

Pilliroo kui kütuse põlemistehnilistest näitajatest



Ülo Kask, Aadu Paist, Maaris Nuutre, Livia Kask, Triin Aavik
TTÜ soojustehnika instituut

Mõjud roostike saagikusele

Energeetilise pilliroo saagikuse uurin-gust [1] selgus, et märgaladel kasvav taimestik on rikkalik ja küllaltki suure biomassi saagikusega. Pilliroo saagi-kus sõltub peamiselt kliimatilistest tingimustest nii kasvu- kui kuivamispe-riodil ning toitainete kättesaadavusest ja niitmise sagedusest.

Roostike saagikust vähendavad tal-vised üleujutused, tormid, veekogude külmumine kõrge veeseisu ajal ja lu-metuisud. Kevadine jäämine kahjus-tas tugevalt roostikke näiteks 2007. aasta kevadel mitmel pool Eestis.

Järve ranna ja jõesuudmealade roos-tike levikut on soodustanud pehmed talved ja keskmine õhutemperatuur tõus ning taimekasvuks piisav toitai-nete kanne alale õhu ja vee kaudu.

Põllumajandustegevuse intensiiv-suse langusega alates 1990. aastatest vähenes toitainete kanne vooluvetega rannaroostikesse. Roostike levikule on kaasa aidanud karjatamise ja niitmise vähenemine rannikualadel. Professio-naalsed katuseroo varujad on tähelda-nud roo saagikuse vähenemist nende peamistelt koristusaladelt, kus on juba viimased kümme aastat niidetud.

Pilliroo töenduslik kasutamine

Tänapäeval kogub populaarsust rooka-tuste valmistamine nii Eestis kui mu-



Joonis 1. Pilliroog.
Figure 1. Reed

jal Euroopas, pilliroost valmistatakse krohvimate ja soojustusplaate, väike-koduloomade allapanu, roopakke öko-majade ehitajatele, kavandamisel on pilliroobriketi ja -graanulite tootmine ning pilliroojääkide lisamine puitkü-tustele väikekatlamajades.

Kütusena kasutamiseks sobivat mär-galataimede biomassi tekib tunduvalt vähem kui näiteks puidu ja energiakul-tuuride oma. Selle põlemistehniliste näitajate, nagu niiskus, kütteväärtus, lendosiste sisaldus, tuhasus ja tuha koostise kohta teave peaaegu puudub. Seda lünka püütaksegi käesoleva ar-tikliga täita.

Pilliroo omaduste muutlikkus

Pilliroo põlemistehnilised omadused, millest oleneb seadmete tööiga (saas-tumine, korrosioon) ja keskkonnamõju (heitmed) varieeruvad olenevalt teguri-dest, mida kirjeldasime esimeses osas. Roo põlemistehnilised omadused va-rieeruvad mõningal määral olenevalt kasvukohast (mere- ja järverannad, jõesuudmealad) kui ka sesoonselt (ko-ristatud kas suvel või talvel) ja seega tuleks energeetilist huvi pakkuvate suuremate roostike pilliroo põlemis-tehnilised omadused igakülgsest läbi uurida. Käesolevas töös esitatakse tu-lemusi roo kohta, mille proovivõtukoht-ade kaart on esitatud varem [1]. Roo põlemistehnilised näitajad on määra-tud TTÜ soojustehnika instituudis ja ENAS Oy-s Jyväskylä, Soomes.

Niiskus

Niiskus vähendab oluliselt kütuse küt-teväärtust, suurendab põlemisgaaside mahtu, halvendab süttimist ning põle-mist. Pilliroo (joonis 1) niiskus on oleneb suuresti aastaajast (joonis 2), saavuta-des looduslikes tingimustes põletus-seadmetele sobiva 18–20-% niiskuse harilikult alles märtsis-aprillis, mõnel

aastal aga ka varem, jaanuaris-veeb-ruaris. Siit järeldub, et kütuseks kasu-tamiseks parima kvaliteediga pilliroo-gu saaks koguda keskmiselt 90 päeval aastas (jaanuarist märtsini).

Kütteväärtus

Pilliroo kütteväärtus Q_p määrati pomm-kalorimeetris (tabel 1). Tabelis antakse lisaks veel roo ülemine Q_u ja alumine kütteväärtus Q_a . Ülemine kütteväärtus on alumisest suurem põlemisel tekkiva veeauru kondenseerumissoojuse võrra. Kui põlemisgaas lahkub põletussead-mest veeauru kondenseerumistempera-tuurist kõrgemal temperatuuril, kasuta-takse alumist kütteväärtust. Inseneri- ja majandusarvutustes on mugav kasuta-da niiske tarbimisaine energiatihedust 20-% niiskuse juures (E_{20}/E_{20}) kWh/kg, kWh/m³ või MWh/m³, MWh/t (vt tabelis 1 viimane). Kütteväärtus sõltub põlevaine hulgast ja keemilisest koos-tisest (tabel 2).

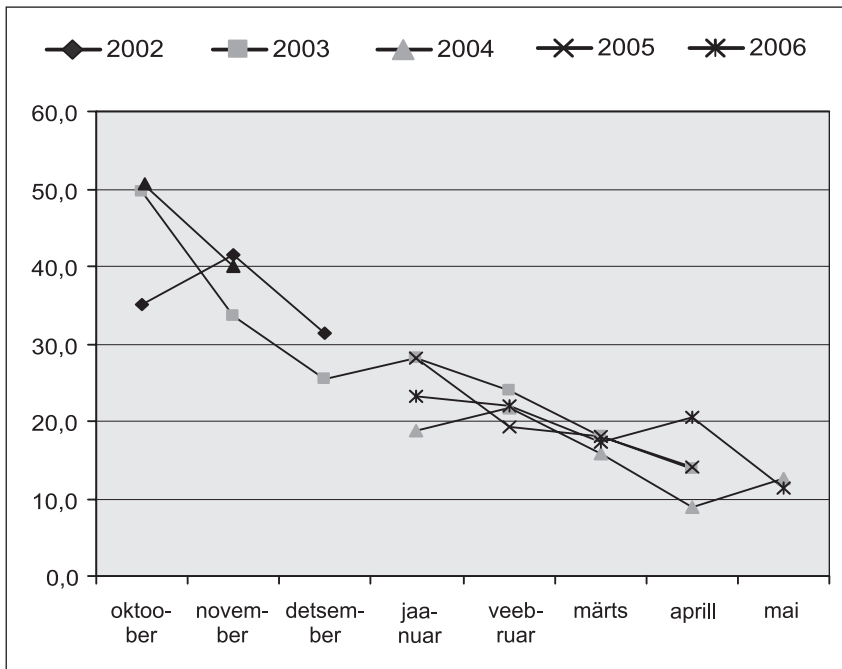
Eestis arvatakse olevat kõrge pro-duktiivsusega roostikke (märgalasid) u 24 000 ha, kust on võimalik saada aas-tas biomassi 5–6 t/ha. Võttes biomassi keskmiseks niiskuseks 20 %, saaksime varakevadel koristatud roo kütteväärtuseks 3,9 MWh/t (tabel 1) ja hektari roostiku energiasisalduseks 19,5–23,4 MWh. Kui koristada roogu 11 300 ha-lt saaksime roost energialisa aastas u 260 GWh.

Elemendikoostis

Rookütuse orgaaniline aine (OA) koos-neb peamiselt süsinikust (C), hapnikust (O) ja vesinikust (H) nagu puitkütus [2], kuid pilliroo OA-s kui iga aasta uut biomassi andvas kütuses on mõnevõrra suurem hapniku- ning väiksem süsini-ku- ja vesinikuisaldus. Talvel koris-tatud rooproovide lämmastiku- (N), väävl- (S) ja kloorisisaldus on väike. Puidu väävlisisaldus on tavaliselt alla 0,05 %. Suvel koristatud roog sisaldab talvel koristatuga võrreldes enam kütusele ebasobivat lämmastikku, väävlit ja kloori (tabel 2).

Tuhasus, tuha koostis

Tuhk kui kütuse põlemisel tekkiv tah-ke jääk mängib olulist osa nii põletus-seadmete kui ka nende abiseadmete valikul ja käitamisel. Talvel varutud



Joonis 2. Pilliroo niiskus oktoobrist maini aastatel 2002–2005.
Figure 2. Reed moisture content dynamics from October till May 2002–2005

Tabel 1. Roo kütteväärtus MJ/kg.
Table 1. Heating values of reed, MJ/kg

Näitaja	Piirid. Range		Keskmine. Average	
	Talvel	Suvel	Talvel	Suvel
Q_p/q_b	18,62–19,16	18,33–18,77	18,92	18,51
$Q_u^k/q_{gr,d}$	18,62–19,16	18,31–18,75	18,91	18,49
$Q_a^k/q_{net,d}$	17,48–18,01	17,02–17,44	17,77	17,21
$Q_a^{20}/q_{net,20}^*$	13,68–14,86	13,16–13,49	14,17	13,31
$E^{20}/E_{20}, MWh/t^*$	3,80–4,13	3,65–3,75	3,94	3,70

*20-% niiskuse juures.

Tabel 2. Kuiva roo elemendikoostis %.
Table 2. The elemental composition of dry reed, %

Element	Piirid. Range		Keskmine. Average	
	Talvel	Suvel	Talvel	Suvel
C	46,96–48,34	46,13–47,11	47,5	46,5
H	5,50–5,60	5,93–6,42	5,6	6,2
O	42,75–43,84	39,7–42,2	43,3	40,7
N	0,23–0,34	0,57–1,17	0,3	1,0
S	0,03–0,09	0,12–0,45	0,04	0,2
Cl	0,05–0,18	0,28–0,48	0,1	0,4

Tabel 3. Rootuha (550 °C) keemiline koostis %.
Table 3. The chemical composition of reed ash (550 °C), %

Komponent	Piirid. Range		Keskmine. Average	
	Talvine	Suvine	Talvine	Suvine
SiO ₂	65,34–85,50	25,90–48,33	77,77	37,10
Fe ₂ O ₃	0,13–0,84	0,17–1,69	0,29	0,70
Al ₂ O ₃	0,1–1,69	0,11–1,12	0,57	0,61
CaO	3,07–7,27	4,02–11,53	4,42	6,84
MgO	0,4–1,45	1,87–4,88	1,22	3,33
Na ₂ O	1,96–9,05	0,87–10,98	3,19	3,61
K ₂ O	0,99–5,69	14,89–31,33	4,26	24,77
Muud	1,57–19,40	17,28–33,50	8,28	23,04

roo tuhasus on 2,1–4,4 %, keskmiselt 3,2 %, suvisel rool aga oluliselt suurem 4,1–6,2 %, keskmiselt 5,4 % (tabel 3).

Suvel ja talvel kogutud pilliroo tuha keemiline koostis erineb oluliselt SiO₂ ja K₂O sisalduse poolest. Talvel kogutud pilliroog oleks oma tuha koostise poolest märksa parem kütus põletusseadmetes kasutamiseks. Suvel kogutud ja kuivatatud pilliroo tuhksisaldab olulisel määral leelismetalle, mis mõjutavad nii tuha sulamist, tuhasadestiste teket küttepindadele kui ka korrosiooni.

Määrati roo tuha makro- ja mikroelementide sisaldus. Mikroelementideks peetakse elemente mille sisaldus on kokkuleppeliselt alla 1000 mg/kg (tavalisel siiski alla 100 mg/kg). Talvel kogutud rootuha elemendisalduse määras ENAS Oy Jyväskylä (tabel 4).

Rootuhas on maakoorega võrreldes oluliselt suurem raskmetallide mangaani ja plii sisaldus, oluliselt väiksem aga kroomi ja nikli sisaldus; vask ja kaadmium on aga samas suurusjärgus. Mangaani on tuhas enam kui maakoore.

Tuha sulamistemperatuur

Sageli käsitletakse sulamistemperatuuri sõltuvana tuha aluseliste komponentide summast või aluseliste ja happeliste komponentide suhtest. Tuha sulamistemperatuur sõltub ka katse keskkonnast: taandavas ja pooltaandavas keskkonnas on sulamistemperatuur üldjuhul madalam kui õhu oksüdeerivas keskkonnas.

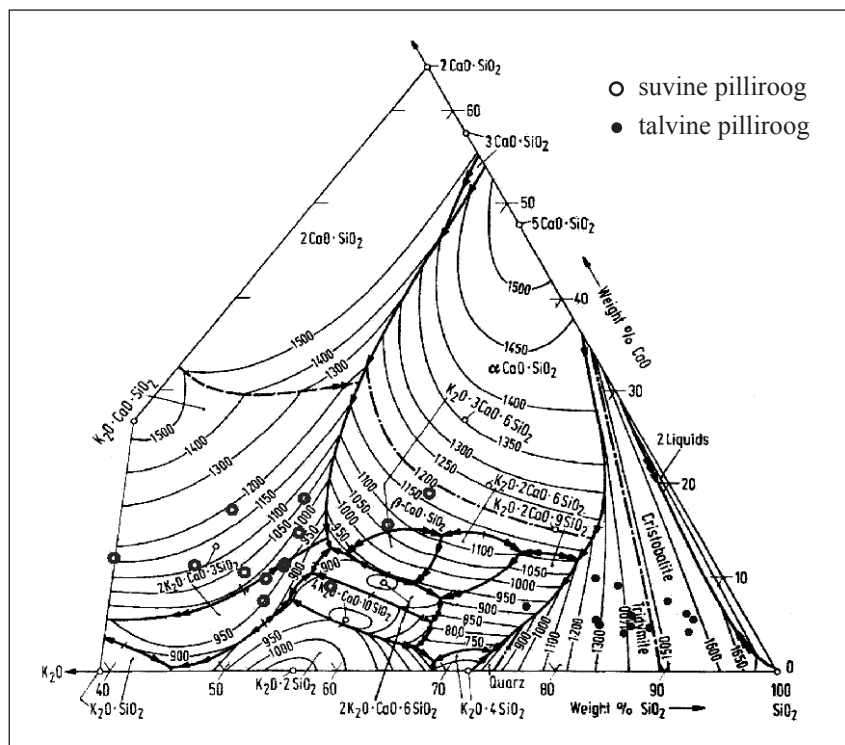
Tuha sulamistemperatuur oleneb nii tema elemendi- kui komponendikoostisest. Talvel ja suvel varutud rootuha võrdleva sulamistemperatuuri määramisel kasutati kõrgetemperatuurilist mikroskoopi MHO2 ja tulemuste fikseerimiseks kuvariga videokaamerat. Videokaameraga jälgiti tuhas valmistatud silindri kujuliste katsekehade kuju muutusi olenevalt temperatuuri tõusust. Proovikeha suurendatakse kuvari ekraanil mitmekümneid kordi, et muutused oleksid täpsemini jälgitavad. Kandsime varem avaldatud kolmikdiagrammile [5] punktidenägemise keemilisel analüüsil saadud punktid (joonis 3).

Raske oleks arvesse võtta ühel diagrammil kõikide komponentide mõju, seetõttu valitaksegi välja olulisemad põhikomponendid. Pillirootuha sulavust mõjutavad peamised komponendid on SiO₂, K₂O ja CaO, mis lubab ka rootuhka vaadelda kolmikdiagrammil sõltuvana nendest komponentidest.

Kolmikdiagrammi koostamiseks summeeriti CaO ja MgO sisaldus. Leelismetallide K₂O ja Na₂O oksiidid,

Tabel 4. Talvel kogutud rootuha elemendisaldus mg/kg.
Table 4. The elemental composition of winter reed ash, mg/kg

Sümbol	Rocca al Mare	Peipsi järv	Saaremaa	Keskmine
Ca	22 400	22 300	22 800	22 500
Mg	5 600	8 000	15 500	9 700
Na	24 900	14 300	70 700	36 633
K	56 000	80 200	35 700	57 300
Mn	1 200	3 700	1 200	2 033
Cd	0,38	0,30	0,73	0,47
Cr	76	30	31	46
Cu	89	30	45	55
Pb	33	36	39	36
Ni	10	9	11	10
Zn	490	140	260	297
S	12 400	13 000	31 800	19 067
Fe	2 100	2 300	1 500	1 967
Al	1 900	1 300	1 200	1 467
P	6 600	5 400	8 600	6 867



Joonis 3. Suvel ja talvel kogutud rootuhakomponentide K_2O – CaO – SiO_2 kolmikdiagramm kantuna [5] avaldatud diagrammidele. Tõlge: weight – mass, cristobalite – kristobaliit (SiO_2 mineraal), quarz – kvarts (SiO_2 mineraal), tridymite – tridimiit (SiO_2 mineraal), 2Liquids – kaksikvedelik.

Figure 3. A ternary diagram K_2O – CaO – SiO_2 [5] and the composition of winter and summer reed ash

mis mõjutavad tuha sulamistemperatuuri kombinatsioonis teiste keemiliste ühenditega, alandavad üldjuhul tuha sulamistemperatuuri. Antud juhul võeti kasutusse nn ekvivalentse K_2O mõiste. Ekvivalentse K_2O kasutamine ($Ekv K_2O = K_2O + 1,56Na_2O$) lihtsustab leelismetallide mõju arvestamist tuha sulamistemperatuurile.

Talvel kogutud rootuha leelismetallide sisaldus on oluliselt väiksem

kui suvel korjatul ja seetõttu ka sulamistemperatuur on oluliselt kõrgem. Korrelatsioon laboratoorselt kõrgetemperatuurilises mikroskoobi abil määratud tuha sulamistemperatuuri ja kolmikdiagrammi isothermid vahel on küllakki hea. See tähendab, et saadud katseandmete punktid paiknevad kohtades, kus on ligilähedaselt sama sulamistemperatuur, mis oli kõrgetemperatuurilises mikroskoobi abil määratud.

Suvel kogutud roo tuha sulamistemperatuur on oluliselt väiksem, seega on kõrgetemperatuurilises leegis põletamisel tuha paakumise ja sulamise oht suur. Samuti on suur oht küttepindade saastumisele kleepuvate tuhaosakeste poolt. Seega saab järelekuivatatud suvist roogu põletada madalatemperatuurilises koldes, aga ka mullivas keevkihtkoldes temperatuuril u 850 °C.

Kütuste põlemisel moodustuv tuhk saastab kolde küttepindu lendtuhaga. Tuhakiht takistab soojusülekanne ja võib kiirendada ka kõrgetemperatuurset korrosiooni. Tuha enam tuntud korrosiooni kiirendavad komponendid on leelismetalli- ja väevliühendid, näiteks nimetatud ühenditest tekivad pürosulfaadid. Siit tuleneb vajadus arvestada rootuhas oleva leelismetallide ja väevli korrodeeriva mõjuga katelde küttepindade ja valida sobiv metall.

Kokkuvõte

Pilliroogu on kütuseks majanduslikult soodsam varuda talvel kui see on väiksema niiskuse (18–20 %) ja tuhasusega (kuivas roos 2,1–4,4 %) kui suvel niidet (vastavalt 40–55 ja 4,1–6,2 %).

Talvel varutud roo tuhk on happeline ja raskesti sulav (SiO_2 u 78 %) erinevalt suvel varutust (sisaldab leelismetalle, eriti kaaliumi), mis on kergesti sulav ja küttepindu korrodeeriv.

Pilliroo kui taastuvkütuse laialdase kasutuselevõtul tuleks kütus varuda nendel talvekuudel, mil roo niiskus on alla 20 %.

Artikli kirjutamisel kasutati andmeid, mis saadi EL-i programmi INTERREG IIIA projekti „Roostike strateegia Soomes ja Eestis“ täitmisel. Täname ka Eesti Siseministeeriumi projekti toetamise eest.

Kirjandus

1. Kask, Ü., Kask, L., Aavik, T. Energeetilise pilliroo saagikus. – Eesti põlevloodusvarad ja -jäätmad, 2006, 1/2, 13–16.
2. Vares, V., Kask, Ü., Muiste, P., Pihu, T., Soosaar, S. Biokütuse kasutaja käsiraamat. Tallinna Tehnikaülikool, 2005. 172 lk.
3. Kask, L., Kask, Ü., Paist, A. Energiakultuuride sobivusest energeetiliste katelde kütuseks. Rmt: Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. VI konverentsi kogumik. Tartu. 2005, 65–76.
4. Ots, A. Põlevkivi põletustehnika. Eesti Energia AS. Tallinn, 2004. 768 lk.
5. Schlackenatlas. Verlag Sthaleisen M.B.H. Düsseldorf. 1981. 66 S.