiset tulokset (mitattu massa äkillisesti ja huomattavasti kasvaa tai laskee ym.) ja näistä tuloksista on laskettu suoran yhtälö jonka kulmakerroin antaa purkunopeuden (ilmoitettu tulos).

3.2.2. Ottoteho

Pelleöinnin tehon kulutusta mitataan ampeereina, joka voidaan muuntaa sähkötehoksi kertomalla se käytetyllä jännitteellä. Tehoa mitataan puristimelta (taulukko 2), pääkaapin kokonaistehosta (sisältäen puristimen ottaman tehon) ja sivukaapilta (kertoo sekoitusautomaation ottaman tehon).

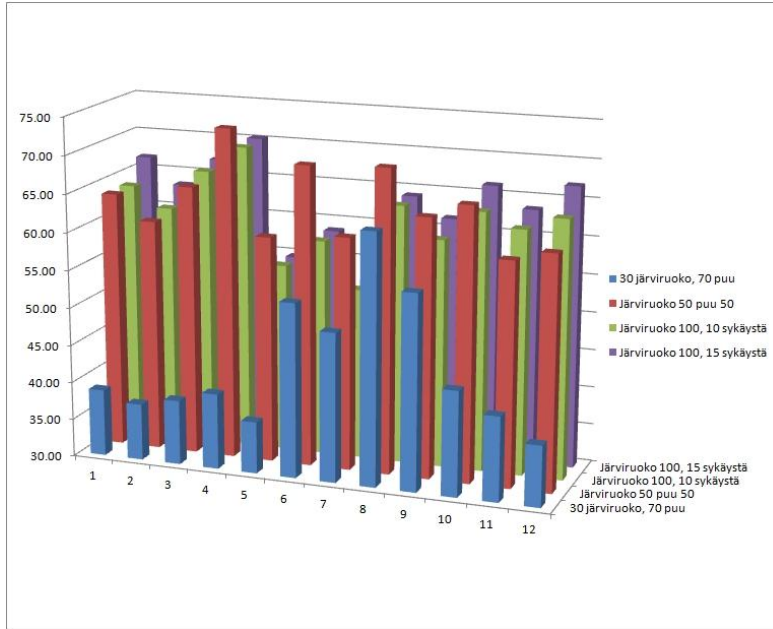
Taulukko 2. Puristimen tehontarve

Järviruoko/puu (% (w/w))	Puristimen ottoteho Ka (kW)	Puristimen ottoteho hajonta (kW)
30/70	18,91	7,902
50/50	17,9	4,869
100/0, 10 syk vesi	15,14	3,231
100/0, 15 syk vesi	15,07	3,147

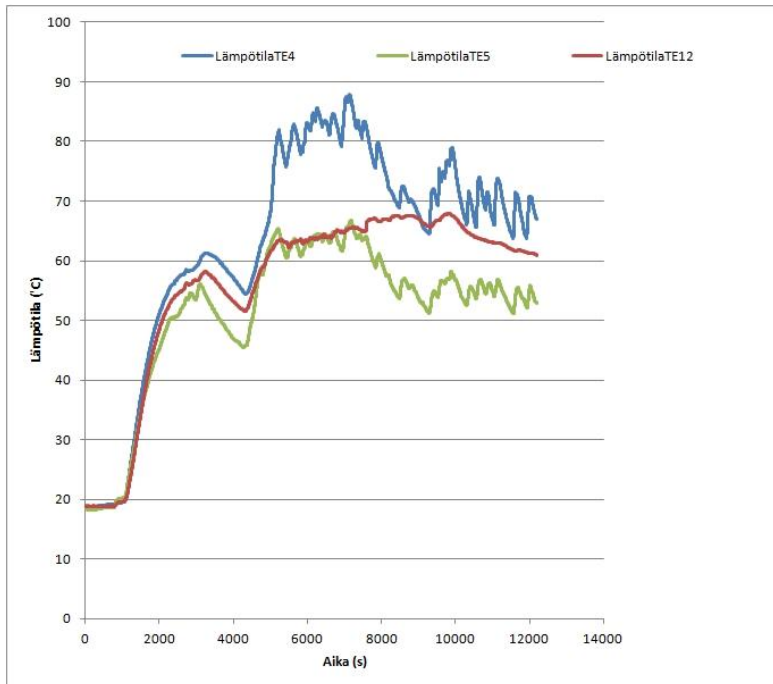
Puristimen tehot on ilmoitettu keskimääräisenä sähköteho, kilowatteina. Olennainen ero seosten ja puhtaan järviruokopelletin välillä on veden lisä, joka kuivassa materiaalissa todennäköisesti aiheuttaa havaitun merkittävänotto tehon aleneman. Sama koe olisi tarkoituksenmukaista toistaa yhtenäisellä vedenlisällä, jolloin veden lisän merkitys varmistuisi.

3.2.3 Matriisin lämpötila

Tälle puristintyypille tyypillisesti matriisin lämpötiloissa on merkittävää vaihtelua eri sektoreilla (Kuvat 1 ja 2). Lisäksi ensimmäisen pelletöinnin (30/70) aikana matriisi oli vasta lämpiämisvaiheessa, mikä näkyy sekä alhaisempina lämpötilana matriisilla, että merkittävän suurena vaihteluna ottotehossa.



Kuva 1. Matriisin mittauspisteiden keskilämpötilat eri pelletöinneissä



Kuva 2. Esimerkilämpötilakäyriä eri lämpötila-antureilta koko pelletöinnin ajalta

3.3 Pellettien tekninen laatu (CEN-testi)

Pellettien tekninen laatu todettiin CEN-testillä. Kokonaisuutena voidaan todeta että pellettien tekninen laatu on hyvä (Taulukko 3), joskaan yksikään koe-erä ei yltänyt parhaaseen A1-laatuluokkaan, jossa jäämäprosentti testin jälkeen tulisi olla 97,5%.

Taulukko 3. Pellettien tekninen lujuus, tulos on kahden kokeen keskiarvo

32% järviruokoa 68% puuta	96,9
53% järviruokoa 47% puuta	96,8
100% järviruokoa	95,7

3.4 Käytettävyys

Silmämääräisesti arvioiden sekä 100% järviruoko, että seos pelletit ovat tekniseltä laadultaan hyviä, joten kuljetusjärjestelmien osalta käytettävyydessä ei ole odotettavissa ongelmia. Polttokäytössä kuitenkin ilmeni takassa merkittäviä teknisiä ongelmia sekä 30/70- pelletillä että 100%- järviruoko pelletillä, joskin ongelma on jo selkeästi vähäisempi 30/70-seostuksella.



Kuva 3. 100% järviruokon tuhkakertymä takassa

100% järviruokopelletti paloi takassa noin tunnin ennen kuin polttokuppi täyttyi (Kuvat 3 ja 4). Polttokupin täyttyminen on palamista kiihtyvästi heikentävä prosessi. Niin kauan kuin itse palotapahtuma oli ongelmaton, järviruoko paloi takassa hyvää puupellettiä vastaavalla teholla palolämpötiloista arvioituna.

30/70 pelletti paloi loppuun saakka noin 2h hieman korkeammalla palolämpötilalla kuin 100% järviruokopelletti. Polttokupin pohjalle jäänyt tuhkakajäjä olisi oletettavasti pidemmässä poltossa kuitenkin aiheuttanut vastaavan tukkeuman kuin 100% pelletillä tapahtui nopeasti.

Kuvassa 4 on muutama pelletti pohjalla koska kun takan polttoaine säiliö tyhjenee, muuttuu pelletin syöttö epävarmaksi ja



Kuva 4. 30/70 järviruoko/puu tuhkakertymä takassa

epäsäännölliseksi ja polttokupista loppuu polttoaine ja tuli sammuu. Vielä tulen sammumisen jälkeen kuppiin yleensä tipahtaa vielä muutama pelletti jotka eivät enää syty. Sama tapahtuu myös silloin kuin pelletistä ei jää jäämää kupin pohjalle.

3.5 Pellettien kemiallinen koostumus

ICP-analyysissa rakennettiin kokonaiskuva pellettien kemiallisista pitoisuuksista ja verrattiin niitä yleisesti käytössä oleviin puupelletteihin. Raudan ja kuparin osuus järviruokopelleteissä oli selvästi puupellettejä suurempi (Taulukko 4.) On myös viitteitä, että piin (silikaattien) määrä järviruossa on noin kymmenkertainen puupellettiin nähden. Myös rikin osuus oli lähes kymmenkertainen puupellettiin nähden ja lannoitealkuaineista typen ja fosforin pitoisuudet olivat kertaluokkia puupellettejä suuremmat. Haitallisten raskasmetallien kuten cadmiumin ja lyijyn pitoisuudet sen sijaan olivat hyvin alhaiset, kuten myös poltossa ongelmallisten alkalimetallien kaliumin ja natriumin, jotka ovat vain hieman puupelletin tasoa suuremmat.

Taulukko 4. Pellettien kemiallinen koostumus (ICP-analyysi)				
Alkuaine	32% järviruokoa 68% puuta	53% järviruokoa 47% puuta	100% järviruokoa	Vapo-pelletti (vertailu)
pitoisuus g/kg				
N	0,1939	0,2297	0,3997	0,0771
Al	0,0295	0,0291	0,0436	0,0293
As	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
B	0,0014	0,0014	0,0012	0,0017
Ca	0,7762	0,8028	0,9240	0,8505
Cd	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Cr	0,0006	0,0007	0,0007	< 0,0001
Cu	0,0015	0,0015	0,0022	0,0008
Fe	0,4236	0,5425	0,9581	0,0408
Hg	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
K	0,5064	0,4933	0,6247	0,3370
Mg	0,1849	0,1924	0,2277	0,1332
Mn	0,1037	0,1154	0,1509	0,0833
Mo	0,0002	0,0002	0,0003	< 0,0001
Na	0,0393	0,0511	0,0803	0,1700
Ni	0,0004	0,0004	0,0006	< 0,0001
P	0,1219	0,1453	0,2302	0,0559
Pb	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
S	0,2199	0,2809	0,4625	0,0560
Se	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Ti	0,0040	0,0037	0,0056	0,0033
Zn	0,0111	0,0097	0,0122	0,0089

3.6 Muita huomioita

Työkenneltäessä kuivan ja jauhetun järviruon kanssa työntekijät huomioivat selvää pölyärsytystä hengitysteissä. Kuiva järviruoko jauhautuu osittain hyvin ohueksi pölyksi joka leijuu ilmassa helposti. Kun tämä pöly ajautuu hengitysteihin, on ärsytys huomattavasti tavanomaisen puupölyn

aiheuttamaa ärsytystä voimakkaampaa. Tämä saattaa johtua järviruon sisältämästä suuresta silikaattipitoisuudesta. Järviruon hyötykäyttöä kehitettäessä pölyn muodostuminen ja työntekijöiden altistuminen pölylle kannattaa huomioida.

4. Vertailua aiempiin havaintoihin

Verrattuna kirjallisuuteen, ruoko.fi sivuston ("Ruovikkostrategia Suomessa ja Virossa" –Interreg IIIA-hanke) Cofreen-, Mynämäki- ja VELHO- hankkeiden tuloksiin.

Tuhkan koostumus ja määrä antaa viitteitä siihen, että suhteessa muihin julkaistuihin tutkimuksiin[3-5] on tässä kokeessa käytetty suhteellisen ravinneköyhällä kasvupaikalla kasvanutta järviruokoa tai sitten järviruoko on erittäin hyvin huuhdeltua (leached).

"ruoko.fi"- sivustojen julkaistuissa raporteissa on kerrottu pelletöinnissä tehdyistä testeistä, joissa on ollut selkeitä ongelmia tuottaa laadukkaita pellettejä. Kohdullisen laadukkaita, tosin mekaanisesti testaamattomia, pellettejä on saatu aikaan riittävän kostealla ja/tai lisäaineistamalla järviruokoa. Briketöinti järviruolla ei ole käytännössä onnistunut.

"ruoko.fi"-sivustolla esiteltyjen testien materiaaliin nähden tämän kokeen tuhkamäärä on siellä ilmoitettua alhaisempi. Mikäli tuhkan koostumus on lähes sama on tuhkan sulamispiste varsin korkea [3]. Tällöin takkapolton tekninen ongelma johtuu nimenomaisesti tuhkan suuresta määrästä eli tuhka ei kulkeudu paloilmalla/kaasun mukana pois polttokupista, vaan jää pelletin muotoisina kappaleina kuppiin, tukkien ennen pitkää polttoilman virtauksen ja tukehduksen palotapahtuma. Järviruon tuhkan määrä ja koostumus näyttävä kuitenkin vaihtelevan melko paljon kasvupaikan mukaan [3]

Mikko Moisalon opinnäytetyössä havaittiin, että järviruokosilpun alhainen irtotiheys (tilavuuspaino) hankaloittaa sen polttokäyttöä hakkeen rinnalla[6]. Ulo Kaskin Cofreen-hankkeen seminaareissa (11.3.2011 ja 8.9.2011) esittämien koetulosten perusteella järviruon polttaminen kortena on haastavaa tai vaatii erikseen korsimaiselle materiaalille suunnitellun polttolaitteiston. Näissä pelletöintikokeissa käytetty järviruoko oli myös tyyppillistä talvikorjattua järviruokoa.

5. Johtopäätökset

Järviruosta voidaan tehdä teknisesti hyviä pellettejä käytettäväksi polttoaineena, kuivikkeena tai kasvualustana, mutta erityisesti polttoainekäytössä ongelmia tulee korkean tuhkapitoisuuden vuoksi enemmän kuin perinteisillä puupelleteillä.

Järviruoko ei ole pienten polttolaitteiden luotettava polttoaine johtuen suuresta tuhkamäärästä, joka helposti aiheuttaa teknisiä ongelmia. Seostaminen pienissä määrin voi tuottaa pienissäkin polttolaitteissa toimivia pellettejä, mutta tuhkapitoisuus on silti riski sekä pelletin tuottajalle että käyttäjälle. Käytettävyydessä korsimaisena tai silppuna järviruossa ilmenee samoja tyyppillisiä ongelmia kuin pellettien poltossa takassa. Pelletti voi kuitenkin vastata matalasta irtotiheydestä aiheutuviin ongelmiin. Käytettävyyden arviointiin suuremmissa laitteissa ja laitoksissa kuitenkin tarvitaan lisätietoa ja kokeita.

Itse pelletöinnin osalta sama koe olisi tarkoituksenmukaista toistaa yhtenäisellä vedenlisällä, jolloin vedenlisän merkitys varmistuisi. Tämän lisäksi alhaisempaa seossuhdetta tulisi testata polttokäytössä. Tämän lisäksi olisi tarpeen määrittää järviruon lämpöarvo ja pääalkuainekomponentit (CHNS) ja tuhkan sulamispiste, jolloin sen käytettävyyttä suuremmissa polttolaitteissa ja laitoksissa voidaan arvioida.

LÄHTEET

- [1]. Kuokkanen, M.; Vilppo, T.; Kuokkanen, T.; Stoor, T.; Niinimäki, J., Additives in wood pellet production - A pilot-scale study of binding agent usage. *Bioresources* 2011, 6 (4), 4331-4355.
- [2]. Ruuhola, T.; Leppänen, T.; Lehto, T., Retranslocation of nutrients in relation to boron availability during leaf senescence of *Betula pendula* Roth. *Plant Soil* 2011, 1-14.
- [3]. Burvall, J., Influence of harvest time and soil type on fuel quality in reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.). *Biomass Bioenergy* 1997, 12 (3), 149-154.
- [4]. Nordin, A., Chemical elemental characteristics of biomass fuels. *Biomass Bioenergy* 1994, 6 (5), 339-347.
- [5]. Peverly, J. H.; Surface, J. M.; Wang, T., Growth and trace metal absorption by *Phragmites australis* in wetlands constructed for landfill leachate treatment. *Ecol. Eng.* 1995, 5 (1), 21-35.
- [6]. Moisalo, M. JÄRVIRUO ON TALVILAADUN HYÖDYNTÄMINEN PAIKALLISENA BIOENERGIANA TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES Turku, 2011.
- [7] Finnish Standards Association (2006). CEN/TS 15210-1:2005 "Solid biofuels. Methods for the determination of mechanical durability of pellets and briquettes. Part 1: Pellets."