



JUHISEID PILLIROOÄRIGA ALUSTAMISEKS

JUHISEID PILLIROOÄRIGA ALUSTAMISEKS

Publikatsioon on ilmunud Euroopa Regionaalse Arengu Fondi ja Euroopa Liidu rahalisel toel



Projekti partnerid, peakoordinaatorid ja nende E-maili aadressid:

Turu Rakenduskõrgkool, Anne Hemmi, anne.hemmi@turkuamk.fi

Soome majandus-, transpordi- ja keskkonnaarengu keskus, Iiro Ikonen, iiro.ikonen@ely-keskus.fi

Livia kutsekool, Veli-Matti Jalli, veli-matti.jalli@livia.fi

Tallinna Tehnikaülikool, Ülo Kask, ykask@staff.ttu.ee

Eesti Maaülikool, Jaan Miljan, jaan.miljan@emu.ee

Riia Tehnikaülikool, Aigars Laizans, aigars.laizans@rtu.lv

Vides Projekti



**CENTRAL BALTIC
INTERREG IV A
PROGRAMME
2007-2013**



**EUROPEAN UNION
EUROPEAN REGIONAL DEVELOPMENT FUND
INVESTING IN YOUR FUTURE**

Kõik artiklid kajastavad autorite arvamusi ja Korraldusasutus ei võta endale vastutust trükiste sisu eest.

(Inetrreg IV-A programme, EU investing)

Esikaane fotod: Roostik Loode tammikus (foto: Ü. Kask), (4 väiksemat fotot: M. Miljan)

Toimetaja: Tallinna Tehnikaülikool, Ülo Kask

Koostaja: Eesti Maaülikool, Jaan Miljan

Kujundus: Sirje Keskküla

Trükkija: Salibar OÜ

Trükis on saadav internetis aadressil: <http://www.cofreen.eu>

Reed Strategy project is implementing Interreg IV A – programme between Finland, Estonia and Latvia.

Roo kasutamise edendamise rakendusprojekt Interreg IV A – Soome, Eesti ja Läti vahelise koostöö programmi raames

ISBN 978-9949-484-91-1

Sisukord	6
Eessõna	
Anne Hemmi , Turu Rakenduskõrgkool	8
1. Harilik Pilliroog	
Johanna Myllyniemi, Mari Virtanen , Turu Rakenduskõrgkool	9
2. Roostike kaitsest ja kasutamisest	
Kaja Lotman , Eestimaa Keskkonnaamet, Aleksei Lotman , Eestimaa Looduse Fond	16
3. Roog kui ehitusmaterjal	
3.1. Roo lõikamine ehituseks, roo kvaliteet ja lõikamise tehnoloogia	
Jaan Miljan , Eesti Maaülikool maaehituse osakond	20
3.2. Pilliroo soojuseri juhtivuse määramine Eesti Maaülikooli maaehituse osakonnas	
Martti-Jaan Miljan, Jaan Miljan , Eesti Maaülikool maaehituse osakond	25
3.3. Pilliroo soojuseri juhtivuse määramise Soomes VTT-s	
Rauli Lautkankare , Turu Rakenduskõrgkool	26
3.4. Pillirooga soojustatud seinafragmentide soojusjuhtivuse määramine	
Martti-Jaan Miljan, Jaan Miljan , Eesti Maaülikool, maaehituse osakond	29
3.5. Pillirooga soojustatud püretega katsemaja ehitamine, materjalide ja ajakulu ehituse jooksul	
Matis Miljan, Jaan Miljan, Martti-Jaan Miljan , Eesti Maaülikool maaehituse osakond	32
3.6. Katsemaja pürete soojusjuhtivus	
Martti-Jaan Miljan, Jaan Miljan , Eesti Maaülikool, maaehituse osakond	38

3.7. Pilliroo hallitamiskindluse hindamine	
Rauli Lautkankare, Turu Rakenduskõrgkool	41
3.8. Roogkatuste põletamise katse	
Rauli Lautkankare, Turu Rakenduskõrgkool	45
3.9. Roogkatuse kui lisasoojustuskiht	
Karel Lilleste, Meeli Kams, Eesti Maaülikool, maaehituse osakond	48
3.10. Pilliroo-savi kergplokid	
Kristina Akermann, Eesti Maaülikool, maaehituse osakond	55
4. Pilliroog kui taastuv energiaallikas, seadmed ja tehnoloogiad pilliroo kasutamisel energia tootmiseks	
Ülo Kask, Livia Kask, Tallinna Tehnikaülikool	56
5. Pilliroo tarneahelad, koristustehnika ja tootmisprotsess, vedu ja tarneahela keskkonnamõju, tarneriskid	
Ülo Kask, Livia Kask, Tallinna Tehnikaülikool	75
6. Roost toodetud biogaas	
Veli-Matti Jalli, Livia kutsekool, Ülo Kask, Tallinna Tehnikaülikool, Aigars Laizans, Riia Tehnikaülikool	86
7. Pilliroog kui käsitöömaterjal	
Satu Paananen, Turu Rakenduskõrgkool	93
8. Ärimudel ja roo kasutamise sotsio-ökonoomiline efekt	
Aigars Laizans, Riia Tehnikaülikool	97

Eessõna

Laienevad rooalad Balti mere rannikul esitavad väljakutse nii rannaäärsete piirkondade elanikele kui ka looduse mitmekesisuse säilimisele. Roogu täis alad puhkepiirkondades piki rannikut halvendavad pinnavee kvaliteeti, segavad paadiga sõudmist ja ujumist, tuues välja vajaduse saada roost lahti, seal kus see tekitab probleeme. Teisest küljest teame, et rool on potentsiaali paljudes valdkondades: ta on mittepõllumajanduslik energiataim ja suurepärane ehitusmaterjal.

Kolme aastane koostöö Cofreen projekti ajal teenis roo reklaamimise eesmärgi. Projekti rahastati Euroopa Liidu Balti regioonide Interreg IV A 2011-2013 programmi raames ja seda juhtis Turu Rakenduskõrgkool. Projektis osales 7 partnerit Soomest, Eestist ja Lätist. Projekt Cofreen toetus eelnevate rooga seotud projektide käigus saadud teadmistele pilliroost ja võttis kokku lisandunud uued perspektiivid roo rakendamiseks ja majanduslikult tulusamaks kasutamiseks.

Pilliroo laialdasema kasutamise võimaldamiseks peame esiteks teadma ja tundma probleeme, mis takistavad pilliroo lõikust ja rookasutuse terviklikku planeerimist. Teiseks on vaja teada tarneaheid ja lõpptarbijaid selleks, et välja töötada edukas ja optimaalne tootmismudel. Siiski ei ole alati kõike võimalik mõõta rahalises väärtuses – ärimudelid jäävad kõrvale mitte majanduslikku kasu toovad, kuid ometi meile vajalikud aspektid, mida tuleb siiski hinnata.

Käesolev kogumik pakub võimaluse avardada oma teadmisi pilliroo kasutamisest ja kasutamise eeldustest. Kõik pillirooga seonduv on olnud pikka aega meie huviobjektiks ja väljatöötatud lahendused võimaldavad nii keskkonna kui ka majanduslikkuse seisukohalt rahuldavaid lahendusi. Suurendades inimeste teadlikkust roo biomassi mitmekülgsest kasutus potentsiaalidest avame võimalused konkreetseks äritegevuseks. Selleks, et saaks toimuda laialdaselt heakskiidetud üleminek biokütuste kasutamisele fossiilsete kütuste asemel, on Cofreeni partner organisatsioonid teinud enam, kui ainult reklaaminud seda eesmärki.

Turku 5.6.2013

Cofreen projekti läbiviijate nimel,

Anne Hemmi

Cofreen-projekti projektijuht, (EU Central Baltic INTERREG IVA 2007-2013)

1. Harilik pilliroog

Johanna Myllyniemi, Mari Virtanen,
Turu Rakendusõrgkool

Harilik pilliroog (*Phragmites australis*) on mitmeaastane püstise varrega heintaim. Pilliroo tavaline kõrgus Põhjamaades, on 1 kuni 3 meetrit kuid viljakal pinnasel võib ta kasvada 4, mõnel juhul isegi kuni 7 meetri kõrgeks (Roosaluste 2007, 8). Rohelised ja teravaservalised lehed on pikad ja 1–2 cm laiad. Pillirool on hiigelsuur ja hargnev risoom. On olemas arvukalt erinevaid roo liike, kuid ühel levialal valitsevad tavaliselt sarnased kloonid, mis on välimuselt siiski erinevad. Harilikku pilliroogu aetakse sageli segi kõrkjaga (*Schoenoplectus tabernaemontani*), mis kuulub tarnade liiki (Huhta 2008).

Kasvukohad

Roog on taim, mis kasvab mõõduka ja soojema kliimaga aladel ja eelistab valguserikkaid kohti. Levialad on väga erinevad üleujutatavatest aladest alates kuni üsna kõrgel paiknevate piirkondadeni mäestikes. Talle sobib ka mereranniku vähesoolane või järvekallas- te mage vesi. (Roosaluste 2007, 8). Kasvukohtadeks on ka toitainerikkad sood ja vahel piirkonnad, mis võivad tunduda suhteliselt kuivad (Huhta, 2008). Pilliroog on aeg-ajalt üleujutatavate alade indikaator- taim, kuid pidevat kõrgvett ei talu. Pilliroog moodus- tab tihedaid puhmikuid savise põhjaga madalas vees, kuid kasvab hästi ka liivsavis, mudas ja liivapinnasel (Silen 2007, 6; Ikonen & Hagelberg 2008, 7). Pilliroo juurestik võib kasvada isegi 2,5 m sügavusel, kuid sel juhul peab taim veepinnale võrsumiseks ka- sutama fotosünteesi jaoks palju energiat. Vee süga- vus mõjutab ka taimede veepealsete osade (kasvude) hapniku edastusvõimet: mida sügavamal taim kasvab, seda keerulisem on hapniku transportimine alla juur- tesse. Hinnanguliselt arvatakse, et pilliroo kasvuks optimaalne sügavus ulatub 0,1 kuni 0,8 meetrini (Silen 2007, 6; Ikonen & Hagelberg 2008, 7). Optimaalne vee soolsus on 0-15 psu. Sulfiidide ole- masolu takistab laienemist, kuid teisalt vegetatiivne paljunemine toimub ebasoodsatest tingimustest sõl- tumatult. (Weisner & Strand 2002). Roog on ka ker- gelt happeliste või neutraalsete muldade indikaator-

taim ja ei kasva kunagi tugevasti happelistel mulda- del. Samas kasvavad taimed sageli lämmastikurikkal pinnasel (Ellenberg 1992). Tugev veevool, põud või teised keskkonna häired, ka konkurents teiste liikide- ga, võivad pidurada roo levikut. (Weisner & Strand 2002). Pilliroo hoogsat kasvu rannikumeres soodus- tab veetaseme kõikumise ja rannajää surve hea talu- vus. Taime kõrgus ja sügaval asetsevad juured näita- vad head kohastumise võimet (Ellenberg 1992). Mudases pinnases võib pilliroo tihedus ulatuda kuni 300 võrseni (kasvuala) ruutmeetri kohta, kuid tavalis- elt jääb see arv vahemikku 40 kuni 100 võrset (Jalas 1958) ruutmeetri- le. Soomes võib kuivaine saagikus olla parimal juhul üle 2,0 kg/m², kuid mujal võib saa- gis olla palju suurem (Silen 2007, 7; Ikonen & Hagelberg 2008, 8).

Levik

Harilik pilliroog on üks enimlevinud soontaimede liik maailmas ja kasvab kõikidel mandritel, väljaarvatud Antarktika. Hinnanguliselt on maailmas vähemalt 10 miljonit hektari roostikke (Runnérus 1981) ja tänasel päeval on see arv tõenäoliselt suurem. Näiteks Doonau deltas katavad roostikud 150 000 ha (Björk & Granéli 1980). Soomes on roostike hinnanguliseks suuruseks 100 000 hektarit, Rootsisis arvestatakse sa- masuguse suurusega, ja üksnes Soome lõunaosa kal- lastel on 28 940 hektari roostikke, mis moodustavad 1,03% rannikuäärsete omavalitsuste pindalast. Üks esimesi Soome ja Eesti roostikke puudutav uurimus tehti 2006.a. satelliidilpildi kaardistamise teel. (Pitkänen 2006, 14). Viimastel aastakümnetel on roostike pindala kasvanud, sest rannikualadel karjata- takse loomi vähem. Liigile on olnud kasulik ka vii- mastel aastatel toimunud vee eutrofeerumine (Väre et al. 2004). Pilliroog tundub olevat ohustatud peamiselt juurekahjustuste tõttu (Karunaratne et al. 2004). Ku- nagi on loomade karjatamine ilmselt rooalade suurust mõjutanud, kahjustades võrseid ja juuri, sellepärast pole taim praeguseks suutnud monokultuuriks jääda (Väre et al. 2004).

Pitkänen on uurinud roostikke ka Eesti Väinamere- äärsete omavalitsuste rannikualadel, kus uuritud roos- tikega kaetud alasid loendati ligikaudu 17 000 hekta- ril. See tähendab 1,1% rannikuäärsete omavalitsuste pindalast koos veesüsteemidega (Pitkänen 2006, 47). Euroopa hariliku pilliroo liikide kasvuala on laiene-

nud Põhja-Ameerikasse, Aafrikasse ja Austraaliasse ja paljudes kohtades on see välja tõrjunud algsed kohalikud taimeliigid, kaasaarvatud Põhja-Ameerika omad pilliroo liigid. See on vähendanud looduse bioloogilist mitmekesisust (Väre et al. 2004). Pilliroog moodustab sageli tohutuid monokultuurseid alasid (ühe liigi kasvualasid) ja ta levib jõudsalt uutele aladele. (Ellenberg et al. 1992). Kui pilliroog on uues kasvupaigas alles võimust võtmas, kulub selleks, et roostik kasvaks monokultuurseks tavaliselt aastaid (Güsewell 2003).

Väljaarvatud Põhjamaades, on pilliroo asurkonnad teistes Euroopa osades tugevalt vähenemas. See nähtus kujuneb välja aastate jooksul ning seda nimetatakse “väljasuremiseks”. Eutrofeerumine ja kaldaalade veesüsteemid on selle põhjuseks, kuid mitte ainsateks, sest pilliroog kasvab hästi nii eutroofsete järvede kallastel kui ka kunstlikel märgaladel (nt reoveepuhastites ehk märgalapuhastites), kus on hulgaliselt toitaineid. On leitud ka muid põhjuseid, näiteks loomade karjatamine, üleujutused, maa kasutuselevõtt ja suurenenud soolsus. Tavaliselt on roostikud saanud kannatada linnade läheduses ning teistes asustatud piirkondades (Ostendorp 1989, van der Putten 1997).

Paljunemine

Pilliroo õisik, millest arenevad seemned, on tihe pöör, umbes suure pihupesa suurune. Suurus sõltub oluliselt kasvupaigas valitsevatest oludest. Pöörised ei arene välja ainult kõige ebasoodsamatel aladel, kus pilliroog kasvab elupaiga jäänukina, nagu näiteks kivistel randadel, mida tõenäoliselt uhuvad lained, soodes, põldudel ning metsaservades (Jalas 1958). Pilliroog on tuultolmleja nii nagu teisedki rohttaimed (Valste 2005, 269). Põhjamaades õitseb ta hilissuvel, kuid seemned küpsevad kesktalvel. Idanemisvõimelisi seemneid igal aastal ei teki. Pärast õitsemist vars kõvastub, taim langetab lehed ning vars jääb läbi jää välja paistma. Seemned levivad looduses tuulega piki jää- või lumepinda ehk kantakse hilistalvel või kevadel edasi loomade või inimeste poolt (Paavilainen 2005, 12; Silen 2007, 6; Ikonen & Hagelberg 2008, 7). Pärast jää sulamist jäävad eelmise suve kuivanud varred lainete kanda ja need kuhjatakse vallidena kaldale, kuid vahel võivad ka kuni järgmise kasvuperioodini roostikku kinni jääda. Sageli võib sellistel

kallastel leida seemneidusid (Jalas 1958), kuna neil on puudunud võimalus tihedas roostikus ellu jääda. Seemned vajavad palju päikesevalgust ja saavad hästi kasvada avatud keskkonnas, kus konkurents pole suur (Saltonstall 2003).

Põhjamaades hakkab pilliroog idanema aprillis ning juunis on kasv kõige kiirem. Sellel aja võib pilliroog kasvada üle 10 cm päevas. Juulis kasvamine lõpeb ja roostikud hakkavad õitsema (Silen 2007, 7; Ikonen & Hagelberg 2008, 8). Pilliroo risoomi elutsüklil kestab tavaliselt 5 kuni 7 aastat. Pilliroo seemned on idanemisvõimeliselt vähemalt ühe aasta jooksul. Soomes on idanemisvõime tavaliselt 3 kuni 44%. Pilliroog elab ületalve roheliste uinuvate pungadena, mis paiknevad maa-aluses säilituskoos; seda nimetatakse geofüüdiks (Ellenberg 1992).

Kuid sugulist, seemnetel põhinevat paljunemist esineb harva ja pilliroog paljuneb peamiselt vegetatiivselt oma tugevalt hargneva maa-aluse risoomi kaudu (Roosaluste 2007, 8; Weisner & Strand 2002). Risoomi juured on pikad ja 1 kuni 3 cm paksused. Tavaliselt ulatub juur 5 kuni 35 cm sügavusele, kuid vahel võib see kasvada isegi 60–80 cm sügavusele maa alla. (Ikonen & Hagelberg 2008, 7). Lisaks on pillirool peened ning üle poole meetri pikkused vertikaal- ja horisontaaljuured. Risoom annab ligikaudu kaks kolmandikku pilliroo biomassist, mõnikord isegi 80 % (Isotalo et al. 1981). Sellise risoomiga pilliroog võib kasvada kuni mitu meetrit aastas. Sügav vesi võib takistada vegetatiivset paljunemist (Weisner & Strand 2002). Veepealsed kasvud võivad kasvada risoomist kuni 10 meetri kaugusele (Ikonen & Hagelberg 2008, 7). Sellele lisaks kogub ja salvestab pilliroog toitaineid risoomi. Neid kasutatakse kevadel kasvamise alustamiseks ning keskkonna mõjul tekkinud ootamatute stressiolukordade üleelamiseks on need elulise tähtsusega (Graneli et al. 1992).

Keemilised mõjud

Pilliroo paljunemist võivad käivitada sellised mehhanismid nagu kuivendamine, kui sulfiidide kontsentratsioon väheneb, isegi siis, kui soolsus ei muutu. Pilliroog ise saab tõhusalt mõjutada sulfiidide kontsentratsiooni eriti setete ülemistes kihtides varustades seda nn rõhu all hingamise kaudu hapnikuga. Pilliroog on võimeline vähendama vesiniksulfiidide kontsentratsioone sette poorides olevas vees, kui ta trans-

pordib hapnikku oma juurtele ja suurendab vee eraldumist pooridest õhku. Kui taim on viga saanud, siis ta võime seda vanade kasvudega teha väheneb ja kahjulike väävl- ning lämmastikuühendite kogus juurte ümbruses suureneb. (Bart & Hartman 2000). Stressirohked tingimused vähendavad taime võimet pinnasest lämmastikku omastada, nõrgestades pilliroo energiaahelat (van der Putten 1997).

Taimed, mis kasvavad madala hapnikutaseme tingimustes, suudavad oma elulisi funktsioone mitmel viisil kohandada neile vastavaks, mistõttu pinnakasvudega veetaimed suudavad üleujutusi taluda. Nende hapnikutarve on juurte tõhusaks metabolismiks ja anatoomiliseks kohanemiseks tavaliselt väike, nagu näiteks *aerenchyme* käsnyas kude, mille kaudu taim saab transportida gaase veepealsetest kasvudest juurtesse ning vastupidi (Armstrong 1978). Taimedele on tähtis see, et nad suudaksid juurte ümbrust kohe hapnikuga rikastada, sest sel moel saavad nad hoiduda mürgiste ainete omastamisest pinnasest. (Gries & Garbe 1989). Pilliroo võime transportida veepealsetest kasvudest hapnikku oma pinnases kasvavatesse juurtesse väheneb, kui vesi sügavamaks muutub Eutrofeerumine suurendab sette vähenemise taset ja mõjutab roostike kasvamist eriti sügavamas vees. Eutrofeerumine suurendab varte tihedust, vähendab koore stabiilsust ja soodustab niitjate vetikate juurdekasvu võimalusi roostikus. (Schröder 1979)

50-protsendiline pilliroomassi lagunemine kestab mõnest kuust mõne aastani sõltuvalt kliimast, hüdroloogilistest tingimustest taime enda koostisainetest (Pokorny & Kvet 2003). Eutrofeerunud vees stimuleerib taimemassi lagunemist mikroobide tegevus. Selle tagajärjel võib tekkida hapnikupuudus, vähene oksüdeerumis-redutseerumis potentsiaal ja lõpuks must põhjasete, mis eraldab õhku metaani, vesiniksulfiidi ja ka vees lahustunud fosforit (Manila 2006).

Ökoloogia

Pilliroog on kõige enam levinud märg- ja rannikualadel kasvav liik üle kogu maailma. Kuna pilliroog on nii laialt levinud paljudes kohtades ja mõnes kohas väga rohkelt kasvav, on tal märkimisväärne mõju rannikualade ja muude piirkondade ökosüsteemidele ja organismidele. Roostikualad on looduse ja vee- ja maastike oluline osa. Pilliroog on ökoloogilisest seisukohast võttes kasulik taim (Huhta 2008, 5), teisest

küljest aga suudavad ainult vähesed rohttaimed võistelda pilliroo tiheduse ja levikuvõimega. Kõrge ja tiheda kasvuga pilliroog vähendab kasvulavale langeva valguse hulka ja seeläbi teiste taimeliikide ellujäämise võimalusi. Lagunenud pilliroog moodustab tihedaid risukihte, mis takistab teiste liikide võrsustumist. Ka agressiivselt laienev risoom piirab teiste taimede levikut. (Roosaluste 2007, 8–9). Peale selle vähendab roostike levik paljude kaldal elavate loomaliikide ellujäämise võimalusi.

Kaldaäärne taimestik, kaasaarvatud pilliroog, toimib maalt uhutud toitainete filtrina. Tihe taimestik hoiab toitained ja tahke aine seal, kus vaja. Veepinna kohal hoiab roostik enne lõplikku vette langemist osaliselt kinni valgust leiduvaid aineid. Samas takistab taim ummiklainetuse tekitatud erosiooni ning seetõttu jääb toitaineid sisaldav põhjasete paigale ja seda ei uhuta lahtisesse vette, mis suurendaks seal hapnikku tarbiva orgaanilise aine koormust (Eloranta 2005, 26–27; Kääriäinen & Rajala 2005, 251).

Pilliroo kasutamisel inimeste vaba aja sisustamiseks on omad plussid ja miinused. Tihedad roostikud varjavad maastikuvaateid, tekitavad veekogu kallastel ebameeldivat haisu ja takistavad ujumist ning paadiga sõitmist. Seevastu pakuvad roostikud varju naabrite pilkude eest ja võivad olla suurepärased huviretkede sihtkohad laudteede ja linnuvaatlustornidega. Avalikes randades võib roostikke pidada takistuseks, väljaarvatud need puhkealad, kus elutseb mitmekesine linnustik (Ikonen & Hagelberg 2008, 22). Taimikasvu hoogustumine ja veekogude kinnikasvamine on osaliselt seotud iga järve või mere kaldal toimuva veesüsteemi loomuliku muutumisega. Pilliroo niitmine parandab kaldamaastikku ja puhkevõimalusi, kuid see pole vee kvaliteedi parandamise seisukohalt ainus vajalik tegevus. Niitmine võib piirata paljude loomaliikide võimalusi, kes vajavad eluks roostikke. Pilliroo niitmisel tuleks leida kõige kasulikum ja tasakaalustatum variant, mille puhul roostikud ja niidetud alad vahelduvad.

Roostik elupaigana

Mitmele liigile on roostike laienemine olnud kasulik ja mõned neist on leidnud roostike levides isegi uued elupaigad. Looduse bioloogilise mitmekesisuse seisukohalt on kõige olulisem tagada roostiku mosaiiksus, kus veesilmad vahelduvad roopuhmastega, sest

roostiku struktuursus tagab mitmekesise rooelustiku (Ikonen & Hagelberg, 2008, 16). EL looduse direktiiv hõlmab nt kiile ja rabakonni, liike, kes tahavad elada roostikesse moodustunud veesilmades (Ikonen & Hagelberg, 2008, 16), kusjuures nahkhiired ja saarmad, kes kuuluvad samuti direktiivis nimetatud liikide hulka, saavad rootukkasid kasutada varjupaigana (Erkinaro et al. 2007, 30–31).

Roostikud pakuvad elupaiku ka vetikatele. Pilliroo varre pinnal elab suurel hulgal vees hõljuvaid vetikaid, kes saavad toitaineid otse veest, vähendades eutrofeerumist ja pakkudes varju zooplanktonile röövsaagiks langemise eest ning kaotades seega fütoplanktonit. Kui roostikud maha niidetakse, siis tasakaal muutub. Sel juhul jääb fütoplanktonile rohkem toitaineid ja vetikate õitsemine kasvab. Seda on isegi palja silmaga näha, kuna sinivetikad, mis kuuluvad fütoplanktoni hulka, on hakanud mitmel pool vohama. Madalaveelistes järvedes võib niitmine aidata kaasa fütoplanktoni hoogsamale kasvule ka seetõttu, et vette jõuab rohkem valgust. (Eloranta 2005, 26–27; Kääriäinen & Rajala 2005, 251)

Linnud

Roostikud on olulised elupaigad erinevatele linnuliikidele. Veelinnud kasutavad roopuhmaid pesitsus-, toitumis-, ja puhkamispaigana. Rooalade laienemine Põhjamaades on lisanud elupaiku pilliroost sõltuvatele lindudele. Möödunud sajandil jooksul on roostikus elutsevate linnuliikide arvukus Põhja-Euroopas suurenenud ja nende linnuliikide populatsioon, kes varem roostikes pesitsesid, on kasvanud. Vastupidiselt Kesk- ja Lõuna-Euroopale, kus tänapäeval on roostikke vähe ja mitmete roostikes pesitsevate liikide arv on märkimisväärselt vähenenud. Roostik on paljusid linnuliike kaitsev pesitsuskeskkond, kus leidub rohkesti toitu. Roostikuga kaetud eutrofeerunud lahed on olulised elualad erinevate kala- ja putukaliikide jaoks mitmekesistades seeläbi veelgi lindude toidulauda. Parim elukeskkond erinevaid linnuliike silmas pidades on erineva kõrguse ja tihedusega roopuhmad vaheldumisi lahtise veega. Kui märgala moodustavad madala taimkattega rannaniidud koos roostikega, siis on selle väärtus oluliselt suurem (Below & Mikkola-Roos, 2007, 24).

Erinevat tüüpi roostikke asustavad erinevad linnuliigid. Mõnel liigil, nagu näiteks hüübil, on pesitsemi-

seks vaja väga suurt territooriumi, samas on teistele liikidele oluline, et rooalad oleksid mosaiiksed, sest enamuse neist lindudest elab taimestikuga kaetud alade servas, roostiku ja vabavee piiril. Selliste liikide hulka kuuluvad tuttpütt, sarvikpütt, must lauk, kes ehitavad oma madalad koonusekujulised pesad roo- taimedest roostiku serva või hõredasse roopuhmasse. Samas eelistavad raskesti ligipääsetavaid ja märgi roostikke roo-loorkull ja tait (tiigikana). Rootsitsitajad armastavad pesitseda kuivas roostikus, märjas ja risustunud roostikus neile eriti ei meeldi. Kui roostunud lahtedes on pesitsemiseks sobivad saarekesed, siis sobib koht ka naerukajakale. Roohabekad pesitsevad merelahtede suurtes roostikes. Roostikud on olulised elupaigad ka väikepüttidele, soopartidele, soo-loorkullidele ja väikehuigile. Kuldhänilane pesitseb luhtade ja roostike vahealadel, kusjuures pesa ise on sageli roostikus (Below & Mikkola-Roos, 2007, 24–26).

Roostikega kaetud lahed on ka rändlindude jaoks olulised paigad. Tuhanded Põhjamaadesse pesitsemisaladele suunduvad või sealt tagasi lõunasse talvituma lendavad linnud kogunevad sellistesse lahtedesse. Põhimõtteliselt on need samuti linnud, kes tavapärastel elavad roostikes, kuid on ka linde, kes eelistavad pesitsemiseks teisi keskkondi, kuid peatuvad seal selleks, et varjulises kohas toituda ja puhata. Nende hulka kuuluvad paljud roolinnud, kõrkja-roolinnud ja sinirinnad. Roostik on ka varjumiskohaks sulgimise ajal. Talvel kasutavad paljud liigid, nagu näiteks sini-tihased, roohabekad ja rootsitsitajad roostikes leiduvaid seemneid ja putukaid toiduks (Below & Mikkola-Roos, 2007, 27–28). Kui veetase langeb ja roostikud kasvavad lagunemisprotsessi tagajärjel väga tihedaks, siis linnuliikide arvukus väheneb. Hüübid, roo-loorkull ja pardid (alamperekond *Anatinae*) on kõige nõudlikumad roostikes pesitsevad liigid. Ka vabaveeliste rannikuluhtade linnuliigid satuvad raskesse olukorda, kui rooalade laienemise ja pesitsustingimuste muutuse tõttu, mis sunnib linde minema mujale. (Below & Mikkola-Roos, 2007, 26)

Kalad

Roostikualad on elupaigaks ja paljunemiskohaks paljudele kalaliikidele. Kalad, kes toituvad nii zooplanktonist kui põhjaelustikust, leiavad sealt toitaineid ja paljud röövkalad, nagu näiteks haug, peab

sealses taimestikis jahti. (Kääriäinen & Rajala 2005, 251). Balti mere rannikualadel on roostikud olulised levimisalad kalaliikidele, sest need pakuvad kaitstud kohti kudemiseks ja maimude jaoks. Parimad alad kalamaimudele on varakult soojenevad, tiheda taimkattega ja laia roostikuga kaldad, kus soolsus on madal. Muid vegetatiivselt soodsaid kohti varakevadel Läänemere põhjaosas pole. (Kallasvuo et al. 2011, 13). Tavaliselt leidub roostikuga kaetud kallastel kümne erineva kalaliigi järglasi. Karplased moodustavad kõige tähtsama grupi, kuid roostikud on olulised paljunemisalad ka haugile ja lutsule (Kallasvuo et al. 2011, 1).

Lutsud vajavad eelmise aasta mahalangenud pilliroogu. Talvel luts koeb jõgede suudmealadel, kust kalamaimud liiguvad jääsulamise ajal kaldaroostikku. Vettelangenud pilliroog on hea elupaik zooplanktoni jaoks, mis on kalamaimudele oluline toit. (Härmä 2007, 46). Kui uus pilliroovöönd hakkab aprillis-mais kasvama, kooruvad särje, ogaliku, latika ja ahvena maimud. Juunis ilmuvad roosärje, latika, viidika ja mudila maimud uute pillirookasvude vahele. Kõige rohkem on kalamaime juuni alguses (Kallasvuo et al. 2011, 6–7).

Putukad

Roostikes elab palju putukaid ja mõned neist liikidest on rohkearvulised, nagu nt ühepäevaliblikad, kiilid, sääsed ja puruvanad. Liblikate ja mardikate hulgas on mitmed liigid, kelle eelistusi elutingimuste kohta roostikes eriti palju pole uuritud. Kuid suur putukate kontsentratsioon roostikualadel on oluline toiduallikas paljude kalade, lindude, nahkhiirte ja ämblike jaoks (Mannerkoski et al. 2007, 36).

Roostikes ja nendega piirnevatel rannaniitudel elab rohkearvuline ja mitmekesine liblikaliikide populatsioon. Mõned neist on oma elupaiga suhtes väga nõudlikud, samas kui teised lepivad peaaegu igasuguse märgalaga, kus on piisavalt toitu. Liblikate jaoks on parimad elupaigad hõredad roostikud, mille aluspinnas on suhteliselt kuiv ja kus esineb palju muid rohttaimi. Roostikuga seotud liikide hulgast on kõige nõudlikum ohustatud ööliblikas, keda võib kohata üksnes kuiva aluspõhja ja hõreda pilliroo kasvuga keskkondades ning suurte roostike madala kasvulistes osades. Tihedates ja kõrgetes roostikes liblikaliike palju pole, kuid need liigid, kes seal elavad on

rohkearvulised. Nende hulka kuuluvad mitmed ööliblikad ja leediklased. Tihedatel omavahel ühendatud roostikualadel elavad ööliblikad (*Phragmataecia castaneae*). Vees kasvavates või perioodiliselt üleujutatud roostikes elavad ainult mõned liblikaliigid, kes on märgade tingimustega kohanenud. Roostikega piirnevatel luhtadel elab ilmselgelt rohkem liblikaid. Puruvanad kasutavad mitmeti ära võimalusi, mida roostikud pakuvad, sest tihe roostik kaitseb hästi lainetuse eest. Vastsete jaoks on oluline pilliroo varre tükikestest koja ehitamine. See vähendab kalade ja röövputukate poolt põhjustatud kisklussurvet (Mannerkoski et al. 2007, 39).

Hariliku pillirooga seotud mardikaliike pole just palju leitud. Kaks kõige selgemini roogu kui toitu kasutavat liiki kuuluvad *Chrysomelidae* mardikate perekonda. Lisaks eelistavad mõned röõvmardikad elada eelkõige roostikes. Siiski on roostikud olulised märksa suuremale mardikate grupile. Mitmed vähem kohanenud liigid, keda võib leida rohkem tarnade, hundinuiade ja soolarohu taimedel, elavad ka roostikes. Teisest küljest avaldab roostike levimine kahjulikku mõju paljudele liikidele ja isegi mardikate populatsioonidele. Avatud ja madalakasvulistel rannaniitudel elab mitmekesine mardikate populatsioon, kuid kui taimestik hakkab tihenema, kaovad need liigid üsna kiiresti. Mitmed vees elavad mardikaliigid taluvad tihedaid roostikke aga hästi ja need võivad olla nende jaoks soodsad elupaigad, vaatamata sellele, et roo kasvamise algusfaasis tekivad varjulised vabavee alad (tiigid). (Mannerkoski et al. 2007, 36)

Kirjandus

Armstrong, J. 1978. Root aeration in the wetland condition, p. 269-297. Book: Hook DD, Crawford RMM (ed) Plant life in anaerobic environments. Ann Arbor Scientific Publication.

Bart, D., Hartman, J. 2000. Environmental determinants of *Phragmites australis* expansion in a New Jersey salt marsh: an experimental approach. Oikos 89: 56-69.

Below, A., Mikkola-Roos, M. 2007. Ruovikoiden ja rantaniittyjen hoidon merkitys linnuille. – Book: Ikonen, I. & Hagelberg, E. Ruovikot ja merenrantaniitty. Luontoarvot ja hoitokoke-muksia

Etelä-Suomesta ja Virosta. Lounais-Suomen ympäristökeskus. Turku.

Björk S. & Granéli W. 1980. Energivass, rapport etapp I, Projektresultat NE 1980:12, Nämnden för energiproduktionsforskning, Stockholm, p 77, in: Ellenberg, H., Weber, H.E., Dull, R., Volkmar, W., & Paulissen, D. 1992. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta Geobotanica 18:1-258.

Eloranta, P. 2005. Järvien kunnostuksen limnologiset perusteet. In: Ulvi, T., Lakso, E. Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.

Eriksson, P., Weisner, S. 1998. An experimental study on effects of submersed macrophytes on nitrification and denitrification in ammonium-rich aquatic systems. In: Limnology and Oceanography 44(8) 1993-1999.

Erkinaro, M., Nieminen, M., Sulkava, R., Terhivuo, J. 2007. Ruovikoihin liittyvät luontodirektiivin liitteen IV eläinlajit Suomessa. Book: Ikonen, I. & Hagelberg, E. Ruovikot ja merenrantaniityt. Luontoarvot ja hoitokokemuksia Etelä-Suomesta ja Virosta. Lounais-Suomen ympäristökeskus. Turku.

Graneli W., Weisner S., Sytsma M. 1992. Rhizome dynamics and resources storage in: *P. australis*. Wetl. Ecol. Managent 1: 239-247.

Güsewell, S. 2003. Management of *P. australis* in Swiss Fen Meadows by Moving in Early Summer. – Wetlands Ecology and Management 11 (6): 433-445.

Huhta, A. 2008. Rantojen kaunistus vai kauhistus – järviruo'on (*Phragmites australis*) merkitys vesien laadulle. Turun ammattikorkeakoulun puheenvuoroja 41. Turku.

Härmä, M. 2007. Ruovikot kalojen lisääntymisalueina rannikkovesissä. Book: Ikonen, I., Hagelberg, E. Ruovikot ja merenrantaniityt. Luontoarvot ja hoitokokemuksia Etelä-Suomesta ja Virosta. Lounais-Suomen ympäristökeskus. Turku.

Ikonen, I., Hagelberg, E. 2008. Etelä-Suomen ruovikkostrategia. Esimerkkeinä Halikonlahti ja

Turun kaupungin rannikkoalueet. Lounais-Suomen ympäristökeskus. Turku.

Ikonen, I., Hagelberg, E. 2007. Ruovikot ja merenrantaniityt. Luontoarvot ja hoitokokemuksia Etelä-Suomesta ja Virosta. Lounais-Suomen ympäristökeskus. Turku.

Isotalo, I., Kauppi, P., Ojanen, T., Puttonen, P., Toivonen, H. 1981. Järviruoko energiakasvina. Vesi-hallitus, tiedotus numero 210.

Jalas, J. 1958. Suuri kasvikirja 1. Järviruoko p. 349-352.

Kallasvuo, M., Lappalainen, A., Urho, L. 2011. Coastal reed belts as fish reproduction habitats. Boreal. Env. Res. 16: 1 – 14.

Karunaratne, S., Asaeda, T., Yutani, K. 2004. Shoot regrowth and age-specific rhizome storage dynamics of *Phragmites australis* subjected to summer harvesting. Ecological Engineering 22: 99-111.

Kääriäinen, S & Rajala, L. 2005. Vesikasvillisuuden poistaminen. Book: Ulvi, T., Lakso, E. Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.

Mannila, J. 2006. Metaani – se toinen kasvihuonekaasu. Helsingin Sanomat 21.11.2006.

Mannerkoski, I.; Nupponen, K.; Rinne, A., Nieminen, M. Ruovikoiden hyönteiset. Book: Ikonen, I., Hagelberg, E. Ruovikot ja merenrantaniityt. Luontoarvot ja hoitokokemuksia Etelä-Suomesta ja Virosta. Lounais-Suomen ympäristökeskus. Turku.

Native genotype of the common reed, *Phragmites australis*, into North America. – Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA 99: 2445-2449.

Paavilainen, P. 2005. Järviruo'on hyötykäyttö kosteikoissa haja-asutuksen jätevesien ja maatalouden valumavesien puhdistuksessa. Opinnäytetyö. Turku: Turun ammattikorkeakoulu. Kestävä kehitys.

Pokorny, J. & Kvet, J. 2003. Aquatic plants and lake ecosystems. P. 309-340. Teoksessa The Lakes Handbook vol 1. Blackwell Publishing.

Pitkänen, T. 2006. Missä ruokoa kasvaa? – Järviruokoalueiden satelliittikartoitus Etelä-Suomen ja Viron Väinämeren rannikoilla. Turun ammattikorkeakoulun puheenvuoroja 29. Turku: Turun ammattikorkeakoulu.

Roosaluste, E. 2007. The reed itself. Teoksessa: Ikonen, I. & Hagelberg, E. Reed up on reed. Lounais-Suomen ympäristökeskus. Turku.

Saltonstall, K. 2002. Cryptic invasion of the non-Native genotype of the common reed, *Phragmites australis*, into North America. – Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA 99: 2445-2449.

Saltonstall, K. 2003. Recent Research on *Phragmites australis* in North America: Implications for Management. Proceedings of the Aquatic Invaders of the Delaware Estuary Symposium, Malvern, p. 12-15.

Schröder, S. 1979. The decline of reed swamps in lake Constance. Symposium, Biologia Hungaria 19: 43-48.

Valste, Juha 2005. Suomen luontotieto A-Kar. Porvoo: WSOY.

Van der Putten, W. 1997. Die-back of *P. australis* in European wetlands: an overview of the European Research Programme on the Reed Die-Back and Progression (1993-1994). Aquatic Botany 59: 263-275.

Väre, H., Erävuori, L., & Degerman-Fyrsten, A. 2004. Veden varassa, Suomen vesiluonnon monimuotoisuus. p. 113-188. Edita, Helsinki.

Weisner, S. & Strand, J. 2002. Handbook of Lake Restoration, Ecology and management of plants in aquatic ecosystems, pp 243-256. Perrow, R. & Davy, A. Cambridge University Press

2. Roostike kasutamisest ja kaitsest

Kaja Lotman, Eestimaa Keskkonnaamet, Aleksei Lotman, Eestimaa Looduse Fond

Ulatuslikud, kevadeti kuldsed rooalad on väärtuslikuks elupaigaks paljudele liikidele. Roostikud on ka looduse isepuhastusvõime tagajad, seetõttu, et pilliroo veesisesed juured tarvitavad toitaineid otse veest. Roostike liiga intensiivse kasutamine või rooalade pidev vähendamine võib viia teatud liikide elupaikade kadumisele ja veekogude isepuhastusvõime vähenemisele. Samas on ka neid liike, kelle elupaiku roo vohamine ohustab. Lisaks tuleb arvestada, et pilliroog on samuti väärtuslik taastuv ressurss. Seetõttu on tasakaalu leidmine roostike ja teiste loodusväärtuste kaitse, samuti roo kasutamise ja kaitse vahel väga tähtis.

Roostikud on levinud nii mageveekogudes kui ka riimveelises rannikumeres. Pilliroog asustab küllaltki kiiresti tiigid ja kraavid ning muud veekogud. Pilliroog on kohanenud elama nii madalas vees kui ka aeg ajalt üleujutatud maismaal. Roostik, mille väljakasvanud varsi ei kasutata, võib pikapeale muutuda hõredaks. Vanale, kõdunemisfaasis roovartele (roomatile) kujuneb uus vegetatsioonikiht ja sinna võib kasvama hakata põõsastik. Pikaajalise puutumatu roostiku puhul on täheldatud roostikuga kohanenud liikide elupaiga kvaliteedi langust. Aegade jooksul on inimesed roostiku mitmeti kasutanud. Mõõdukas roo niitmine katuste tegemiseks või muuks otstarbeks on rooväljad korras hoidnud ja säilitanud ka roostiku linnustikule head pesitsustingimused. Kuidas siis tagada roostiku hea hooldus ja kaitse, mis tagaks elurikkuse ja looduse isepuhastusvõime ning kvaliteetse tooraine inimestele?

Eesti õigusruumis pilliroo kasutamist reguleerivad seadusaktid.

Säästva arengu seadus (RT I 1995, 31, 384), mis määratleb taastuva loodusvara mõiste, nimetab, et säästva arengu tagamiseks, tuleb Vabariigi valitsusel määrata looduvarena kasutatav ja kriitiline varu. Paraku ei ole säästva arengu seadust kuigi järjekindlalt täidetud ja pilliroog on üks neid taastuvaid ressursse, mille suhtes ei ole selle kasutamise ulatust riiklikult sätestatud.

Seega ei ole roo kasutust reguleeritud otseselt muul viisil kui looduskaitseseaduse (RT I 2004, 38, 258) kaudu kaitsealadel või veekogude kaldavööndi kasutamisega seotud tegevuste piiramisega. Roostiku eemaldamise planeerimine toimub pool-looduslike koosluste määratlemise abil, mille eesmärk on valdavalt tagada alade jätkusuutlik karjatamine või niitmine ja seega pikemas perspektiivis roostiku kadumine nendelt aladelt. Pool-looduslike alade levikuga on võimalik Eestis tutvuda Maa-ameti avalikus kaardirakenduses (<http://xgis.maaamet.ee/xGIS/XGIS> >looduskaitse ja natura>pool-looduslikud kooslused).

Veeseadus (RT I 1994, 40, 655) määratleb Eestis veekaitsevööndi, mis on erinevatel veekogudel 10-20 m ulatusega veepiirist. Veekaitsevööndis on majandustegevus keelatud. Siiski on seadust 2010. aastal täiendatud pilliroo lõikamise lubamisega.

Eesti looduskaitseseaduses on kaitsealade enim reguleeritud osadeks sihtkaitsevööndid (veel rangemalt on kaitstud loodusreservaadid, kus aga regulatsioon on lihtne: looduskasutus on täielikult keelatud). Looduskaitseseadus võimaldab sihtkaitsevööndis koosluste kujundamist vastavalt kaitse-eesmärgile, sealhulgas võib kaitse-eeskirjaga lubada ka roo varumist. Kui aga roo varumist ei ole kaitse-eeskirjas käsitletud, on sihtkaitsevööndis roovarumine keelatud. Vähem reguleeritud vööndis – piiranguvööndis - on ei ole lubatud roo varumist külmumata pinnaselt, kui eeskiri seda ei sätesta. Ehk siis kui kaitseala kaitse-eeskiri piiranguvööndis roo varumist ei nimeta, siis võib roogu varuda vaid külmunud pinnaselt.

2004. aastast looduskaitseseadusega (RT I 2004, 38, 258) Eesti looduskaitse õigusruumi toodud hoiualadel ei reguleerita roo varumist otseselt, kuid on kehtestatud üldine regulatsioon hoiuala kaitse-eesmärgiks olevate elupaikade kaitseks. Meil on hoiualasid, mille kaitse eesmärgiks on tagada elupaik roostikulindudele, näiteks hüübile, roo-loorkullile jt. Seega tuleks neil aladel roovarujatel arvestada asjaoluga, et kuigi ei ole vaja taotleda roovarumiseks luba valitsejalt, võib valitseja tegevuse keelata, kui roovarumisega kahjustatakse või häiritakse oluliselt kaitsealuseid liike.

Nii kaitsealadele kui ka hoiualadele koostab Keskkonnaamet kaitsekorralduskavad. Neis dokumentides tuuakse välja alade kaitse väärtused ja väärtusi ohustavad tegevused ning väärtuste säilimiseks vajalikud tegevused. Selleks, et vältida arusaamatusi ametivõimudega, tuleks pilliroo kasutamisest huvitatud ettevõtjatel osaleda kaitsekorralduskavade kaasamiskoosolekutel või hankida omale roovarumispiirkonna kohta piisavalt infot kaitseala režiimi, väärtuste ja lubatud tegevuste kohta.

Eestis kasvab roog nii eraomanike maal kui riigi maal, sh ka veel lõpliku omanikuta reformimata maal. Pilliroog kui maatükil kasvav väärtus kuulub maaomanikule. Pilliroo puhul ei ole tegemist seente või marjadega, mida võib vabalt korjata ka eramaal, kui omanik ei ole oma maad nähtavalt piiranud. Seetõttu tuleks roovarujal saada maaomanikelt nõusolek. Riigile kuuluvate maade volitatud asutused võivad olla näiteks Riigimetsa Majandamise Keskus või Maa-amet. Reformimata maade osas annab kasutuseõiguse maavanem, kui tegemist on pool-looduslikuks alaks või põllumajanduslikuks maaks määratletud maaga. Muudel juhtudel ei ole maavanemale maakasutuseks õigusi volitatud.

Euroopa Liidu (EL) looduskaitsega seostud direktiivid

Roostik kui omaette elupaigatüüp ei ole loetletud EL loodusdirektiivi I lisas

(www.natura2000.envir.ee/files/doc/elupaigad.pdf).

Samas on väär tõlgendada seda nii, et roostikke Natura 2000 võrgustiku raames kaitsma ei peaks, sest see on mitme loodusdirektiivi I lisas nimetatud elupaigatüübi loomulikuks osaks. Siinkohas tuleb kindlasti nimetada selliseid elupaigatüüpe nagu jõgede lehtersuudmed (1130), rannikulõukad (1150*), laiad madalad abajad ja lahed (1160) ning looduslikult rohketoitelised järved (3150). Rannaniitudel (1630*) ja teistel pool-looduslikel kooslustel laiutav pilliroog on aga kehva hoolduse tunnuseks. Linnudirektiivi I lisa (www.natura2000.envir.ee/files/doc/eestilinnud.pdf) nimetab mitmeid liike, kes on spetsialiseerunud roostikus elamiseks: hüüp, roo-loorkull, roohabekas, rootsiitsitaja jne. Teisalt aga on selles nimestikus ka selliseid liike, kellele nende elupaikade roostumine on oluliseks ohuteguriks, näiteks niidurüdi või tutkas.

Seega sõltub roostiku staatus Natura 2000 aladel konkreetsetest loodusväärtustest ja sellest, mida seal kaitstakse. Roostikuga seotud kaitstavatele lindudele sobivad eelkõige ulatuslikud rooalad, mis kasvavad madalas vees. Kõige paremaks roostiku indikaatorliigiks võib pidada hüüpi.

Hüüp (*Botaurus stellaris*) kui hea roostiku indikaatorliik

Milline on hüübi elupaigaks vajalik roostik:

1. Madalad lamedapõhjalised, mageveelised veekogud, kus vesi suvel ära ei kuiva;
2. Vähemalt 20-25 ha ühtlast roostikku, kus esinevad väikesed sügavamad lombikesed, kuid ala ei ole võsastunud;
3. Väiksemad rooalad sobivad vaid sel juhul, kui nad on seotud suurema roostikusüsteemiga;
4. Väikeste veesilmade süsteem peaks moodustama vähemalt 20% roostikust, et tagada hüübile piisav toidubaas. Hüübid toituvad valdavalt 15 m laiusel roopiiri serval, seega peaks roostik olema mosaiikne ja vahelduma roovabade kalarikaste veesilmadega;
5. Toitumispiirkonna sobiv veesügavus on 10-25 cm;
6. Veekogu vesi ei tohiks olla liialt toiteline.

Hüübi olemasolu ja arvukust roostikus hinnatakse häälitsevate isalindude loenduse abil. Videvikus aktiveeruvad isalinnud ja tekitavad hääli, mis meenutavad tühja pudelisse puhumist, püüdes sellega ligi tõmmata emalinde. Kuna hüübile vajalik roostikustruktuur sobib ka paljudele teistele roostikega kohanenud liikidele (roo-loorkull, rooruik jne), siis häälekate hüüpide arvu hindamine annab hea ülevaate roostiku võimaliku elurikkuse kohta.

Vaatleme, kas inimeste huvi roo niitmiseks ja kasutamiseks on võimalik ühildada elurikka roostiku kujunemisega. Hüüp elab päris hästi aladel, kus roogu niidetakse kas üle aasta või üle 3 aasta. Seetõttu tuleks jälgida, et pilliroogu ei niidetaks ulatuslikel aladel igal aastal samas kohas. Hüübi jaoks on oluline ka madala vee ja avatud rooaukude mosaiik, mis ülekasvamata rooaladel on enamasti ka olemas. Joonisel 1 - Elurikas roostik - on toodud

välja aspektid, mis tagaksid nii roostiku elupaigarikkuse ka kui hea rannikuhoolduse rannaniidu karjatamisel. Sellist maastikku saab kujundada koostöös rooniitjatest ettevõtjatega. Ka paljude teiste liikide puhul on täheldatud, et nende arvukus on eriti kõrge roostikuservas veepiiril. Samas aga ei ole mõtet seada liigseid piiranguid kuival maal kasvava roo niitmise osas, kus pigem tuleks soosida niitude taastamist.

Nõuded roostiku kasutamiseks kaitsealadel

Roostiku kasutamise aeg

Elurikaste roostike puhul peaks siseriiklik looduskasutuse seadusandlus reguleerima rookasutust selliselt, et pesitusajal roostikku ei kasutata ja sellega jäetakse võimalus lindudel rahulikult kasvatada järeltulevat põlve.

Eesti tingimustes muudavad sügisvihmad veekogude kaldad väga pehmeks ja mootorsõidukite sõitmine võib lõhkuda roostiku ümbruse kamardunud niidulad ning roo risoomistik; mootorsõiduk võib jääda kinni ja tekib oht kütuste lekkeks. Seetõttu on Eestis valdavalt looduskaitsealadel keelatud roo niitmine külumata pinnaselt või jäätumata veekogult. Laiade kummidega Seiga-tüüpi niidukid on küll oluliselt väiksema erisurvega pinnasele kui tavalised traktorid. Käesoleval ajal õiguslik regulatsioon siiski ei arvesta alati uuemaid tehnilisi lahendusi.

Oluline on jälgida, et juba niidetud ja nt vihkudesse köidetud pilliroog saaks ka õigel ajal kõrgemale kohale välja viidud, sest kevadised üleujutused võivad saagi ootamatult ära rikkuda.

Kuidas niita?

Kvaliteetne elurikas roostik on mosaiikne, vaheldub veesilmadega ja vana roog (murdunud ja kõdunevad varred) ei ladestu paksu kihina. Seetõttu tuleks rooalasid hooldada selliselt, et jagada roo niitmisalad üle aasta või iga 3 aasta tagant niidetavateks aladeks. Lausniitmise alad ei tohiks olla liiga ulatuslikud, üle 20 ha. Tihti juhtub ka ilmastikuolude tõttu nii, et igal aastal ei saagi roogu niita seetõttu, et ei ole piisavalt

külm talv jääkatte moodustumiseks või on lumikate liiga paks ja lumi vajutab roo kõveraks. On ka talvisid, kus jäätumine toimub mitmekihilisena ja ka sel juhul on roo niitmine ja kättesaamine üsna keeruline või isegi võimatu.

On väga oluline, et niidetud roog tuleb võimalikult kiiresti niitealalt ära viia, et ei koguneks roopahna, mis takistab järgmisel aastal niitmist, vähendab pilliroo kvaliteeti ja võib rikkuda elukeskkonda.

Looduskaitsetöös on ette tulnud, et rooniitjad ei ole hooaja lõpetamisel teinud korralikku paiga ülevaatus ja alale on jäetud vihkude sidumise nööre, õlikanistreid või muid töövahendeid ja -riistu. Selline lohakus on lubamatu ja võib saada takistuseks järgmistel aastatel riigimaadel roostikualade kasutamislepingute saamisel. Riigimaadel võib rooniitmise lepingu täitmist kontrollida riigimaa volitatud asutus. Roolubade tingimuste täitmist võib kontrollida Eesti tingimustes Keskkonnaamet ja rikkumisi menetleb Keskkonnanispeksioon.

Äriliste eesmärkidel roovarumise ja looduskaiste nõuete vahel võib leida teatud koostöövõimalusi, kuid välja võib tuua vastuolud, mis jäävad:

- Lühike roovarumise aeg (mõni kuu aastas, sest külmunud pinnase tekkimist talvel on keeruline ette ennustada);
- Palju roogu tuleb kasvama jätta (poolel kuni kahel kolmandikul pinnal niidetavas roostikus), mistõttu niitmise kulusid tuleb kalkuleerida hoolikalt. Teine põhjus võib olla, et sobivat roogu (eriti oluline ehitusroovarumisel) ei saa niitjale meelepärasel ajal või mõnel aastal üldsegi niita, kuna ilmaolud ja jääolud ei võimalda;
- Lõigatud roog tuleb niitealalt ära viia.

Paljud leiavad, et looduskaitse ja majanduslike eesmärkidega roovarumine siiski ei sobi kokku. Teisalt on roostike hooldamine vajalik ka nende elustikule ja ühiselt tuleks leida kompromissid, mis tagaksid loodusväärtuste säilimise ja keskkonnasõbraliku toorme varumise. Hea tahte korral on see võimalik.



Joonis 2.1. Elurikas roostik (joonistanud Elen Apsalon, idee Ilona Lepik)

Kirjandus

Eestis esinevad linnudirektiivi liigid.
www.natura2000.envir.ee/files/doc/eestilinnud.pdf

Eestis esinevad loodusdirektiivi elupaigatüübid.
www.natura2000.envir.ee/files/doc/elupaigad.pdf

Looduskaitseseadus RT I 2004, 38, 258

Säästva arengu seadus RT I 1995, 31, 384

Veeseadus RT I 1994, 40, 655

3. Roog kui ehitusmaterjal

3.1. Roo lõikamine ehituseks, roo kvaliteet ja lõikamise tehnoloogia

Jaan Miljan, EMÜ maaehituse osakond

Pilliroog kui uuenev ja looduses laialt levinud orgaaniline ehitusmaterjal on uurijate huviorbiiti sattunud just viimasel ajal, seoses energia kokkuhoiu ja säästva ehitamise teema päevakajalisusega.

Pilliroogu on aegade jooksul ehituses kasutatud põhiliselt katusekatteks. Alates 20-sajandi esimesest poolest valmistatakse roost krohvi alusmatte ja 1930 aastate lõpust ka rooplaate. Käesoleval ajal on roogu üha enam hakatud kasutama ka müratõkke- ja soojusisolatsiooniplaadina. Lagede ja seinte soojustamiseks saab kasutada roopakke või lahtist roogu.

Pillirookõrre hea isolatsiooniomaduse tagavad seest õõnsad ja endas õhku hoidvad varred. Vars ei ima ka vett ega niiskust, mis võimaldab roogu kasutada puit- ja palkmajade täiendaval soojustamisel, kusjuures säilib palkmaja peamine eelis – toimub auru ja õhu difusioon läbi seina.

Ehitusroogu võib lõikama hakata detsembris või jaanuaris, mil roog on kuivanud ja lehed maha varisenud ning pinnas on külmunud ja veekogud on jäätunud. Koristatav rookõrs peab olema ühe aasta vanune, mis tähendab, et eelmisel aastal peab olema roog koristatavalt alalt maha lõigatud. Lõikus ja roo väljavedu kestab kuni aprilli keskpaigani, sõltuvalt lindude pesitsusperioodi algusest, roo saagikusest ning ilmastiku tingimustest. Näiteks ei saa roogu lõigata siis, kui on lumerohke talv, veekogude jääkihi paksus pole piisav, puhub tugev tuul ja sajab lund või vihma.

Kaasajal koristatakse enamuse ehituspilliroost masinatega, sest nende jõudlus on sadu kordi suurem, kui käsitsi koristades. Koristusmasinate efektiivsus on erinev. Masina suurusest sõltub

mitu inimest seal korraga töötama peab ja ka koristatud kahlude arv tunnis. Rookombaini tööpõhimõte on, et roog lõigatakse, seotakse kahlu ning kahlud kas jäävad koristusalale maha ja korjatakse kokku hiljem või korjatakse kahlud kohe lõikusmasina või selle taha haagitud platvormi peale. Eestis tegutsevast kümnest küsitatud rooga tegelevast firmast (tabel 3.1) on neljas kasutusel Itaalias toodetud väiketraktor BCS 662. Kolmes ettevõttes kasutati Ungaris toodetud rookombaini Seiga (joonis 3.1). Lisaks kasutati ka mitmesuguseid erinevatest seadmetest ise kokku monteeritud koristusmasinaid (joonised 3.2 ja 3.3). Kaheksast erinevast lõikusmasinast viis olid ehitatud nii, et lõikuriga oli kokku monteeritud platvormhaagis, mille peale koguti saak. Kombain Seiga ja enamus isetehtud masinaid võimaldavad kahludesse seotud roo platvormidele koguda ja sealt edasi transportivahendile laadida või koristusala lähedale maha kallutada.



Joonis 3.1. Rookombain Seiga



Joonis 3.2. OÜ Järveroog rookombain BCS heedriga rajatraktoril Paan a (foto: K. Akermann)



Joonis 3.3. poola Reeda rookombain BCS heedriga (Reeda Reed 2013)



Joonis 3.4. Thatched Roof OÜ ise ehitatud rookombainid (fotod: Reedroof 2010)



Tabel 3.1. Rookombainide võrdlus (Valge 2010)

Kombain ja tootja/omanik	Kasutusel Eestis	Võimsus kWh	Kaal kg	Kasutatav kütus	Liikur-osa	Ujuvus	Korjab roo kokku	Lõikur	Tunni tootlus kahludes	Tööliste arv masinal
BCS 662 (Itaalia)	5	7,5	240	D	Rattad 2x2	-	-	BCS	1000	1
Thatched roof 1	1	30,8	1900	D	4x4	-	+	BCS	4000	2...3
Thatched roof 2	1	25	2500	D	2x2	-	+	BCS	3000	2...3
Paana Järveroog OÜ	1	85	3000	D	Roomik	-	+	BCS	1800	2
Volvo BV-202 Rooekspert OÜ	1	108	2500	D	Rattad	-	+	BCS	4000	2...3
Tractor and cutter	2			D	4x4	-	-	BCS	1000	1
Seiga 4x4 (Ungari)	3			D	4x4	+	+	BCS	4000	3...6
Tractor, ZAZ engine and cutter FIE V. Hargats	1			B	-	-	-	Grain harvester	1000	1

Eesti tingimustesse sobivat masinat kusagil Euroopas ei toodeta, kuid küsitlustulemuste põhjal sobib meile kõige rohkem rookombain Seiga. Sellega saab roogu koristada nii jää pealt kui ka madalast veest ja soiselt pinnaselt. Kombain on suure jõudlusega ja roog kogutakse kohe ka kokku. Seiga miinuseks on tema kõrge hind.

Kõige enam kasutati BCS lõikurit monteerituna erinevate traktorite külge (joonised 3.3 ja 3.4).

Masinaga koristades on võimalik valida kahe sorteerimisviisi vahel: kas koristuskoha lähedal või kuivas laoruumis.

Lõigatud lahtine kuiv pilliroog on soovitatav transportida kohe lattu ja sorteerida ning siduda kahludesse seal. Kahlu täpne mõõt saavutatakse rookahlu sidumise pinki (joonis 3.5) kasutades. Ühes kahlus peaks olema ühesugune roog, st pikka kõrt lühikesega, koonilist mittekoonilisega, ei tohiks segamini pakkida. Üks pillirookahl on u 63 cm ümbermõõduga ning sõltuvalt nõudmisest 100–220 cm pikk ja kahe nööri (üks 10 cm, teine 50 cm kaugusel kahlu alaosast) kimpu seotud. Kuiva pilliroo kahl kaalub umbes 4 kg. (Sooster 2006).



Joonis 3.5. Rookahlude sidumise pink, vasemal Eestis, paremal Lätis (fotod: J. Miljan)



Joonis 3.6. Pilliroo kahlud hakkides Pape järve ääres (foto: M. Miljan)

Roogu võib ladustada lõikusala lähedal maapinnale asetatud aluspuudele. Märg roog riidastatakse või pannakse hakkidesse (joonis 3.6). Roog kuivab kõige paremini vabas õhus. Riidad ja hakid tehakse tuulistes kohtadesse. Riida pealmine kiht asetatakse kaldu, et vihmavett maha juhtida. Selle meetodi eeliseks on, et roogu saab kohapeal puhastada ja sorteerida ning alles seejärel kahludesse siduda.

Roog, mis ei vasta nõuetele jäetakse lõikusalale lihtsalt maha. See hoiab kokku nii aega kui ka raha, sest transportitakse ainult kasutuskõlblikke kahlusid rannalt otse ehitusplatsile (Sooster 2006).

Teine võimalus on, et koristusmasinal seotud kahlud viiakse lattu ja seotakse sorteerimiseks ja puhastamiseks lahti seal. Pilliroog puhastatakse prügist, lehtedest ja lühikestest kõrtest enamasti käsitsi. On siiski võimalik kasutada ka elektri- või diiselmootori poolt ringiaetavat võlli, mille külge on kinnitatud ogadega rull, mis roobib pilliroolt õisikud ja lehed (joonis 3.7).



Joonis 3.7. Traktori mootori abil ringiaetav roo puhastamise seade

Koristatud kuiva roogu säilitatakse pikema-ajaliselt laos. Ladustamise ja transpordi hõlbustamiseks pakitakse rookahlud ruloonidesse (joonis 3.8) ja kinnitatakse terasplekkklindiga. Ruloonis on pillirookahlud 25 või 50 kaupa ca 235 cm pikkuses pakis.

Roogu ladustades võib ruloone panna üksteise peale kuni kuus kihti. Kuivas laos säilib roog aastaid. Laos peab õhk kindlasti liikuma.

Pilliroo kui ehitusmaterjali kvaliteedinäitajad sõltuvad mitmetest teguritest: roo kasvukohast,



Joonis 3.8. Pilliroo ruloonid laos (foto: M. Miljan)

koristamise ajal valitsenud ilmastikutingimustest, koristamise tehnoloogiast, sorteerimise kvaliteedist, kuivatamisest ja säilitamisest. Soojustusmaterjalina kasutamisel sõltub töö tulemus ka paigaldamise kvaliteedist.

Kuigi aega säästvam on sorteerida roog platsil lõikuskoha lähedal ja vähemväärtuslik roog sinna lihtsalt maha jätta, siis materjali säästlikuma kasutamise seisukohast lähtudes on otstarbekam ära kasutada

kogu lõigatud pilliroog, mistõttu peaks seda sorteerima kvaliteedi järgi.

Roo sorteerimise kohta on N. Räikkönen kirjutanud: Esimese sordi roog on erekollane, kasvab ühtlaste tihedate puhmastena, mille taimed on sirge kõrrega. Kvaliteetne rookõrs on alt otsast pisut punakas. Lähtudes neist parameetritest jagatakse roog nelja sorti alates esimese sordi roost, mis sobib katuse katteks ja peab olema ühtlane struktuurilt, u kaks meetrit kõrge ja alt otsast mitte suurema läbimõõduga kui 5–6 mm. Materjal ei tohi sisaldada mullust roogu. Teise sordi roog võib olla pisut pikem kui kaks meetrit ja materjalis võib leiduda pisut ebakvaliteetset roogu.

Pilliroopuhmastest, mis on kas liiga kõrged või tihedad või sisaldavad kehva materjali, katuse katmiseks roogu ei saa. Selline pilliroog loetakse neljanda sordi rooks. (Räikkönen 2007: 17–22).

Madalasordilist roogu võib hekseldada või purustada ja seejärel pressida plokkideks või kasutada lahtiselt soojustusmaterjalina. Roohaket, mis jääb üle rooplaatide servde sirgeks lõikamisel,

saab kasutada samal moel. Kui roojääke ei ole võimalik soojustusmaterjalina kasutada võib neist pressida brikette ning pelleteid ja kasutada kütteks. Tugevaim roog kasvab toitainete vaesel liivapinnasel. Enamgi veel, parim roog kasvab kontinentaalse kliimaga aladel, kus külm pakaseline talv vaheldub sooja suvega. (cp. R. Rodescu: Das Schilfrohf). On oletatud, et silikaatide kõrge kontsentratsioon ja lämmastiku madal tase pinnases omab positiivset efekti roo kestvuse seisukohast vaadatuna. Teadusuuringud selles vallas käivad nii Saksamaal kui ka Hollandis (Hiss Reet 2013).

3.2. Pilliroo soojuserijuhtivuse määramine Eesti Maaülikooli maaehituse osakonnas

Martti-Jaan Miljan, Jaan Miljan, EMÜ maaehituse osakond

Andmeid tööstuslike ehitusmaterjalide soojuserijuhtivuse kohta väljastavad neid tootnud ettevõtted ja kinnitavad sõltumatud laborid. Looduslike materjalide kohta leidub andmeid kirjandusallikates, aga toodud väärtused on sageli väga erinevad. Nii tekib projekteerijatel alatasa küsimus, missugust looduslikku materjali iseloomustavat näitajat võib pidada usaldusväärseks ja kasutada piirde soojusjuhtivuse arvutamiseks.

Selleks, et võrrelda kohalike looduslike soojusmaterjalide, eelkõige pilliroo, kui Cofreen projekti raames uuritava materjali, soojuserijuhtivust tööstuslike materjalide vastavate näitajatega, tehti Eesti Maaülikoolis katsed selle määramiseks.

Mitmete materjalide, sealhulgas ka pilliroo, soojuserijuhtivust (λ) määrati maaehituse osakonna ehitusfüüsika laboris. Katse sooritamiseks kasutati kliimakambrit, katseseina elementi, andmesalvestajat, soojusvooplaate ja kuut termopaari ning erinevaid soojusisolatsioonimaterjale. Soojuserijuhtivuse määramiseks paigaldati kliimakambri ukseavasse katseseina element. See koosnes kahest kokkuliimitud 50 mm vahtpolüstüreenplaadist (joonis 3.9), mille sisse oli lõigatud avaus suurusega 300 x 300 mm ja mis täideti seejärel uuritava materjaliga. Kliimakambri poolt oli avaus suletud jäiga 2 mm paksuse plaadiga, silikooni ja veekindlat teipi kasutades. Ruumipoolne jäik 2 mm plaat kinnitati veekindla teibiga ja toestati lisataks kahe punkttoega. Kokku uuriti 20 erinevat looduslikku materjali, nende hulgas ka pilliroohaket ja pilliroomatti.

Soojuserijuhtivuse λ määramiseks mõõdeti järgmised näitajad:

q – soojusvoog läbi termiliselt homogeense katsekeha (SV) [W/m^2];

T_e – kliimakambri temperatuur [$^{\circ}\text{C}$];

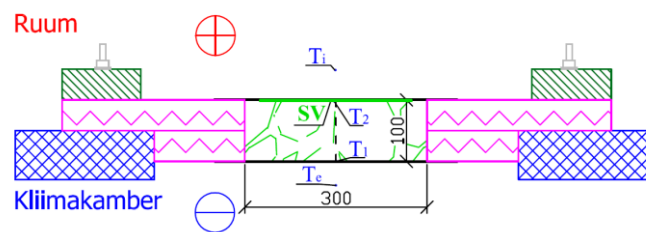
T_1 – soojusisolatsioonimaterjali välispinna temperatuur [$^{\circ}\text{C}$];

T_2 – soojusisolatsioonimaterjali sisepinna temperatuur [$^{\circ}\text{C}$];

T_i – ruumi temperatuur [$^{\circ}\text{C}$].

$$U = \frac{q}{T_i - T_e}$$

Soojusvoogu mõõdeti soojusvooplaadiga ja temperatuuri termopaaridega. Mõõteseadmete asukohad on näidatud joonisel 3.9.



Joonis 3.9. Katsekeha ja mõõteseadmete paigutus elemendis (joonis: M-J. Miljan)

Kuna soojuserijuhtivuse üheks oluliseks iseloomustajaks on materjali tihedus, siis leiti see vastavalt EVS-EN 1602:1999 nõuetele. Seejärel määrati katseseinas olnud katsekehade soojuserijuhtivuse näitaja λ (tabel 3.2) (Miljan, M-J., Miljan, J. a 2012)

Tabel 3.2. Kliimakambris katsetatud erinevate soojustusmaterjalide tihedus ja soojuserijuhtivus

Materjal	EPS	Isover vill	Kanepi kiud	Laastud	Roo-hake	Lina-kiud	Roo-plaat	Sae-puru	Termoliit
Tihedus, kg/m ³	17	50	38	69	76	109	118.6	197	254
Soojuserijuhtivus λ (W/mK)	0.038	0.04	0.079	0.047	0.074	0.050	0.070	0.062	0.066

Katsetulemused ei pruugi olla absoluutväärtustena väga täpsed, aga leitud soojuserijuhtivuse näitajad on erinevate materjalide lõikes võrreldavad ja annavad sellistena ülevaate nende soojapidavatest omadustest. Nagu tabelist 3.2 näha, on tehismaterjalide soojuserijuhtivus enamasti väiksem, kui looduslikel materjalidel.

Erinevused ei ole aga märkimisväärselt suured. Saadud tulemused soojuserijuhtivuse kohta, tekitasid huvi uurida pilliroo soojustusomadusi realselt eksisteerivas seinas, sest üldiselt on teada, et materjalide soojusjuhtivus tegelikkuses erineb soojusjuhtivusest katsetingimustes.

3.3. Pilliroo soojuserijuhtivuse määramine VTT-s Soomes

Rauli Lautkankare, Turu Rakenduskõrgkool

Paljud inimesed on kuulnud, et pilliroog on hea soojusisolatsiooni materjal, kuid enamasti ei oska keegi öelda, kui hea just.

Kuna kirjandus- ja internetiallikad pakuvad välja väga erinevaid pilliroo soojuserijuhtivuse väärtusi, siis tehti uuring, mille eesmärgiks oli määrata pilliroo kui soojustusmaterjali standardiseeritud soojuserijuhtivuse näitaja λ (tabel 3.3).

Katsed sertifitseeritud tulemuse saamiseks viidi läbi Soome Riiklikus Tehnilises Uurimiskeskuses (Technical Research Centre of Finland).

Raportid tulemuste kohta on saadaval soomekeelsena (test report nr VTT-S-01023-12) ja ingliskeelsena (test report number VTT-S-01338-12). Tulemuste põhjal võib väita, et pilliroo soojuserijuhtivus on väike ja seega on tegemist hea isolatsioonimaterjaliga. Pilliroo soojuserijuhtivuse λ väärtused

tabeli 3.3 paremal poolel on vahemikus 0,049–0,058 W/mK.



Joonis 3.10. VTT-s uuritud katsekeha nr 1 (foto: raportist nr VTT-S-01023-12)

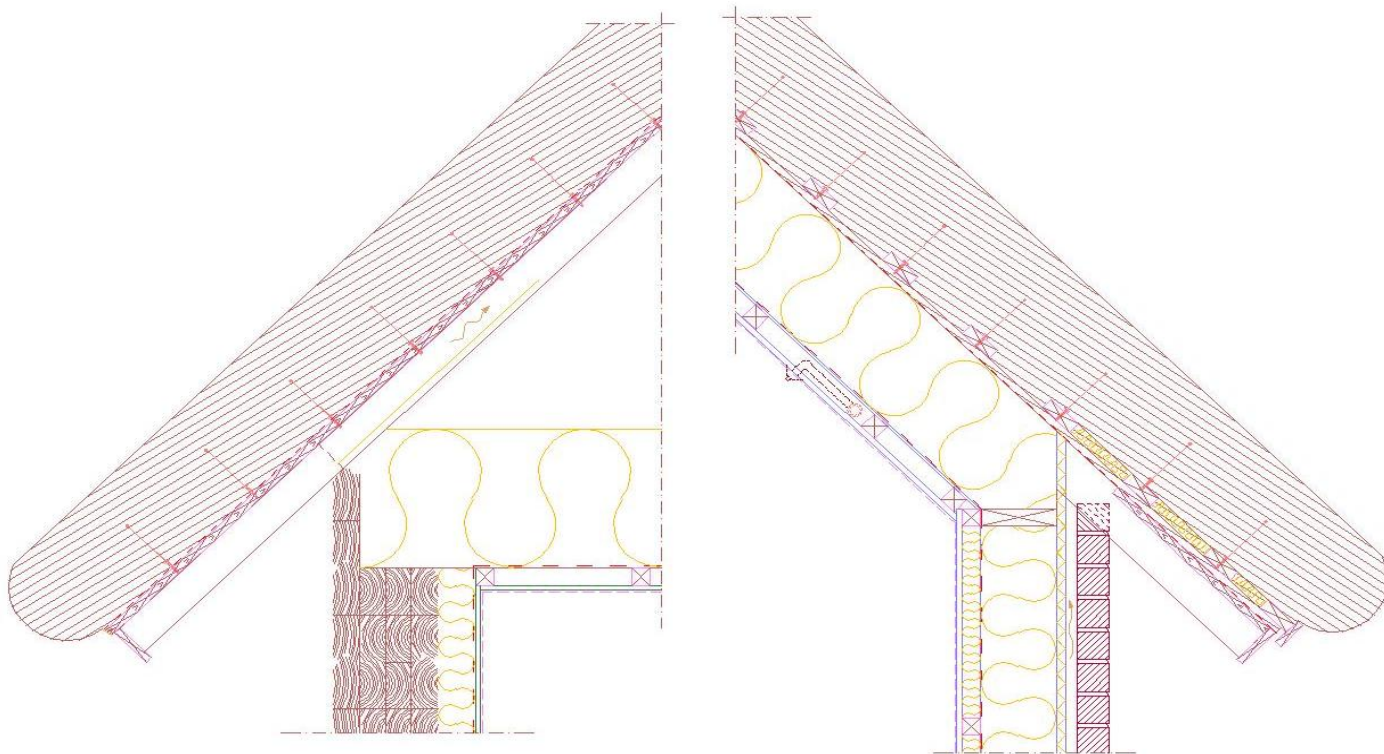
Tabel 3.3. Pilliroo soojuserijuhtivus (EN 12667)

Katsekeha number	Katsekeha paksus (mm)	Märg tihedus/niiskuse sisaldus Kuiv tihedus ρ / w (kg/m ³) / (%-kuivkaalust)	Temperatuuri miin T_m (°C)	Temperatuuri erinevused ΔT (K)	Soojusvoo tihedus q (W/m ²)	Soojustakistus R m ² K/W	Soojusjuhtivus λ_{10} W/(m·K)
1 / 1	146.4	92.2 / 9.8	9.96	20.06	7.90	2.54	0.0577
1 / 2	147.0	88.2 / 10.3	9.96	20.07	7.91	2.54	0.0580
1 / 3	146.7	95.2 / 9.2	9.96	20.07	7.52	2.67	0.0550
Keskmine	-	91.9 / 9.8	-	-	-	2.58	0.0570*
2 / 1	134.1	87.1	10.01	20.00	7.62	2.63	0.0510
3 / 1	147.0	90.2	9.97	20.08	6.92	2.90	0.0507
3 / 2	144.7	93.9	9.96	20.06	6.81	2.95	0.0491
Keskmine	-	92.1	-	-	-	2.93	0.0500

* At equilibrium moisture content after conditioning at +22 °C / 50 % RH.
The estimated uncertainty of the heat conductivity measurements was $\pm 3\%$.

Kui nüüd võrrelda pilliroo soojuserijuhtivust mineraalvilla soojuserijuhtivusega, mis on 0,032–0.038 W/mK, siis näeme, et erinevus on u 1,5 kordne. Teiste sõnadega 300 mm pilliroost soojustuskiht on vähemalt teoreetiliselt sama tõhus, kui 200 mm mineraalvillast soojustuskiht. Roogu on võimalik ehituses kasutada mitte ainult soojustuseks, vaid ka heliisolatsiooniks vahelagedes või seintes. Pilliroogu saab kasutada nii tervete

kõrtena kui hekseldatuna, pallituna või plaatideks pressituna (nn berger plaadid). Siiski kasutatakse ehituses roogu kõige rohkem katuste katmiseks. Pilliroog sobib nii kaasaegsete elamute kui ka vanade majade katusekatteks. 30 cm paksune roog on märkimisväärne isolatsioonikiht, mis hoiab hoonet soojana talve ajal ja jahedana suvel.



Vana katusekatte katmine või asendamine rooga

KATUSE KONSTRUKTSIOON

Pilliroog 300 mm, $\lambda = 0,055 \text{ W/mK}$

Vana katusekatte (nt bituumen)

Ehitusplaat

Kandekonstruktsioon

Õhuvahe

Soojustus

Õhu- ja aurutõke

Roovid sammuga 400 mm

Kipsplaat või mõni muu tuletõkke materjal

Viimistluskiht

KATUSE KONSTRUKTSIOON UUELE HOONELE

Pilliroog 300 mm

Roovid 32 x 100 mm, c/c 350 mm

Õhuvahe

Tuletõkke kiht

Sarikad 300 x 100 mm, c/c 1200 mm

Soojustus. 300 mm, $\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$ (arvutuslik)

Õhu- ja aurutõke

Ehitusplaat

2-kordne kipsplaat või 1 kiht tulekaitseplaati

Viimistluskiht

Soojusjuhtivus $U = 0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Joonis 3.10. Näide ventileeritavast ja mitteventileeritavast katuse konstruktsioonist (joonis: R. Lautkankare)

Mittetuulutatav konstruktsioon ei kuiva sama paksu soojustuskihi korral välja nii kiiresti kui tuulutatav konstruktsioon. Mittetuulutatav katuselahendus on

parem lähtudes tuleohutusest ja energiakulutustest, sest roog on efektiivne soojusisolatsiooni materjal.

3.4. Pillirooga soojustatud seinafragmentide soojusjuhtivus

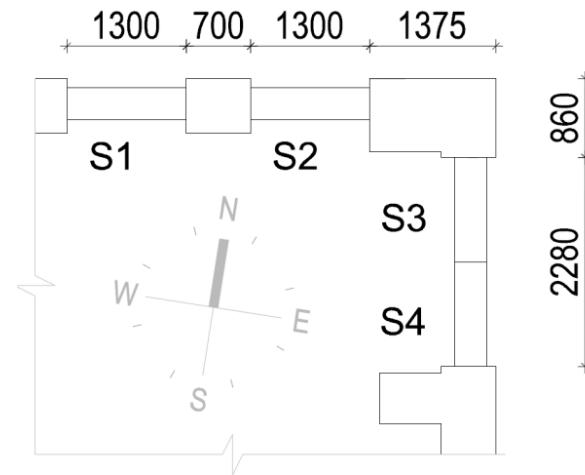
Martti-Jaan Miljan, Jaan Miljan, EMÜ maaehituse osakond

Eesti Maaülikooli maaehituse osakonnas viidi läbi katse eesmärgiga võrrelda erinevate materjalidega soojustatud ja erinevate konstruktsioonilahendustega seinfragmentide soojusjuhtivust. Katsetulemused võimaldavad anda nõu neile, kes sooviksid kasutada naturaalseid materjale välispiirete soojustamiseks. Tegelikult olukorra võimalikult täpse imiteerimise eesmärgil eemaldati ehitusfüüsika laboris aknad ja ehitati aknaavadesse seinafragmentid. Soojusjuhtivust mõõdeti aastaringi. Aknaavadesse ehitati kokku neli erineva konstruktsiooniga välisseina (joonis 3.11). (Miljan, M-J., Miljan, J. 2012 d)

Sein S1. 130 mm paksune savi-lina kergplokkidest sein ehitati esimesse aknaavasse. Sein soojustati 25 cm kanepihakke kihiga ja kaeti pealt laudadega ja tuuletõkke kilega. Lisaks kinnitati sein sisepinnale 5 mm paksune roomatt. Seejärel krohviti seinad nii seest kui väljast savikrohviga.

Sein S2. Järgmisesse aknaavasse paigaldati kõigepealt laud olemasoleva seina sise- ja välispinna tasandile. Laudade vahe täideti lahtiselt horisontaalselt asetatud pillirooga, mida tihendati nii horisontaalselt kui vertikaalselt (joonis 3.12). Sein viimistleti u 50 mm paksuse savikrohvi kihiga nii seest- kui ka väljastpoolt.

Kuna kolmas aknaava oli laiem, siis sinna sai ehitada kaks erinevalt soojustatud sein – seinad S3 ja S4. Mõlema seinfragmendi paksus oli 450 mm. Üks sein ehitati põhu- ja teine pilliroopakidest. Ka pakke pressiti ehitamise käigus tihedamaks kokku ja fikseeriti need plastiklintidega. Seinad viimistleti seest ja väljast savikrohvi kasutades. Krohvikihi paksus seinas oli u 50 mm.



Joonis 3.11. Seinte asukohad (joonis: M-J. Miljan)



Joonis 3.12. Sein S2, soojustatud horisontaalselt asetatud lahtise pillirooga (foto: J. Miljan)

Pärast seinte lõplikku kuivamist paigaldati temperatuuri ja niiskuse mõõtmiseks andurid seinte sise- ja välispinnale, ruumi sisse ja õue. Läbi seina liikuva soojusvoo mõõtmiseks kinnitati tihedalt vastu sein soojusvoo mõõtmise plaat (joonis 3.13). Kõik mõõtmistulemused talletati Almemo andmesalvestajas 15 minutise intervalliga.



Joonis 3.13. Soojusvooplaadid ja termopaarid seina pinna teperatuuri ja seina soojusjuhtivuse mõõtmiseks (foto: J. Miljan)

Seinte soojusjuhtivuse määramiseks mõõdeti järgmisi näitajaid:

q – soojusvoog läbi seina [W/m^2];

T_e – välisõhu temperatuur [$^{\circ}\text{C}$];

T_i – sisetemperatuur [$^{\circ}\text{C}$].

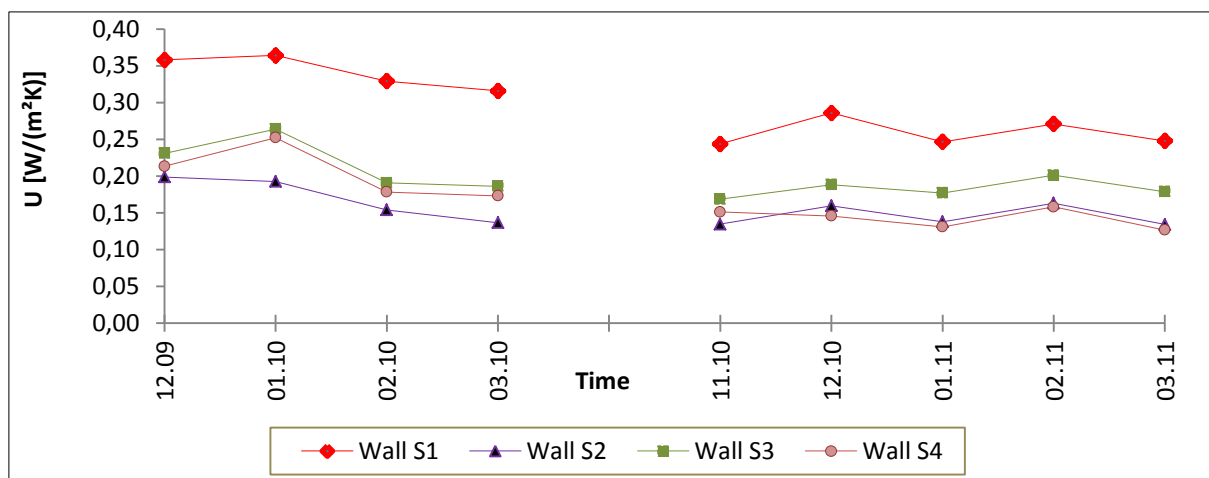
Järgnevat valemit kasutati seina soojusjuhtivuse arvutamiseks.

$$U = \frac{q}{T_i - T_e}.$$

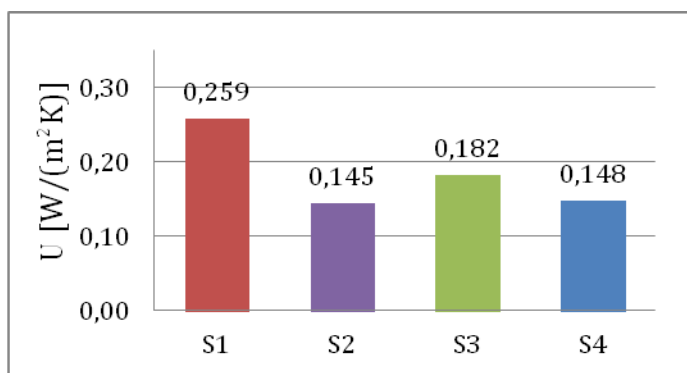
Järeldused

(Miljan M-J., Miljan, J. 2012 d)

Katse kestis 2009. aasta detsembrist kuni 2011. aasta maini. Mõõtmised toimusid mittetatsionaarses olukorras *i.e.* temperatuurid muutusid ajas pidevalt ja seega vastavalt ka seina läbiva soojusvoo suurus. Katseperioodi jooksul arvutati kuu keskmised väärtused ja need on toodud joonisel 3.14. Andmetest on ühemõtteliselt näha, et parim soojuspidavus on katseseinale S2 ehk seega lahtise horisontaalse pillirooga soojustatud sein on kõige soojapidavam. Suurim soojusjuhtivus oli seinale S1 ehk lina-savi kergplokkidest kanepihakkega soojustatud seinale. Esimese talve jooksul vähenes seinte soojusjuhtivus märgatavalt tänu seina materjali, eelkõige savikrohvi, kuivamisele. Järgnevatel aastatel oli U väärtus juba märgatavalt väiksem. Katsetulemuste andmete põhjal arvutati katseseinete keskmine soojusjuhtivus 2010. aasta oktoobrist kuni 2011. aasta märtsini. Katsetulemused on esitatud tulpdiaagrammina joonisel 3.15.



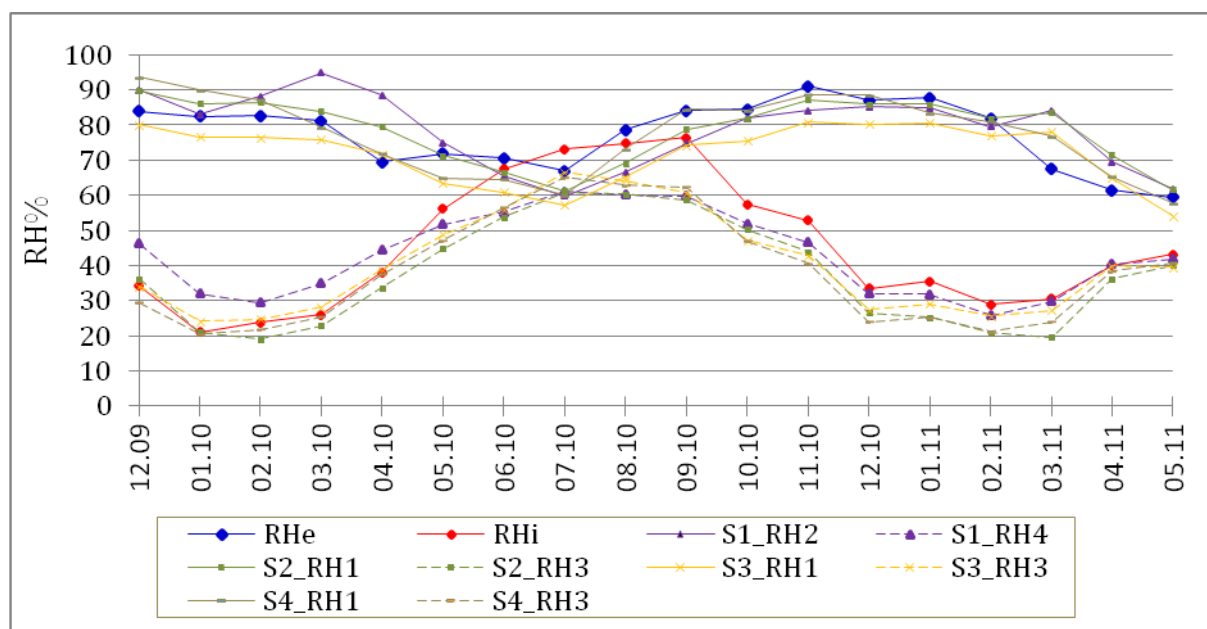
Joonis 3.14. Erinevate katseseinete soojusjuhtivus, võttes arvesse keskmisi mõõdetud näitajaid ajal oktoobrist 2009 kuni märtsini 2011 (Miljan M-J. 2012 d)



Joonis 3.15. Katseseinte soojusjuhtivus (joonis M-J. Miljan)

Vastavalt Eesti Vabariigi valitsuse määrusele (RT I:2007) Energiatõhususe miinimumnõuded peab välispiirete soojusjuhtivus olema vahemikus 0,2–0,5 W/(m²K) katsetulemused näitavad, et ainult seinafragment S1 ei vasta määrustes esitatud nõuetele. See tulemus ei ole üllatav, kui arvestada seinapaksu-

sega. Läbiviidud katsete alusel võime väita, et looduslikud soojustusmaterjalid võistlevad edukalt tööstuslike soojustusmaterjalidega ja neid on võimalik kasutada praktikas. Looduslike soojustusmaterjalide kasutamisel peab soojustuse kiht seinas olema küll paksem, aga materjali väiksema primaarenergia sisalduse tõttu on ehitus loodussõbralikum ja kasvahoonegaaside emissioon on väiksem. Joonisel 3.16 on toodud õhu suhteline niiskusesisaldus mõõdetuna soojustuse ja savikrohvikihide piiril, et näha, kas selles kohas esineb piir-dekonstruktsioonis kondenseerumise ohtu. Graafik RHe näitab RH muutust väljapoole paigaldatud savikrohvi ja soojustuse kihi vahel ja graafik RHi näitab olukorda sisemise krohvihi ja soojustuse vahel. Katsetulemustele toetudes saame väita, et kondensatsiooniohtu seina konstruktsioonides ei tekkinud.



Joonis 3.16. Erinevate katseseinte relatiivse niiskuse [RH%] muutused võttes arvesse kuu keskmisi väärtusi, mis mõõdeti 2009. aasta detsembrist kuni 2011. aasta maini seinte erinevate kihtide kokkupuute kohtades (M-J. Miljan 2012 d)

Ka Wegerer, P., Bednar, T. oma 2011. aastal läbi viidud uuringus jõudsid samale järeldusele: savikrohvitud seina sees vee kondenseerimust ei toimu,

seega looduslike soojustusmaterjalide biodegradatsiooni ohtu ei esine.

3.5. Pilliroost püretega katsemaja ehitamine, materjalide ja ajakulu ehitusel

Matis Miljan, Jaan Miljan, Martti-Jaan Miljan, EMÜ maaehituse osakond

Pilliroost püretega katsemaja ehitamine

Katsemaja (joonis 3.17) ehitati 2010. a sügisel Eesti Maaülikooli Metsamaja taha Emajõe ürgoru nõlvale Interreg VI A projekti Cofreen raames.

Katsemaja projekteeris OÜ Architrav vastavalt maaehituse osakonna ideedele ja juhenditele.

Katsemaja on puidust karkassiga, pilliroost soojustusega ja savikrohvitud kerghoone, mille vundamendiks on raudbetoonist kohtvaiad. Katus on kaetud pooles ulatuses pillirooga ja pooles ulatuses laastudega. Katuslagi on soojustatud lahtise pillirooga ja kaetud pealt tuuletõkkekangaga.

Uuritavate seinte materjalid osteti Tartu lähiümbruse ettevõtjatelt: pilliroog osaühingust Järveroog, savi on

pärit Joosu karjäärast ja katsemaja lähedast süvendist, katuselaastud tarniti osaühingust Lutike Laast.

Katsemaja plaan ja lõige on esitatud joonisel 3.18. Neil on näidatud ka erineva konstruktsiooniga välisseinte asukohad. Seinte lõiked ja fotod seinte ehitusest on toodud joonistel 3.19 kuni 3.20. Põrandate lõiked on esitatud joonisel 3.21.

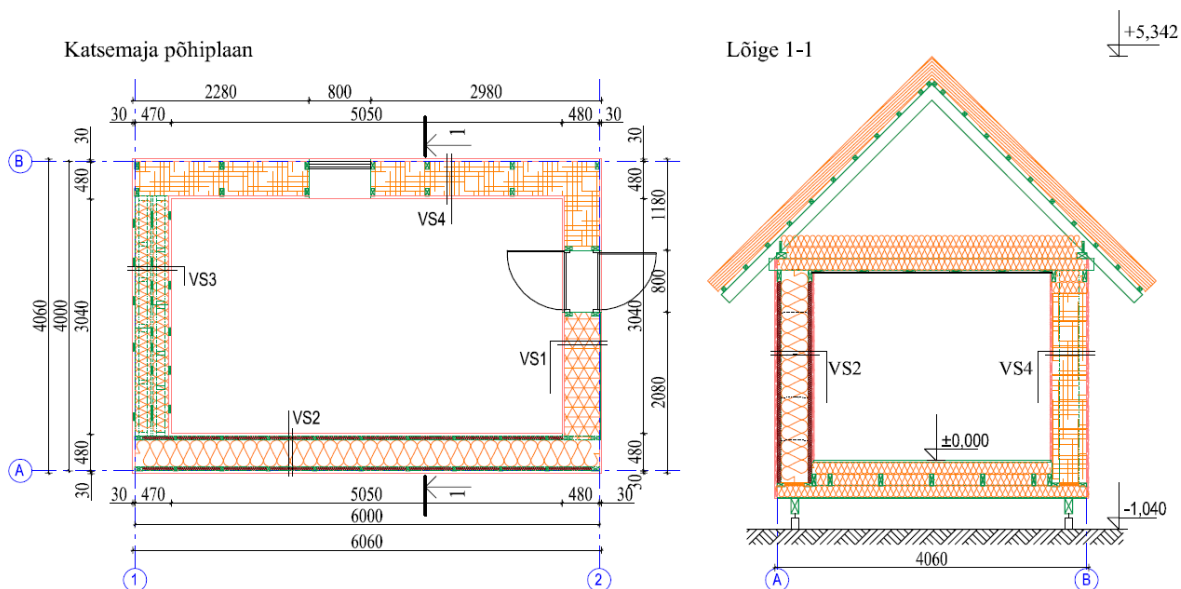
Sein VS-1 (joonised 3.19. a, 3.20. a) on vertikaalpilliroosein, mille kandvaks konstruktsiooniks on puitpostid ristlõikega 50 x 100 mm ja sammuga 1600 mm. Postide vahel on horisontaallauad ristlõikega 20 x 100 mm ja sammuga 700 mm. Soojustuseks

paigaldati pilliroog vertikaalselt mis pressiti kokku koormarihmadega ning fikseeriti läbi pilliroo tõmmatud plastiklintidega laudade vahele.

Sein VS-2 (joonised 3.19. b, 3.20. b) on horisontaalselt lahtiselt paigaldatud pilliroosein. Kandvaks konstruktsiooniks on puitpostid ristlõikega 50 x 50 mm ning sammuga 600 mm. Soojustusena on postide vahel 350 mm paksune kiht lahtist pilliroogu horisontaalselt. Ehitamise ajal pressiti lahtist roogu koormarihmadega kokku iga 500–600 mm paigalduskihi tagant ning fikseeriti karkassipostide vahele tõmmatud kapronlintidega. Piki-seina karkassipostide vahele paigaldati pillirooplaadid pakusega 50 mm.

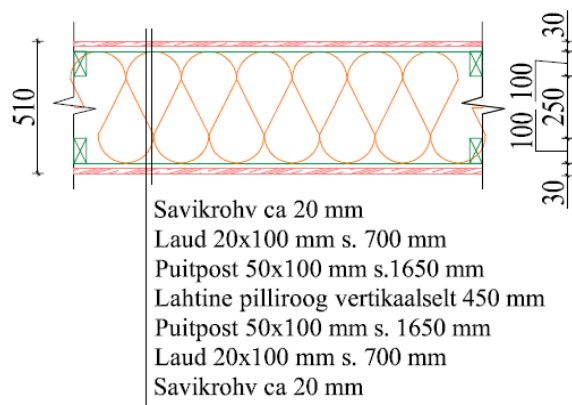


Joonis 3.17. Katsemaja (foto: M. Miljan)

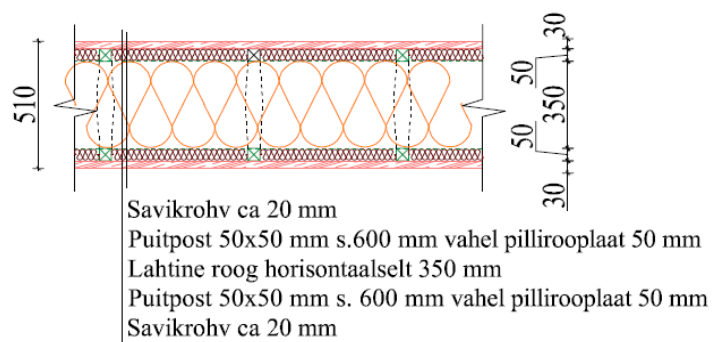


Joonis 3.18. Pillirooga soojustatud katsemaja plaan ja lõige (joonis: M-J. Miljan)

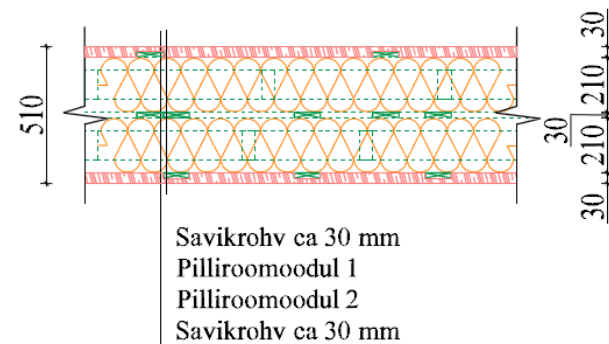
a) VS-1 vertikaalpilliroosein



b) VS-2 horisontaalpilliroosein



c) VS-3 pilliroopaneelsein



d) VS-4 pilliroopakisein



Joonis 3.19. Katsemaja seinte konstruktsioonid (joonis: M-J. Miljan)



Joonis 3.20. a Sein VS-1 (vertikaalpilliroosein)



Joonis 3.20. b Sein VS-2 (horisontaalpilliroosein)



Joonis 3.20. c Sein VS-3 (pilliroo paneelsein)



Joonis 3.20. d Sein VS-4 (pilliroopakisein)

Sein VS-3 on pilliroopaneelsein, mis koosneb kahest kokku monteeritud paneelist. Paneel on 2800 mm kõrgune ja kas 1400 mm või 1600 mm laiune puitkarkassiga raam, kuhu sisse on soojustuseks pandud horisontaalselt 215 mm kiht kokku pressitud pilliroogu. Raam koosneb kahest puitelemendist (seesmine ja välimine), mis on omavahel ühendatud laudadega. Pilliroog pressiti 500-600 mm kihtide kaupa raamis kokku koormarihmadega ning fikseeriti kapronlintidega. Tühimikud keskmiste laudade vahel täideti lahtise rooga. (joonised 3.19. c, 3.20. c)

Sein VS-4 (joonised 3.19. d, 3.20. d) on pilliroopakisein. Kandvaks konstruktsiooniks on puitpostid ristlõikega 50x100 mm ning sammuga 1100 mm. Soojustuskihiks asetati postide vahele pilliroopakid, paksusega 450 ja kõrgusega 350 mm. Pakiri-

du pressiti iga kolmanda rea tagant koormarihmadega ning fikseeriti kapronlintidega. Pakkidevahelised tühimikud karkassipostide vahel täideti lahtise pillirooga.

Kõik katsemaja seinad viimistleti seest ja väljast umbes 30 mm savikrohvi kihiga.

Fotod seintest ehitamise ajal ja enne savikrohvi paigaldamist on toodud joonistel 3.20. a–d.

Katsemaja põrandad ehitati samuti roogu soojustusmaterjalina kasutades. Põrandad on lahtitõstetud ja aluskiht valmistatud 10 mm paksusest vineerplaadist. Põrand jagati kolmeks erineva konstruktsiooniga osaks. Põrandate ristlõiked ja viimistluskihtide kirjeldused on esitatud joonisel 3.21.

Põrandate konstruktsioonid ja kasutatud materjalid

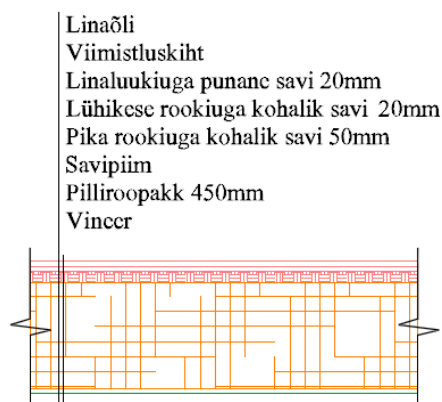
- 1. Savipõrand I.** Põrand soojustati põrandatalade vahele paigaldatud pilliroopakkidega. Esi- algselt savipiimaga töödeldud põrandale lisati 50 mm kiht kohaliku savipinnase ja pika rooki- u segu. See põranda osa tihendati ja siluti kelluga. Põrandal lasti mõned päevad kuivada ja seejä- rel kanti peale kiht (50 mm) kohalikku savi- pinnast segatuna lühikeste rookiududega. Ku- na kuivamisel tekkinud praod olid küllaltki suured, töödeldi põrandat ja täideti tekkinud praod, kasutades punast savi, mis oli segatud linaluuga. Kõige lõpuks kanti põrandale savist ja erinevatest materjalidest kokku segatud viimistluskiht.
- 2. Savipõrand II.** Esi- algselt töödeldud põran- dale kanti peale kiht kohalikku savi, mis ti- hendati puidust tambiga. Kuna ainult tampi- des polnud võimalik savikihti ühtlaseks saada,

kasutati ka selle kihi tasandamiseks kellut. Pärast tambitud savikihi kuivamist kanti põ- randale kiht kohalikku savipinnast segatuna lühikese rookiuga ning kiht sinist savi segatu- na lühikese rookiuga, millele järgnesid vii- mistluskihid.

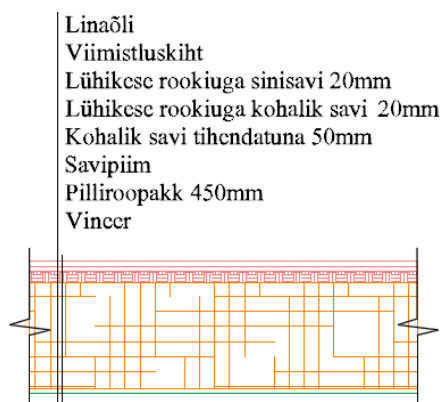
Savipõrandate I ja II viimistlemiseks kasutati punase ja sinise pottsepasavi pulbrit segatuna erinevate naket parandavate materjalidega. Lõppviimistluse käigus kanti savikihi- le vee- pidavuse, kulumis- ja külmumiskindluse pa- randamiseks linaõli ja karnauba vaha kiht.

- 3. Savipõrand III.** Lahtiselt paigaldatud pilliroog pressiti põrandatalade vahele ja fikseeriti. Lahtine roog kaeti 25 mm paksuste laudadega, mis omakorda kaeti u 50 mm paksuse kohaliku savi kihiga ja seejärel tasandati pottsepa sinisavist kihiga. Viimistluseks kasutati põletamata savist plaate, mille paigaldamiseks kasutati plaadisegu.

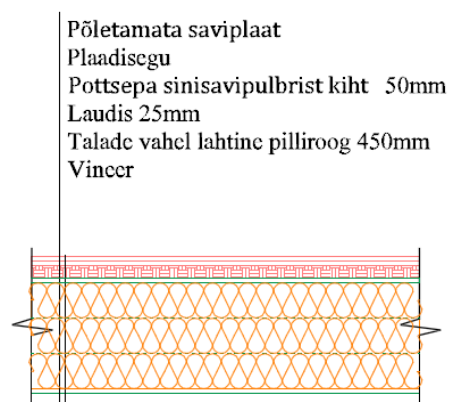
a) savipõrand I



b) savipõrand II



c) saviplaatpõrand



Joonis 3.21. Katsemaja põrandate konstruktsioonid ja viimistluskihid (joonis: M-J. Miljan)

Erineva konstruktsiooniga pilliroost sein- te ehitamiseks kulunud aeg ja materja- lide hulk

Hoone ehitust alustades oleks vaja teada, mis see maksma läheb ja kui kaua see töö kestab. Nende teadmiste

hankimiseks peeti materjalide kulu ja töö tegemiseks kuluva aja arvestust. Materjalide kogused kokku igale seinale ja vastava seina 1 m² kohta on toodud tabelis 3.4. Seinte ehitamiseks kulunud materjalide kogused määrati ühiku täpsusega. Koguste määramisel ei ar- vestatud ehitamisel tekkinud kadusid.

Tabel 3.4. Materjalide kulu katsemaja seinte ehitamisel

Seina tähis			VS-1	VS-2	VS-3	VS-4
Seina pindala m ²			5,0	16,8	8,6	18,6
Kasutatud materjalid	Pilliroo- plaat m ²	kokku		31		
		1 m ² seina kohta		1,85		
	Rookahlud	kokku	72	270	172	
		1 m ² seina kohta	14,4	16,1	20	
	Roopallid	kokku				38
		1 m ² seina kohta				2,0
	Puidu ristlõige mm	50 x 50	kokku m ³	0,14	0,063	
			per 1 m ²	0,0083	0,0073	
		50 x 100	kokku m ³	0,028		0,196
			per 1 m ²	0,0056		0,00105
		20 x 100	kokku m ³	0,024	0,112	
			per 1 m ²	0,0052	0,0013	
	Savikrohv kg	kokku	538	2016	1042	2242
		1 m ² seina kohta	108,0	120,0	121,2	120,2

(Miljan, M., Miljan M-J. 2012 b)

Tabelist 3.4 näeme, et kõikide seinte 1 m² viimistlemiseks on kulunud enam-vähem ühepalju savikrohvi. Kõige väiksem on krohvi kulu seinal VS-1, sest laud seinal kaeti ainult 10-20 mm savikrohvi kihiga. Kõige vähem rookahlusid – 14,45 kahlu seina ühe ruutmeetri kohta – (diameetriga u 21 cm) kulus vertikaalpillirooseina ehitamiseks. Võrdluseks võib tuua horisontaalse pillirooga soojustatud paneelseina VS-3, kuhu suudeti paigaldada 20 rookahlu seina ühele ruutmeetrile. Ka puidu kulu oli selle seina VS-3ehitamisel kõige suurem. Tabelis 3.5 on loetletud tegevused, milleks kulunud aega mõõdeti ja mida aluseks võttes arvutati ajakulu 1 m² seina ehitamiseks.



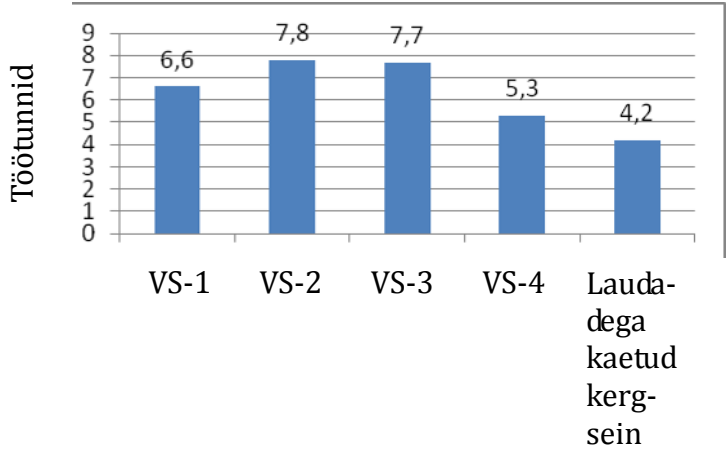
Joonis 3.22. Kokku pressitud roog fikseeriti postide külge plastiklintidega (sein VS-2)

Tabel 3.5. Ehitamise ajal tehtud tööd ja selleks kulutatud aeg

Töö nimetus	Seinte ehitamise aeg tundides							
	VS-1		VS-2		VS-3		VS-4	
	Kokku	1 m ²	Kokku	1 m ²	Kokku	1 m ²	Kokku	1 m ²
Puitkarkassi ehitus	4,0	0,9	15,1	0,9			16,8	0,9
Seinakonstruktsioonide täitmine lahtise pillirooga ja selle pressimine ning fikseerimine	12,0	2,7	51,0	3,0				
Seina katmine pillirooplaatidega			15,0	0,9				
Roopallide paigaldamine							26,0	1,4
Roopaneelide ehitamine					28,0	3,3		
Paneelide paigaldamine					12,0	1,4		
Ettevalmistustööd krohvimiseks	1,6	0,4	6,3	0,4	3,2	0,4	6,9	0,4
Seinte krohvimine	11,8	2,6	44,2	2,6	22,8	2,6	49,2	2,6
Töötunnid kokku		6,6		7,8		7,7		5,3

(Miljan, M., Miljan M-J. 2012 b)

Tabelist 3.5 näeme, et suurimaks tööks oli paneelide ehitamine, sest karkassipostide vahed tuli soojustatavuse vähendamiseks pillirooga võimalikult ühtlaselt täita ja see töö oli aeganõudev. Lahtist pilliroogu tuli kihtide kaupa kokku pressida ja fikseerida puitpostide külge plastiklintide abil. Ka horisontaalpilliroost seina ehitamine oli töömahukas samadel põhjustel, lisaks võttis palju aega savikrohvimine (joonis 3.22).



Joonis 3.23. Laudisega kaetud karkasseina ja pillirooga täidetud ning savikrohvitud karkasseina ehitamiseks kulunud tööaja võrdlus

Tulpdiagrammil (joonis 3.23) on võrreldud tabelis 3.5 toodud erineva konstruktsiooniga pilliroost ehitatud ja saviga krohvitud seinte ehitusaegasid kahelt poolt laudisega kaetud ja klaasvillaga soojustatud kergseina ehitamiseks kulunud ajaga (Kukka 2009).

Siinkohal peab nentima tõsiasi, et pilliroost soojustusega kergseinte ehitamine on tööajamahukam kui mineraalvillast soojustusega ja kahelt poolt laudisega kaetud karkass-seina ehitamine.

Katsemaja ehitamisel kulus kõige vähem aega pilliroopakkidest seina VS-4 tegemisel, kus ühe ruutmeetri seina valmistamiseks kulutati 5,3 tundi. Kõige rohkem aega kulus pillirooga horisontaalselt täidetud ja pillirooplaatidega vooderdatud seina VS-2 ehitamiseks – 7,8 h/m². Töömahukuselt järgmine oli sein VS-3, samuti horisontaalselt paigaldatud pillirooga soojustatud paneelsein, kus tööajakulu oli 7,7 h/m².

3.6. Katsemaja piirete soojusjuhtivus

Martti-Jaan Miljan, Jaan Miljan, EMÜ maaehituse osakond

Katsemaja kõik piirded ehitati 450 mm paksusest pilliroost ja viimistleti savikrohviga nii seest- kui väljastpoolt. Põrandad kaeti samuti erinevate savi baasil valmistatud viimistluskihtidega. Seinte ja põrandate soojusjuhtivuse mõõtmiseks paigaldati katsemajja 2010 aasta oktoobris soojusvoo plaadid ja piirdeid läbiva soojusvoo suurust mõõdeti kuni märtsini 2012. Eesmärk oli selgitada välja, kas rooga soojustatud piirded on konkurentsivõimelised võrreldes laialdaselt kasutatavate tööstuslike soojustusmaterjalidega soojustatud piiretega ja vastavad ka Eesti seadusandluses sätestatud nõuetele.

Nende ülesannete lahendamiseks mõõdeti järgmised näitajad: (Miljan M-J., Miljan, J. 2012 c)

q – soojusvoo suurus läbi seina [W m^{-2}];

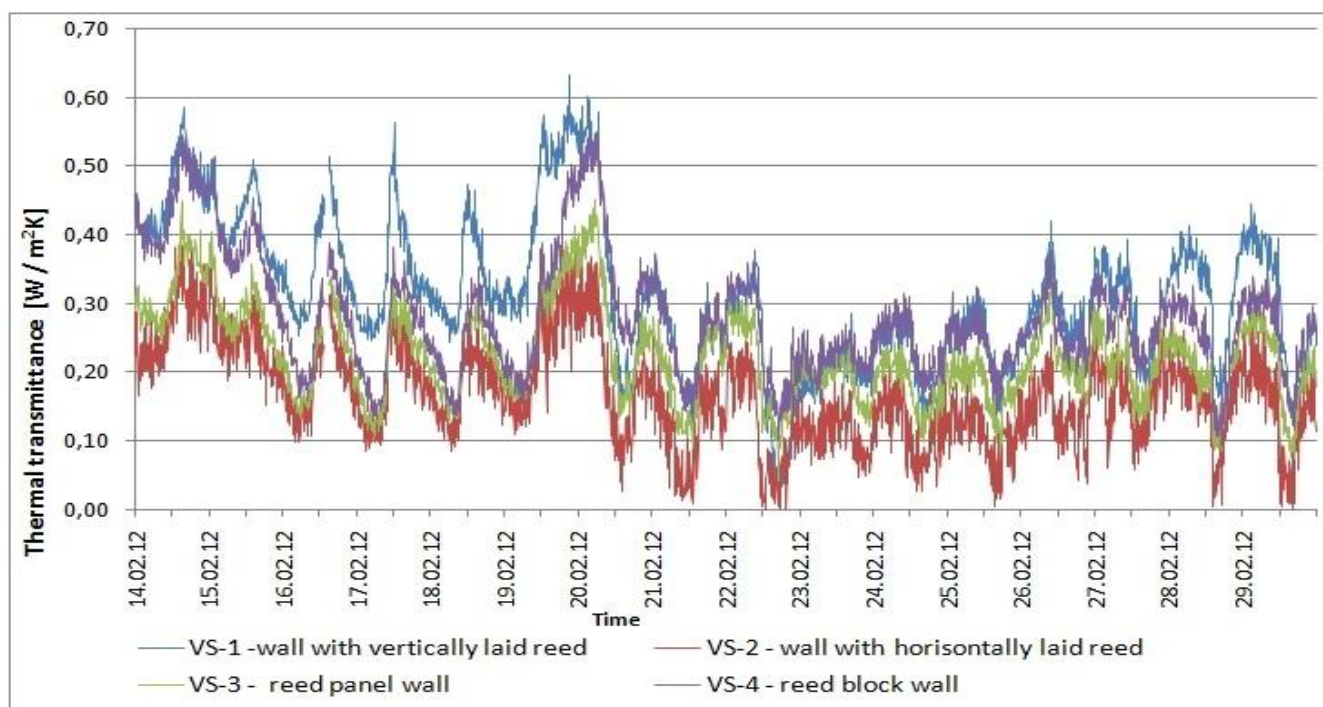
T_e – välisõhu temperatuur [$^{\circ}\text{C}$];

T_i – siseõhu temperatuur [$^{\circ}\text{C}$].

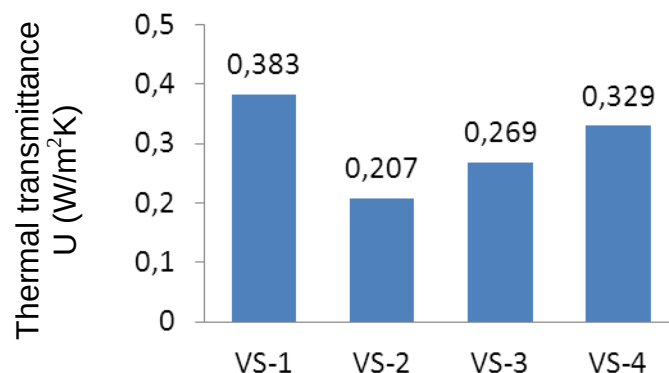
Mõõtmised teostati 15 minutise intervalliga ja andmed salvestati automaatselt andmesalvestajaga Almemo. Andurite lugemite alusel arvutati piirete soojusjuhtivus kasutades järgmist valemit:

$$U = \frac{q}{T_i - T_e}.$$

Välispiirete soojusjuhtivuse muutused ajas on esitatud graafiliselt joonisel 3.25. Kuna mõõtmised tehti mittestatsionaarses olukorras, kus temperatuurid ajas pidevalt muutusid, siis on ka U arv pidevalt muutuv. Graafikute ühtlaste piirkondade andmete alusel arvutati keskmised U väärtused erinevatest materjalidest seintele. Tulemused on esitatud tulpdigrammina joonisel 3.26.



Joonis 3.25. Erinevate katseseinte soojusjuhtivuse muutused ajas (2012. veebruari teine pool) (Miljan M-J. 2012 c)



Joonis 3.26. Katsemaja seinte soojusjuhtivuse näitajad (veebruari II pool 2012. a) (Miljan, M-J., Miljan J. 2012 c)

Jooniselt 3.26 on näha, et kõige soojapidavamaks osutus välissein VS-2, mille keskmine soojusjuhtivus oli $U = 0,207 \text{ W/m}^2\text{K}$. Kõige suurema soojusjuhtivusega oli sein VS-1, $U = 0,383 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Kuna kõik seinad on sama paksud – 450 mm – ja pillirooga soojustatud, võib väita, et seinte soojusjuhtivuse erinevused on tingitud ehitamise tehnoloogiast ja ilmselt ka kvaliteedist. Seinal VS-1, kus pilliroog on vertikaalselt puitkarkassi vahel, võib suurem soojusjuhtivus olla põhjustatud sellest, et pillirookõrte vahelised püstised tühimikud võimaldavad õhu liikumist seina sees ja seega toimub selles seinas soojuse ülekandumine ka suurema konvektsiooni teel. Kuna vertikaalselt paigaldatud pilliroogu ei suudetud piisavalt tihendada, siis kulus selle seina ühe ruutmeetri kohta ka kõige vähem pilliroogu (tabel 3.4). Selge erinevus ilmneski vertikaalselt ja horisontaalselt paigaldatud pillirooseinte soojusjuhtivuses. Ka Wegerer & Bednar on oma 2011. aasta uuringus, kus isolatsioonimaterjalina kasutati pilliroogu märkinud, et tootjapoolne nõue on paigaldada roog nii, et kõrte suund oleks horisontaalne. Kahjuks ei olnud seda nõuet põhjendatud.

Soojustuse valikul tuleb lähtuda sellest, et hoone välispiirded oleks soojapidavad. Hoonete soojustuse valikul peab energiakulu arvutustes lähtuma määrusest „Energiatõhususe miinimumnõuded“ (RT I 2007), kus välisseinte soojusjuhtivuse väärtus U on $0,2 - 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Kõigist katsemaja seintest vastas ainult sein VS-2 (horisontaalpilliroost sein) sellele nõudele.

Põrandate soojusjuhtivust mõõdeti lühiajaliselt ajavahemikus 17.03.2011–03.04.2014 ja arvutuste tulemusena U vastavad väärtused olid: Põrand I, Põrand II ja Põrand III – $0,197 \text{ W/m}^2\text{K}$, $0,211 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja $0,173 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Kirjandus (osad: 3.1, 3.2, 3.4 ja 3.5)

Hiss Reet 2013 <http://www.hiss-reet.com/>

Kukka, E, Miljan J. Ehitaja 2009, lk. 64-67. Eestis enamlevinud välisseina-tüüpide primaarenergia sisaldusest

Miljan, M-J., Miljan, J. 2012 a Soojustusmaterjalide omaduste määramine maaehituse osakonna ehitusfüüsika laboris. Kogumik Kohalikud looduslikud ehitusmaterjalid ja nende kasutamine, EMÜ 2012, Tartu lk 27-34

Miljan, M., Miljan M-J. 2012 b Pillirooga soojustatud katsemaja ehitamine 2010. aastal. Kogumik Kohalikud looduslikud ehitusmaterjalid ja nende kasutamine, EMÜ 2012, Tartu lk 43-50

Miljan M-J., Miljan, J. 2012 c Pillirooga soojustatud katsemaja piirete soojusjuhtivus. Kogumik Kohalikud looduslikud ehitusmaterjalid ja nende kasutamine, EMÜ 2012, Tartu lk 51-59

Miljan M-J., Miljan, J. 2012 d Looduslike materjalidega soojustatud seinte soojusjuhtivus. Kogumik Kohalikud looduslikud ehitusmaterjalid ja nende kasutamine, EMÜ 2012, Tartu lk 60-65

Valge, S., 2010 Pilliroo lõikus- ja töötlemismasinad. Bakalaureusetöö ettevõtetehnika erialal, EMÜ 2010, Tartu lk 45

Sooster, S. Õlg- ja roogkatuste ehitamine. OÜ Roo-
ekspert 2005, Käina lk 39 (in Finnish)

Reeda Harvesters 2013
[http://www.tradekey.com/company/REEDA-
harvesters-1381938.html](http://www.tradekey.com/company/REEDA-harvesters-1381938.html)

Räikkönen, N. Classification of reed beds and reed
biomass and quality mapping 2007 – Read up on

Reed /Ed. Ikonen, I., Hagelberg, E. Southwest
Finland Regional, Environment Centre, 17-21 p

RT I 2007, 73, 445 Eesti Vabariigi Valitsuse määrus
„Energiatõhususe miinimumnõuded“

Wegerer, P., Bednar, T. 2011 Long-term
Measurement and Hygrothermal Simulation of
Interior Insulation Consisting of Reed Panels and
Clay Plaster. NSB 2011 pp 331-336



Vaibla roostik Võrtsjärve ääres (foto: Ü. Kask)

3.7. Pilliroo hallitamiskindluse hindamine

Rauli Lautkankare, Turu Rakenduskõrgkool

Harilik pilliroog on orgaaniline ehitusmaterjal. Loodusliku materjalina hakkab roog soodsate tingimuste olemasolu korral hallitama samamoodi nagu puit ja puidul baseeruvad tooted. Jan Bergholm uuris ehutsmaterjalide hallitamistundlikkust oma kursuse-töös (Bergholm 2012).

Uuriti kümne erineva ehitusmaterjali, sh ka kolme erineva pilliroost ehitusmaterjali pinna tundlikkust mikroobide tekkele. Eesmärk oli selgitada kui hästi peab pilliroog vastu hallituse tekkeks erakordselt soodsate standardiseeritud tingimuste korral kliima-kambri katses (*the climatic overstress testing*).

Lisaks pilliroost materjalidele uuriti männipuitu, rukkiõlge, betooni, EPS plaati ja mineraalvilla. Andmed osade kirjeldatud materjalide kohta saadi varem läbi-viitud katsete tulemusena. Katsetingimused püüti viia võrreldavateks nii materjalide valikut, katsetin-gimusi kui ka metoodikat silmas pidades. (Bergholm 2012)

Käesolevas töös kasutati Hannu Viitaneni (Viitanen 1996) poolt hallituse tekke uuringute tulemusena välja töötatud hallituse indekseerimise tabelit (tabel 3.6) ja metoodikat. Pilliroogu, erinevatelt mitmetest teistest katses olnud materjalidest, ei olnud varase-malt kliimakambri katses uuritud.

Tabel 3.6. Hallitamise indekseerimise kirjeldus

Indeks	Hallitamise ulatuse kirjeldus
0	Hallitust ei esine, katsekeha pealispind on puhas
1	Hallitus nähtav mikroskoobiga: minimaalselt eoseid, veidi mütseeli
2	Hallitus nähtav mikroskoobiga: mütseeli areng mõõdukas
3	Hallitus nähtav palja silmaga: mütseeli vähem kui 10%; hallituse kasvu hindamine TAI mikroskoopi kasutades: mütseel katab vähem kui 50% katsekeha pinnast
4	Hallitus nähtav palja silmaga: mütseeli vähem kui 50%; hallituse kasvu hindamine TAI mikroskoopi kasutades: mütseel katab rohkem kui 50% katsekeha pinnast
5	Hallitus nähtav palja silmaga, mütseel katab rohkem kui 50% katsekeha pinnast
6	Hallituse kasv rohke, peaaegu 100% katsekeha pinnast on kaetud mütseeliga

Katse tingimused

Kliimakambri katses kasutati püsivalt +22 °C tempe-ratuuri ja RH oli 90-95%, seega hüdro-termaalsed tingimused hallituse tekkeks ja arenguks olid eriti soodsad.

Katse eesmärgiks oli määrata materjalide tundlikkus ja vastupidavus mikroobidele ehk selgitada kui halli-tamiskindel on materjal. (Bergholm, J. 2012)
Siseruumide õhu niiskusesisaldus on tavaliselt vahe-mikus RH = 20%–60%. Kliimakambri katses oli RH 95% ringis ja temperatuur +22 °C. Nii kõrget õhu

suhtelise niiskuse taset siseruumides peaaegu kunagi ei esine va lühiajaliselt nt duši all käies. (Bergholm 2012)

Katse käik

Katse viidi läbi Turu rakenduskõrgkooli ehituse osakonna laboratooriumi kliimakambris Arctest 1500 (joonis 3.28). Erinevad ehitusmaterjalid paigutati kliimakambrisse (joonis 3.27) ja allutati katsetingimustele: temperatuur +22 °C ja õhu relatiivne niiskus 90–95%, mitme nädala jooksul. Igast materjalist võeti katsesse kaks-kolm katsekeha samaaegselt. Katse oli ühekordne. Kui katsekehal esines hallitust vähe või ei esinenud üldse võeti katsekeha ka korduskatsesse. Esimene katseseeria kestis kaheksa nädalat ja teine 17 nädalat. Erinevatest ehitusmaterjalidest katsekehad olid mõõtudega 5 x 5 cm ja katse ajaks asetati nad eraldiseisvatele petri tassidele. (Bergholm 2012)



Joonis 3.27. Katsekehad kliimakambris (autori foto)

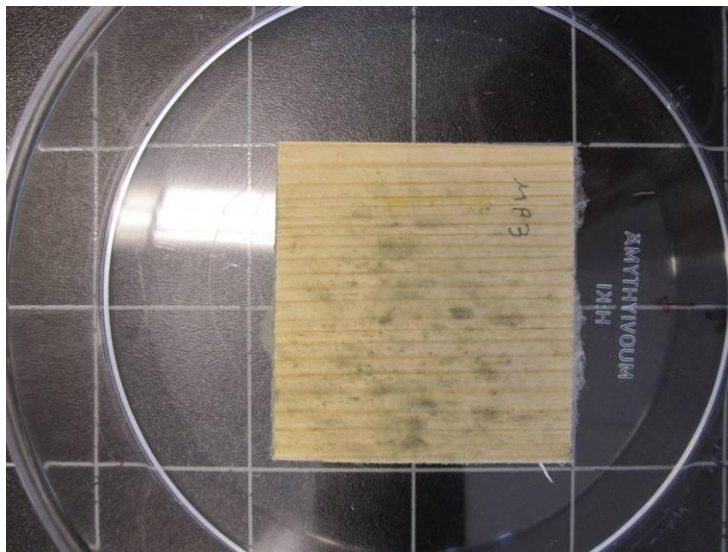


Joonis 3.28. Kliimakamber ARCTEST 1500 (autori foto)

Hallituse esinemise määramiseks võeti katsekehad üks kord nädalas kliimakambrist välja ja toimetati füüsika laborisse pildistamiseks. Katsevälise mikroobide lisandumise vältimiseks pildistamise ajal teostati fotografeerimine konditsioneeritud õhuga katsekapis. Materjalide transpordi lihtsustamiseks asetati petri tassid neljakaupa kaanega suletavatesse plastikarpidesse. Karbid avati pildistamiseks võimalikult lühikeseks ajaks selleks, et katsevälised mõjud oleksid võimalikult väikesed. Katsekehasid pildistati läbi mikroskoobi teatavale kindlale kaugusele paigaldatud ja fookuseeritud digitaalkaameraga (joonis 3.29). Fotografeerimine kestis pool kuni kolm tundi iga kord. (Bergholm 2012)



Joonis 3.29. Läbi mikroskoobi pildistatud pilliroost katsekeha, millel on näha mütseel ja hallitusseente koloonia (autori foto)



Joonis 3.30. Hallituse kasv männi maltspuidul on märgatav palja silmaga (autori foto)

Esimene katseperiood lõppes kahe kuu pärast. Kõik pilliroost katsekehad olid hakanud silmaga nähtavalt hallitama. Siinkohal see osa katsest lõpetati, sest uuring keskendus eelkõige roost materjalidele. Peab siiski lisama, et betoonist ja EPS plaadist katsekehad olid kaks kuud kestnud katse lõppedes peaaegu hallituse vabad ja esimesest katsest võeti jätkukatsesse betooni, EPS plaadi, männi lülipuidu ja minaraalvilla

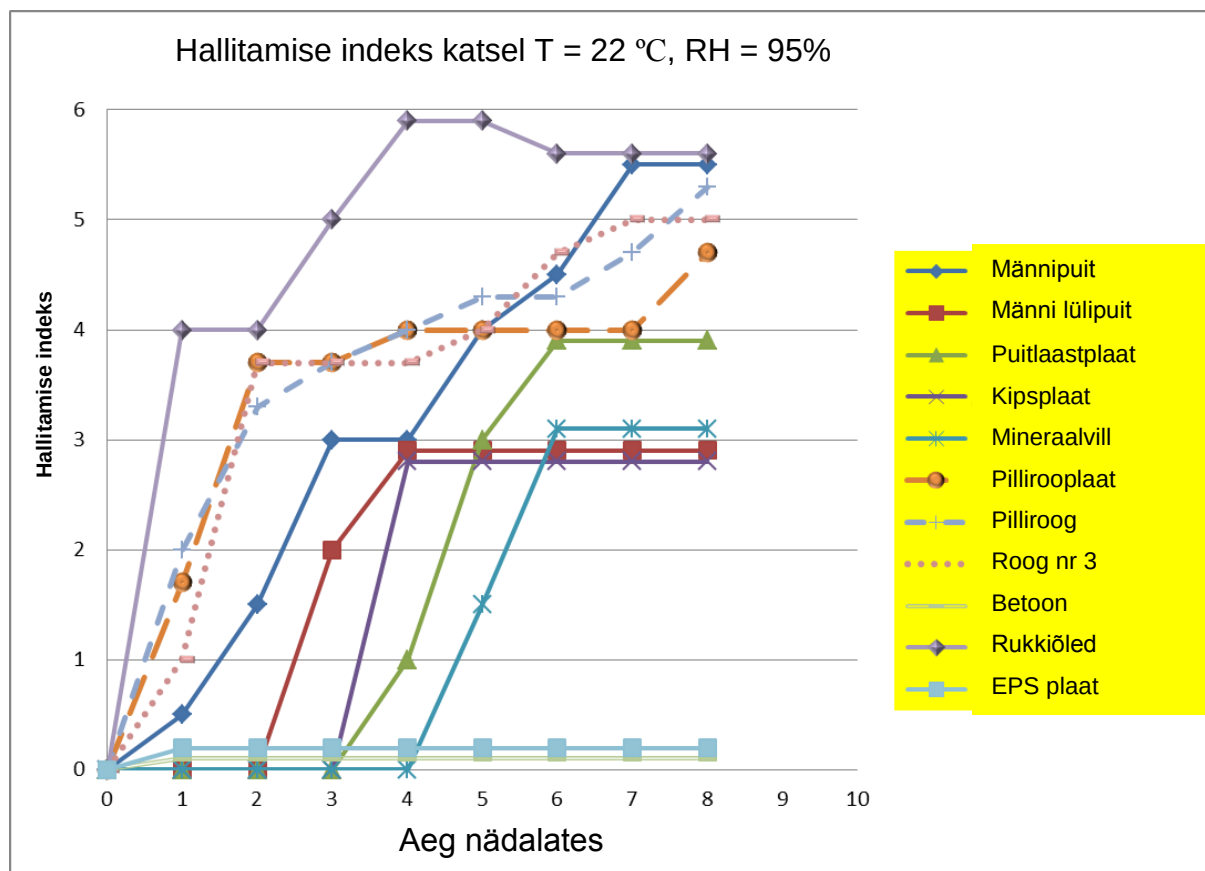
katsekehad, et selgitada välja nende hallitamise indeks pikema aja jooksul. (Bergholm 2012)

Esimese katseperioodi lõpul kliimakamber autoklaaviti steriliseerimise eesmärgil. Autoklaavimine toimus temperatuuril $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja 40% niiskusesisalduse juures kuue tunni kestel. Samal ajal puhastati suruõhuga plastik-karbid ja pesti petri tassid. (Bergholm 2012)

Vigade osatähtsuse minimeerimiseks materjalide hallitamise indeksi määramisel fotosid aluseks võttes kasutati kolme erinevat määrajat/hindajat. Kõik inimesed hindasid hallituse olemasolu määra esmakordselt, seega neil kõigi puudus selleks kogemus ja tingimused olid võrdsed. Selle lähtudes eeldasime, et vea suurus ei ületa ± 1 indeksi kohta, mis tähendab, et kui hindaja ei määranud katsekeha hallitamise astmeks 50% (indeks 4) vaid hindas selle väiksemaks saades indeksiks 3, siis samal ajal võis kolmas hindaja määrata sellesama katsekeha hallitamise indeksiks 5. Vigade esinemine indeksi määramisel on kolme hindaja kasutamise korral siiski väiksem. Üks hindajatest oli õppejõud, üks oli vanem kaugõppe tudeng (40 a) ja üks oli üliõpilane (20 a). (Bergholm 2012)

Hallitamise indeksi määramine fotode põhjal oli küllaltki keeruline, sest esimest korda hindajad ei teadnud täpselt, mida vaadata/otsida. Nii oli roost katsekehade kollakas ja läikiv pind segadust tekitav, samuti ka mineraalvilla värvus. Hele mütseel ei paistnud kollakalt aluspõhjalt välja ja võis jääda mõnel juhul märkamata. (Bergholm 2012)

Arvuliste hindamistulemuste põhjal koostati ehitusmaterjalide hallitustundlikkuse graafik (joonis 3.31). Graafikult näeme, et otse loodusest pärit materjalid on hallitustundlikumad kui kivi või plastik. Roog hakkab hallitama sama kiiresti kui männi maltspuit või puitplaat. On teada, et männi lülipuit ei hakka nii kiiresti mädanema kui männi maltspuit ja käesolev katse tõestas seda samuti. Betooni, mille pH on 10–12, on aluseline materjal ja mikroobid sellel ei kasva. Ehitusplatsil, kus betoondetailid saastuvad, tekib hallitus siiski küllaltki ruttu ka betooni pinnale. Hannu Viitanen on uurinud seda ilmingut VTT-s (Viitanen 2004).



Joonis 3.31. Kliimakambri katses olnud ehitusmaterjalide hallitamise indeksi muutus ajas

Kuigi looduslikud materjalid hakkavad pikaajaliste ekstreemsetes tingimustes läbi viidud katsete ajal hallitama, ei esine selliseid tingimusi tegelikkuses kuigi sageli, ja kui, siis enamasti kas hoone või konstruktsiooni defekti korral. Looduslikel materjalidel on kahtlemata omad head küljed: enamasti on nad tervislikud, ohutud, tasakaalustavad siseruumide temperatuuri- ja niiskusrežiimi ning põhjustavad vähem allergiat.

Hoolikalt tehtud roogkatus kestab kümneid aastaid. Bioloogiline kestvus ei ole suur probleem, kuid seab ehitisele mõningad nõuded kestvust ja töökindlust silmas pidades. Pilliroost katusekate peab olema võimalikult kuiv ja see saavutatakse, kui katus on hästi ehitatud ja piisavalt suure kaldega.

Kirjandus

Bergholm, Jan 2012. Opinnäytetyö, Rakennustekniikan koulutusohjelma. TUAS (soome keelne)

Viitanen, Hannu. 1996. Factors affecting the development of mould and brown rot decay in wooden material and wooden structures. Effect of humidity, temperature and exposure time. Docotral Thesis. Uppsala. The Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products.

Viitanen, Hannu. 2004. Betonin ja siihen liittyvien materiaalien homehtumisen kriittiset olosuhteet - betonin homeenkesto. VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka. (soome keelne)

3.8. Roogkatuste põletamise katse

Rauli Lautkankare, Turu Rakenduskõrgkool

Roogkatuste põletamise katse korraldati selleks, et uurida roo kui materjali tuleohutusega seotud asjaolusid. Tuleohutus on oluline faktor roogkatusega hoonele ehitusloa saamisel ja ilmselt esimene nõue, mille ehitusinspektor esitab. Katse tulemused tulid kasuks roogkatuste teemal välja antavale ehitusteabe kaardile, kus esitatakse katsetulemustest johtuv informatsioon roogkatuste suhteliselt halva süttimise kohta.

Katse eesmärgiks oli uurida kuidas tuli levib roogkatusel, millist aluskatust kasutada tule kiire leviku piiramiseks ja millistes kohtades on katuse tuleoht kõige suurem ning vastavalt saadud andmetele pöörata tähelepanu katuse projekteerimisele. Põletamise katse viidi läbi Livia kutsekooli põllul Kaarinas, Soomes 2013 aasta märtsis. Katusetahkude ehitamine salvestati videokaameraga ja videot kasutatakse ka roogkatuse ehitamise õpetamiseks. DVD on saadaval ka projekti kodulehel.

Katse korraldamine

Põletamise katseks ehitati kolm katusetahku Tuorlasse viiva tee äärde põllu peale. Katusetahu mõõtmed olid 3 x 4 m, kalle 45° ja katuse pikitelg ida-

lääne suunaline, tahk oli kaldega põhja. Kõik katusetahud olid erineva konstruktsiooniga, va traditsioonilise ehitusega hari, kus roog asetati harjale maapinnaga paralleelselt ja kinnitati harjamalkadega.



Joonis 3.33. Petri Iivonen käpaga harja tasandamas

Eesmärk oli ehitada katused võimalikult tõetrult, vaatamata sellele, et need tuli põletada. Roog toodi Eestist ja katuse ehitust juhatas eesti meister Siim Sooster. Kaks ehitusosakonna üliõpilast Turu Rakenduskõrgkoolist projekteerisid katused ja kaks sama kooli tudengit osalesid katuste ehitamisel.



Joonis 3.32. Siim Sooster roogkatuse ehitajaid juhendamas (autori foto)



Joonis 3.34. Veli-Matti Saaren-Kierola üle harja ulatuvat roogu lõikamas (autori foto)

Katse jaoks ehitatud katuste konstruktsioonid

1. Pilliroog 250 mm, puitplaat 12 mm, sarikad 100x50 mm, sammuga 600 mm.
2. Pilliroog 250 mm, roovid 50x50 mm, sammuga 350 mm, sarikad 100x50 mm, sammuga 600 mm ja nende vahel tselluvill 100 mm, ehituspaber
3. Pilliroog 250 mm, roovid 50x50 mm, sammuga 350 mm, Sepatec klaaskiudkangas, sarikad 100x50 mm, sammuga 600 mm ja nende vahel Isover klaasvill 100 mm, aurutõke 0.2 mm.

Katse käik

Põletamise katse viidi läbi 7.3.2013 kell 14:00. Päev oli päikesepaistaline, õhutemperatuur -5 °C ja puhanguiline tuul põhjasuunast. Tuul põhjustas tule levikut süütamise punktist vasakule.

Katse algas kõigi kolme katuse üheaegse süütamisega katuseräästa keskelt gaasipõletit kasutades. Kohal olid ka vabatahtlikud tuletõrjeüksused Rantakulmast ja Kuusistost. Lisaks veel u 30 niisama uudistajat. Katse käik dokumenteeriti.



Joonis 3.35. Katuste üheaegne süütamine kell 14.15 (autori foto)

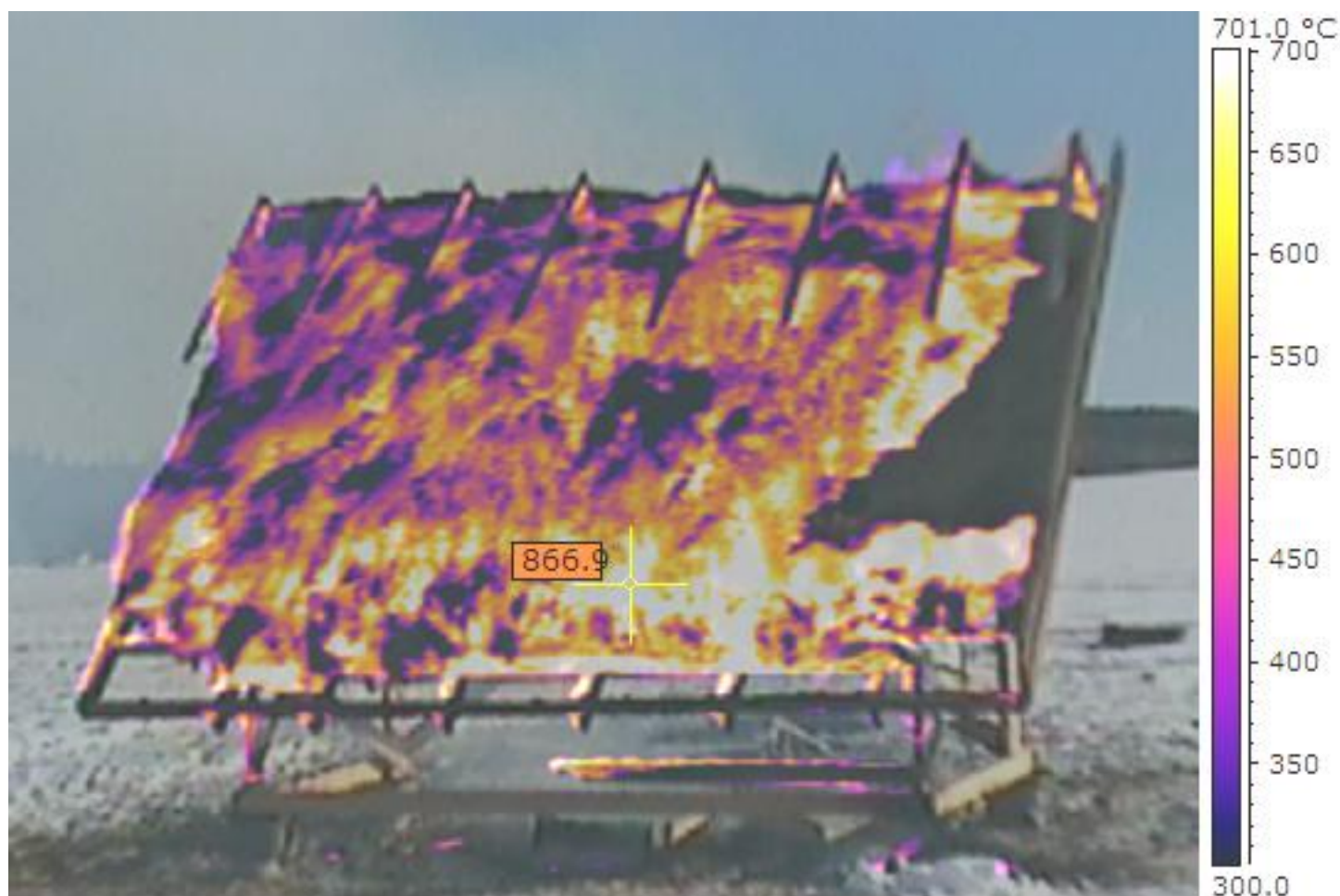
Katse käik

- 10 minutiga olid pooled katuse servadest tuld võtnud.
- 13 minutit peale süütamist oli katuste nr 1 ja 2 pilliroost kate leekides.
- 18 minutit pärast süütamist oli katus 2 maani maha põlenud.



Joonis 3.36. Süütamise ajal katusest 1 soojuskaamera tehtud pilt (autori foto)

- 24 minuti pärast prooviti katust 1 kustutada. Selleks ajaks oli katuse vasak pool põlenud.
- 35 minutiga oli katus 3 maani maha põlenud, kuid klaaskiust aluskate oli enamvähem terve. Selles oli üks umbes 10 cm diameetriga auk ja üksikud väikesed põlenud kohad.



Joonis 3.37. Soojuskaameraga tehtud pilt katusest 1 22 minutit pärast süütamist, põlemistemperatuur räästatsoonis on $>1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ (autori foto)

Tule levik

Kuna ilm oli katsepäeval väga tuuline, siis seoses sellega tehti alljärgnevad tähelepanekud.

Esiteks oli kuumuskiirus selgelt tuntav tuulealusel küljel 4 m kaugusel põlengust isegi siis, kui leegid jäid suhteliselt madalaks. Sellele vaatamata sai seal seista ja tuld vaadata, olgugi et 12 m^2 katust põles. Teiste tingimuste korral võinuks kuumuskiirus olla märgatavalt suurem.

Teiseks – kuigi rookiht ei põlenud väga tugevasti ja seda suudeti vahepeal osaliselt kustutada, süttis söestunud roog tugevate tuuleiilide tõttu uuesti.

Puhanguline tuul muutis kustutustööd keerukaks. Järeldus sellest: põlev roog tuleks kustutustööde käigus katuselt võimalikult kiiresti alla tõmmata ja

kui võimalik, siis ka veel süttimata roog ning kõik see ka hoonest eemale saada kasutades selleks sobivaid vahendeid. Ei tohi loomulikult tähelepanuta jätta, et ka hoone ümbruses võib olla kergesti süttivaid materjale. Samas olid ju katsekatused ehitatud lumisele põllule, mis oleks olnud piisavalt ohutu ümbrus kuhu põlev roog maha tõmmata, seda aga ei tehtud.

Surve all tulev kustutusvesi võib põhjustada lisakahju konstruktsioone leotades ja isegi purustades. Seda võimalust arvestades soovitaksime paigaldada rookihi alla veekindla aluskatte, mis aeglustaks põlengu protsessi ja suudaks päästa siseviimistlust. Konstruktsiooniosad nagu mineraalvilla kiht, roovid ja siseviimistluse kiht saavad tavaliselt kustutusvee tõttu tugevasti kahjustada.

Tähelepanekud ja järeldused

Tuul mõjutab tule levikut ja hapniku lisandumist tulekoldesse märkimisväärselt. Puhangu ajal leegid suurenevad ja tuli levib tuule suunas. Paks rookiht küll mõnevõrra lämmatab tuld ja tihe aluskate takistab tule levikut katusekattelt siseruumidesse.

Tugev tuul aga võimendab nii tuld kui kuumust ja laseb neil tungida sügavamale rookihi sisse. Antud katse võimaldas jälgida, kuidas tihedam rookiht põles kõige aeglasemalt. Seega tuleb tähelepanu pöörata pilliroo paigaldamisel katusele, sest tihe rookiht kaitseb paremini nii sadevee eest kui takistab ka kiiret põlemist tulekahju puhkedes.

Roogkatuse tihedusest ja veepidavusest rääkides saame võrrelda kaht eri tüüpi katusekonstruktsiooni: ventileeritavat ja mitteventileeritavat. Esimene neist kuivab märjaks saades kiiremini, kuna rookihi all on tuulutusvahe ja vesi aurab välja nii tuulutusvahesse kui ka välisõhku. Tulekahju puhkedes töötab tuulutusvahe aga nagu lõõr transportides põlengukoldesse lisahapnikku ja sel moel tuld õhutades. Altpoolt mittetuulutatav konstruktsioon on tuleohutum, sest hapniku juurdepääs tulekoldele on takistatud. Konstruktsiooni valik on sellele vaatamata kahe otsaga asi: kas valida tuleohutus või katusekonstruktsiooni kiirem väljakuivamine.

Suurt tähelepanu tuleb pöörata konstruktsiooni detailidele, sest tuli levib nõrgestatud konstruktsiooni mööda. Katse käik tõestas seda, kuna katusele 3 paigaldatud klaaskiudkangas ei ulatunud piisavalt kaugemale üle räästa ja harja ning sealt tungis tuli läbi.

3.9. Roogkatuse kui lisasoojustuskiht

Karel Lilleste, Meeli Kams, EMÜ maaehituse osakond

Roogkatusega hooned on iseloomulikud Lääne-Eesti mandriosa ja saarte maastikupildis. Oma väliskujult jagunevad roogkatused viil- ja kelpkatusteks. Järsud 45° ja suurema kaldega roogkatused määravad kogu hoone üldilme. Võrreldes välisseinte kõrgusega, on katus vahel kuni kaks korda kõrgem, mis tähendab, et katuse alla jääb suhteliselt suur ruum, mille

Kõikide katuste alla oleks tulnud ehitada ka sein osa. Oleks piisanud 28 mm laudisest või tulekindlast 15 mm kipsplaadist. Ilma seinata katuseräästas süttis kiiresti ja sealtkaudu levis tuli katusekonstruktsioonile ja katusetahule. Katus 2 kannatas seetõttu kõige rohkem. Kõigepealt süttis ja kukkus alla mineraalvilla hoidmiseks paigaldatud ehituspaber ja seejärel tselluvilla paneelid. Kui põleng süttib väljaspool maja, siis soojustusmaterjal kaitseb all-olevat konstruktsiooni tule ja kuumuse eest, aga antud katse käigus (teiselt poolt kaitsmata katus) ei olnud soojustusmaterjalil mingit kasulikku efekti.

Üldiselt tuleks pöörata enam tähelepanu katuse detailidele: räästad, hari ja üldse kõik servaalad on süttimisohhtlikumad ja tuletundlikumad kui katuse kesekoht ja seda tuleks ka planeerimisel arvestada.

Uues väljaantavas Soome ehitusteabe kaardis roogkatuse kohta on mitmeid soovitusi katuste tuleohutumaks muutmiseks. Altpoolt vaadeldav roogkatuse räästas on küll ilus, kuid mitte tuleohutu lahendus. Räästaalust on võimalik kaitsta kasutades ehitusplaate, mis ei ole eriti kaunis või räästas olevat roogu tulekaitse vahendiga pritsides. Üks võimalik lahendus on ehitusplaatide peitmine. Arvestades, et puidu söestumise kiirus põlengu ajal on 0,8 mm minutis peab 12 mm paksune puitplaat tulele vastu 15 minutit. Kalkuleerides tulepüsivuse ajaks 20 minutit tuleb kasutada veel 7 mm paksemat plaati ning 31 mm plaat annab juba 30 minutilise tulepüsivuse.

peal on heade soojusisolatsiooni omadustega roogkatuse. Traditsiooniliselt pidi roogkatuse all oleval põõningul õhk saama liikuda, kas siis räästapilude või kelpkatuses oleva kolmnurkse otsaakna ehk unka kaudu.

Vanasti inimesed soojustamisest eriti ei hoolinud. Tänapäeval, turismi edenedes, on hakatud taludes

pööninguruume suvitusruumideks ümber ehitama ja need peavad iseenesest mõistagi olema soojad ja mugavad. Selle vajaduse tekkimine viis roogkatusega kaetud hoonete pööningute soojus-niiskusrežiimi uurimiseni olukorras, kus räästapilud ja unkaaugud on suletud. (joonis 3.42).

Uuriti:

- 1) Kas ja kuidas õhu liikumise vähenemine mõjutab pööningu sisekliimat ja katuse-roo seisundit;
- 2) roogkatuse soojusjuhtivust;
- 3) kuidas pööninguõhu temperatuuri muutused mõjutavad jääpurikate teket erinevate välisõhu temperatuuride ja lume erineva tiheduse korral.

Kokku uuriti kaheksat roogkatusega hoonet (Sõber 2013), mis asusid Lääne-Eesti saartel.

Kaks uuritavat talu olid Hiiumaal (Lilleste 2012), neli Muhumaal ja kaks Saaremaal. Hiiumaal toimusid uuringud valdavalt 7. detsembrist 2011 kuni 15. aprillini 2012 (Sõber 2013), kuid soojus- ja niiskusrežiimi muutusi pööningutel mõõdeti ka suvekuudel. Mõõtmised Saaremaa ja Muhumaa taludes toimusid alates 01.11. 2012–25.04. 2013. Uuringute läbiviimiseks tihendati räästapilud neis hoonetes, kus seda ei olnud tehtud ja suleti unkaaugud ning soojustati otsaseinad. Vajadusel ehitati pööningule lisaks kergkonstruktsiooniga vahesein, et eraldada köetavate ruumide ja mitteköetavate ruumide peal asuvad pööninguosad teineteisest.

Uuritavatest hoonetest parema ülevaate saamiseks tehti kõigi talude kohta ülesmõõtmisjoonised, sh ka lõiked ja pööningute plaanid. Kõigist taludest tehti ka fotod (joonised 3.38, 3.39 ja 3.40).



Joonis 3.38. Uuritud hooned. Ülal haavalaudadega kaetud roogkatuse hari ja all kelpkatus traditsioonilisel moel harjamalkadega kinnitatud harjaga ja kelbas oleva unkaauguga (fotod: S. Sõber)

Lõige 1-1
Põrand:
lauad 25 mm,
talad 120 x 120 mm,
c/c 1000 mm,
soojustuskiht,
liiv.

Lõige 2-2
Maakividest
vundament 200 mm

Technical drawing showing a cross-section of a building with a gabled roof. The drawing includes dimensions for the roof height (+5.500), ridge height (+3.920), and floor level (+2.480). The building has a central window and a door on the left. The foundation is shown at the bottom with a level of -0.575. The drawing is labeled with 'Lõige 1-1' and 'Lõige 2-2'.

Välissein D kujulistest
palkidest 170 mm

Pööningu põrand:
lauad 25 mm,
talad 170 x 150 mm, c/c 600 mm,
kivivill 170 mm,
talad 170 x 170 mm, c/c 1600 mm,
termoliit 50 mm,
savi-liiva segu 30 mm,
lauad 25 mm,
roovid 40 x 40 mm,
laudis 25 mm.

Katus:
harjamalgad, d = 80 mm
c/c 400 mm,
roog 300 mm,
sarikad d = 120 mm
c/c 2000 mm,
roovid d = 70 mm
c/c 370 mm ja nende
peal surveleatid.

50

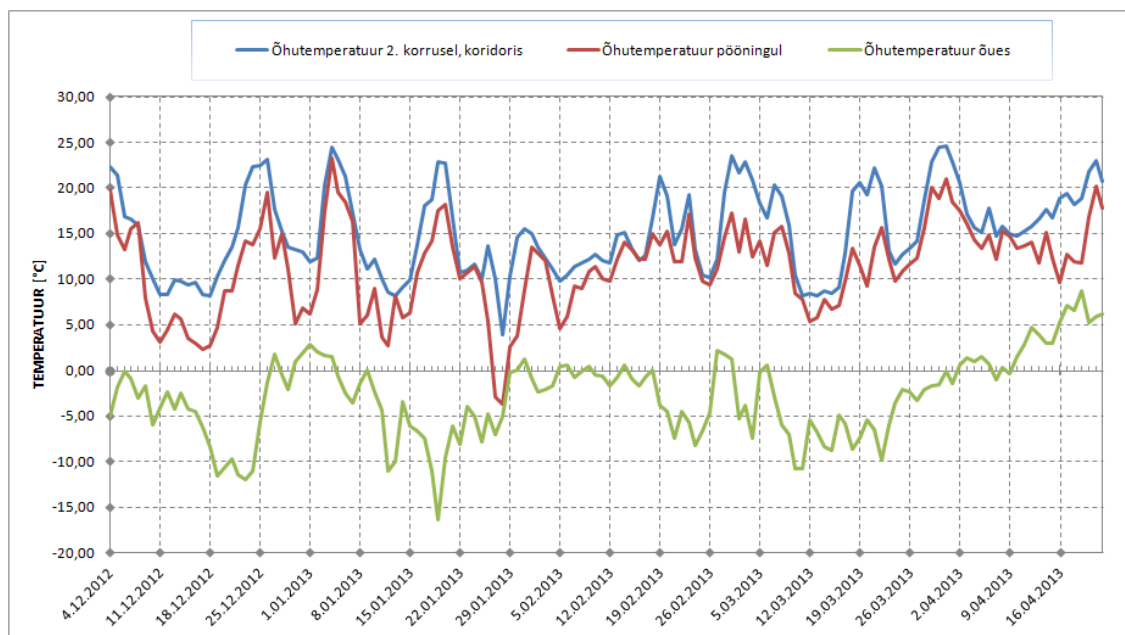
Põrandalauad 25mm
Talad 170 x 50mm, s. 600mm
Laetlad 170 x 170mm, s.
1) termoliit ~ 50mm
2) savimääre 30mm
2) poola laudis 25+25mm
3) latid 40 x 50mm
Laelaudis 25mm

Põrandalaud 25mm
Talad 100 x 50mm, s. 600mm,
vahel kivivill 100mm
Poola laud's 25 + 25mm
Laetlad Ø 220mm, s. 1600mm

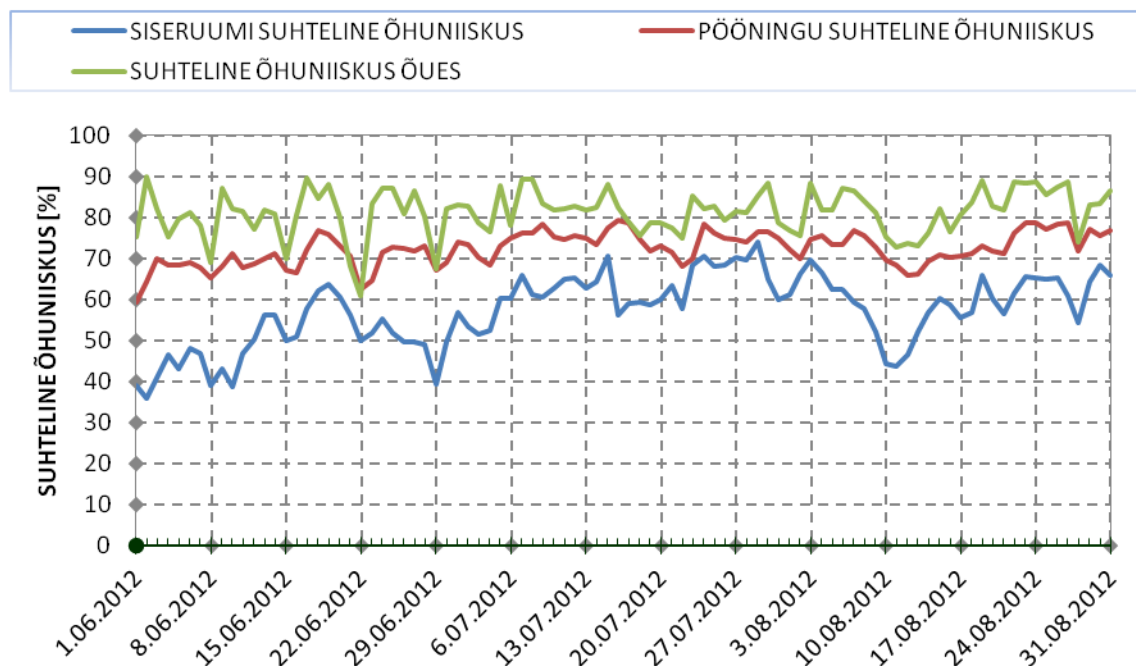


Nii talvel kui ka suvel mõõdeti pööningul, siseruumis ja õues õhutemperatuure (joonis 3.41) ja õhu suhtelise niiskuse sisaldust (joonis 3.42). Mõõtmised näitasid, et vaatamata õhuliikumise vähenemisele ja

keskmise õhu temperatuuri tõusule pööningul räästapilude ja unkaaukude sulgemise tõttu ei muutunud tingimused seal hallitusseente tekkeks ja arenemiseks sobivateks (Lilleste 2012, 2013 b).



Joonis 3.41. Õhutemperatuuride muutusi iseloomustav graafik



Joonis 3.42. Õhu suhtelise niiskuse muutusi iseloomustav graafik

Suvekuudel jäid temperatuurid uuritud pööningutel vahemikku 11–20 °C ja õhu niiskusesisaldus oli samal ajal 60–72%, talvekuude keskmised temperatuurid olid vahemikus 0–14 °C ja õhu maksimaalne niiskusesisaldus oli 78% 0 °C juures ja 42% 14 °C juures.



Joonis 3.43. Korralikult soojustatud pööning (foto: S. Sõber)

Kuna enamus hallitusseente eoseid vajab arenemiseks ja kasvamiseks 70% RH substraadi lähedal (optimaalne RH on 90–100%) ja õhuhetepatuuri 20–30 °C (Hiss Reet 2013) siis graafikutelt näeme, et orgaanilise aine biodegradatsiooni ohtu pööningutel ei tekkinud. Olukorra veelgi paremaks hindamiseks võeti katuse pööningupoolsest pilliroost katseaja jooksul kaks korda proovikehad ja mõõdeti nende veesisaldust. Määratud veesisaldus katsekehades oli vahemikus 8,6–14%, mis on vähem kui hallituse tekkeks ja kasvuks sobiv (Sõber 2013).

Saaremaa katseobjektidel mõõdeti kütteperioodi jooksul pööningu õhu temperatuuri enne ja pärast räästapilude sulgemist, soojustatud vaheseina ehitamist kütmeta ja soojade siseruumide kohal oleva pööningu eraldamiseks, lisasoojustuse paigaldamist räästa piirkonda ja otsaseina. Soojustamise tulemusena ja räästapilude sulgemise tõttu tõusis pööninguõhu temperatuur 1.7 °C (Lilleste 2013). Seoses sellega vähenesid soojakaod läbi vahelaie ja ka küttekulud üldiselt. Küttekulude sääst saavutati roogkatuse kui lisasoojustuskihi kasutamise tõttu.



Joonis 3.44. Jääpurikad roogkatuse räästas (foto: S. Sõber)

Mitmeaastaste uuringute tulemusena (Lilleste 2013 a, arvutati roogkatuse soojuserijuhtivus $\lambda = 0.18 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ lumeta katusel võttes arvesse nii konduktsiooni kui ka konvektsiooni teel liikuvat soojust (Lilleste 2013 b).

Kuna uuringute ajal märgati, et ühe katseobjekti katuseräästasse on tekkinud suured purikad (joonis 3.44), siis arvutati purikate tekkimist põhjustava temperatuuri suurust pööningul lume erinevat tihedust ja välistemperatuuride muutusi arvesse võttes. Nimetatud hoone vahelaegi oli halvasti ja ebaühtlaselt soojustatud ja pööningu õhutemperatuur oli kogu aeg kõrge. Arvutused näitasid, et kui keskmine õhutemperatuur pööningul on +11,4 °C, siis pehme lumi hakkab sulama välistemperatuuril -4 kuni -5 °C, kergelt kokkupressitud lumi sulab temperatuuril -2 kuni -3 °C ja tihe lumi sulab välistemperatuuril > -1 °C. Maksimaalne keskmine ööpäevane temperatuur sellel pööningul oli 23 °C ja arvutuste põhjal hakkaks lumi sellisel juhul katusel sulama isegi siis, kui välistemperatuur on -8 kuni -9 °C (Lilleste 2013 c).

Kõik mõõtmised objektidel sooritati kasutades Almemo andmesalvestajat ja HOBO vastavaid mõõtmisseadmeid HOBO U12 temperatuuri/suhtelise niiskuse mõõtja (Almemo 2005, Onset HOBO 2013).

Kirjandus

Almemo®Manual. For all Almemo® measuring instruments up to version 6. 5th revised edition. Holzkirchen, 2005.

Hiss Reet. Growth of microorganisms on thatched roofs. [<http://www.hiss-reet.com/constructions-with-reed/thatched-roof/thatched-roof-architecture/microorganisms-on-thatched-roofs.html>] (15.06.2013)

Lilleste, K. a. Pilliroost katusega elamute pööningute soojus- ja niiskusrežiim. Magistritöö maaehituse erialal. Tartu: EMÜ 2012 lk 125

Lilleste, K. b Tartu Kraavikalda 8 mõõtmistulemuste aruanne. Projekti Cofreen aruanne, publitseerimata. Tartu: EMÜ 2013 lk 20

Lilleste, K. c Lääne-Eesti saarte pilliroost katusega elamute pööningute soojus- ja niiskusrežiim ning õhuvahetus. Mõõtmistulemuste aruanne projekti Cofreen raames ja finantseerimisel, publitseerimata. Tartu: EMÜ 2013 lk 75

Masso, T. Ehituskonstruktori käsiraamat. Tallinn: Ehitame 2012 lk 577

Onset: HOBO Data Loggers. HOBO U12 Temperature/Relative Humidity Data Logger. [<http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/>] (22.05.2013)

Reinpuu, R. Ehitusfüüsika. Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkool, 2006 lk 46

Sõber, S. Pillirookatusega elamute pööningu soojus- ja niiskusrežiim ning õhuvahetus. Magistritöö maaehituse erialal. Tartu: EMÜ 2013 lk 90



Pildid uuritud hoonetest (fotod: S. Sõber)

3.10. Pilliroo-savi kergplokid

Kristina Akermann, EMÜ maaehituse osakond

Roojääkide täielikumaks ära kasutamiseks on võimalik roogu segada saviga ja valmistada kergsaviplokke. Meil omal ajal ehitatud savihooned on vastu pidanud tänase päevani, kui katus on olnud terve. See- ga võib väita, et savihoone kestab. Massiivsavist hoonete puuduseks on olnud seinte vähene soojapi- davus. Selle parandamiseks on juba endistel aegadel segatud savi sisse soojustakistust suurendavaid ma- terjale, enamasti õlgi. Eesti Maaülikoolis tehti katsed pilliroo-savi kergplokkidega Interreg IV A projektide ProNatMat ja Cofreen raames. Pilliroost ja savist valmistati erineva tihedusega kat- sekehad, mille survetugevust ja soojuserijuhtivust mõõdeti. Survetugevuse mõõtmisel kasutati standar- dis EVS-EN 826:1999 kirjeldatud meetodikat ja kat- sed tehti katsemasinaga П-125. Soojuserijuhtivuse katse tehti kliimakambris Feutron 3007-5, kasutades soojusvoo mõõtmise plaati, tempe- ratuuriandureid ja andmesalvestajat Almemo. Saadud tulemused on esitatud tabelis 3.7. Materjali tihedus määrati eraldi kõigi katsetatud plokkide jaoks. Kuna looduslikest materjalidest teh- tud katsekehade puhul on raske katsematerjali ühe- taolisust saavutada, on valmistatud katsekehade tihe- dus isegi materjali sama mahulise koostise korral erinev, mida näeme tabelist 3.7, kus on eraldi välja toodud väärtused: tihedus 1 (määratud plokkide sur-

vetugevuse katsetamisel) ja tihedus 2 (määratud plokkide soojuserijuhtivuse mõõtmisel). Tabelist 3.7 ilmneb, et survetugevus on halvim katsekehal CRB- 3, kus savi ja pilliroohakke suhe oli 1:4-le, parem aga plokkides, kus pilliroole oli lisatud ka linaluud. Tõe- näoliselt linaluu peenemad osakesed (võrreldes roo- hakke suuremate ja libedamate tükkidega) kleepusid savi külge tugevamini ja seetõttu oli ka ploki surve- tugevus suurem.

Tabelist 3.7 näeme ka, et soojuserijuhtivuse ja ploki tiheduse vahel on seosed märksa väiksemad. Kuna katsetatud plokkide arv oli siiski väga väike, siis mingit statistiliselt usaldatavat järeldust teha ei ole võimalik ja katsetega tuleks jätkata. Samas on fakt see, et kõigi pilliroo-savi kergplokkide soojuseri- juhtivus oli vahemikus 0,102–0,125 W/mK. Kergsa- viplokkide kasutamisel tuleb kindlasti silmas pidada, et poorne materjal ei ole õhutihe, mistõttu neid kasu- tades tuleb seina õhutihedus tagada muul viisil, nt krohvides.

Pilliroogu on Eestis ammustest aegadest alates kasu- tatud katusekattematerjalina ja igal juhul väärib kaa- lumist ka roo kasutamine soojustusmaterjaliks ja kergsaviplokkide valmistamiseks.

Tabel 3.7. Pilliroo-savi kergplokkide soojuserijuhtivus ja survetugevus sõltuvalt ploki tihedusest (Akermann *et al.* 2012) (Plokkide soojuserijuhtivuse määras M-J. Miljan)

Ploki tähis	Koostisosade mahuline osakaal; sa- vi, pilliroog, linaluu	Tihedus 1 kg/m ³	Survetugevus N/mm ²	Tihedus 2 kg/m ³	Erisoojus- juhtivus W/mK
CRB-1	1:2:0	788	0,4	690	0,125
CRB-2	1:3:0	605	0,4	486	0,102
CRB-3	1:4:0	558	0,3	425	0,112
CRB-4	1:1:2	651	0,5	561	0,124
CRB-5	1:2:2	699	0,5	612	0,117

4. Pilliroog kui taastuv energiaallikas, seadmed ja tehnoloogiad pilliroo kasutamisel energia tootmiseks

Ülo Kask, Livia Kask, TTÜ soojustehnika instituut

Olemasolevad pilliroovarud, inim- ja looduslikud tegurid

Pilliroo kasvamistingimused

Roostike tihedus, biomass ja morfoloogilised omadused sõltuvad tingimustest elupaigas, nt kliima- ja valgustingimused, soolsus, vee sügavus, troofilised tingimused ja nende tegurite koostoimest. Need sageli muutuvad tingimused elupaikades võivad põhjustada biomassi hulga suuri kõikumisi aasta lõikes. (Iital et al., 2012).

Roostike struktuur ja selles elavate liikide koostis läbilõikes merest rannani on muutuv. Pilliroog saab kasvada ainult madalas vees (<1.0 m) ja pilliroo kooslused on tavaliselt valitsevad vees, mille sügavus on alla 0,3 meetri (Roostike..., 2008).

Pilliroog kasvab enamikel mullatüüpidel, peenest savist kuni saviliivani, kuid eelistab pinnast, kus orgaanilise aine sisaldus on suur. Ta on üsna tolerantne pinnase pH suhtes, mis võib erineda alates 3,6 kuni 8,6, kuid tavaliselt peaks pH olema 5,5–7,5 (Roosaluste, 2007). Seega viitab pilliroo esinemine kergelt happelistele lämmastikurikastele tingimustele. Pilliroog on tolerantne ka soolsuse suhtes, mis võib optimaalselt varieeruda 0 kuni 15 psu – (praktiline soolsuse ühik) (Huhta, 2007). Seetõttu võib pilliroog leida soodsad tingimused nii magevees kui ka riimvees. Mitmed uuringud on näidanud soolsuse kasvu negatiivset mõju pilliroo tihedusele, kõrgusele, kõrre läbimõõdule, biomassile ja risoomides olevatele varudele (Iital et al., 2012).

Toitainete kättesaadavus, eriti lämmastiku, ja viljakas pinnas suurendavad tavaliselt võrsete arvu, kõrgust ja massi. Tõusev troofiline tase, mis suurendab võrsete läbimõõtu ja pikkust, muudab nad üsna nõrgaks ökoloogiliste häirete või mõne teatud kasutusviisi suhtes (nt rookatuste ehitamine). Suvel ja talvel talletatakse risoomidesse hulgaliselt toitaineid, mis hõlbustab

sõltumata fotosünteesist kiiret kasvu kevadel. Uutele aladele levimist võivad mõjutada ka lained, ökoloogilised häired, toitainete kättesaadavus ja konkurents teiste liikidega (Iital et al., 2012).

Pilliroo biomassi produktiivsus

Pilliroog on Läänemere regioonis üks kõige produktiivsemaid taimeliike tänu oma kõrgele bioproduktioonile märgala pinnaühiku kohta. Pilliroo biomassi kogus sõltub pilliroo vanusest ja struktuurist, veetasemest ning muu taimestiku rohkusest ja kasvutingimustest, mis võivad olla oluliselt erinevad (Räikkonen, 2007). Pilliroo produktiivsust võib eriti suurendada toitainete üleküllus. Maksimaalne hooajaline võrsete biomass suureneb põhjast lõunasse (Brix et al., 2001). Roostikus võib olla kuni 200–300 võrset 1m² kohta, kuid keskmine tihedus võib olenevalt kohalikest oludest olla palju väiksem (Roosaluste, 2007). Pilliroo kvaliteet ja tema biomass on samuti väga erinev, alates kuivast roostikust kuival maal, kus ta kasvab suuresti segamini muu taimestikuga kuni puhtalt pilliroo puhmastega vees. (Räikkonen, 2007). Seda aspekti tuleks arvesse võtta ka pilliroo kasutamise planeerimisel.

Maapinnas kasvava pilliroo biomassi kogus (risoomid, juured) on tavaliselt suurem kui maapealse osa oma, kuid ainult osa sellest on samal aastal kasvanud (Fiala 1976, Szczepahska, 1976). Pilliroog annab tavaliselt maapealset biomassi umbes 1 000 g kuivainet 1 m² kohta, kuid teatatud kohtades ja tingimustes ulatub produktsioon kuni 7 700 g kuivainet 1 m² kohta (Soetaert et al., 2004), mis Euroopa põhjaosas on palju väiksem. EUREED II projekti tulemused näitasid, et maksimaalne hooajaline pilliroovõrsete biomassi juurdekasv on Läänemere põhjaosas ainult 300–400 g/m² (Brix et al., 2001). Õigupoolest on maapealse pilliroo puhastoodang võrsete hävimise, lehtede langemise ja kariloomade karjatamise tõttu kasvuperioodil umbes 3–15% väiksem kui maksimaalne biomass (Iital et al., 2012).

Eestis oli ajavahemikus 2006–2011 kaalutud pilliroo keskmine suvesaak (kuivainena) $9\,140\text{ g/m}^2$ (9,14 t/ha), talvisel pillirool $7\,360\text{ g/m}^2$ (7,36 t/ha). Pilliroo talvine saagikus oli lehemassi kao tõttu 24,5% väiksem kui suvel (Ü. Kask, avaldamata). Talvel kogutud kuiva (niiskuse sisaldus 16,2–19,3 %) pilliroo biomass Kura lahes (Leedu) varieerub 5 kuni 40 t/ha, olenevalt asukohast ja toitainete sattumisest veestiku (Balevičiene et al., 2007). Niedermooris (Saksamaa) on keskmine biomassi hulk 12,5 t/ha, kuid võib mõnes kohas ja erinevatel aastatel olla enam kui 20 t/ha (Wichmann ja Wichtmann, 2009). Keskmine biomassi hulk erineb sõltuvalt asukohast ja kohalikest tingimustest palju ka teistel Saksamaa märgaladel (Timmermann, 2003). Soomes Hirvensalo ja Salo piirkonnas tehtud uuringud näitasid, et kuiva pilliroo keskmine biomassi hulk jääb 5–7 t/ha vahele ja võib ulatuda kuni 12 t/ha (Räikkönen, 2007). Üsna sarnased saagikuse tasemed (4,6–7,4 t/ha kuivainet) said ka Isotalo jt (1981). Suhteliselt kõrged saagikuse tasemed näitavad, et tõenäoliselt võiks lisada ka mõne varasema vegetatsiooniperioodi jäägid (W. Wichtmann'i kommentaar). *Phragmites communis*'e maksimaalne hooajaline elus risoomide biomassi hulk on tavaliselt palju suurem kui maapealse biomassi oma, varieerudes umbes 3 000 kuni 11 000 g kuivainet 1 m^2 kohta ja võib ulatuda kuni 16 800 g kuivainet 1 m^2 kohta. Põhjapoolsetel pilliroo populatsioonidel on suhe risoom-võrse suurem kui lõuna populatsioonidel (Brix et al., 2001).

Läänemere regiooni roostikud

Pilliroogu võib leida paljudel Läänemere rannikualadel, kus see kasvab vee- ja maismaa keskkonna vahelistel aladel ja kus kasvutingimused on nende taimede jaoks soodsad. Pilliroo ruumilist jaotust on raske hinnata, sest mitte kõik riigid ei tee roostike (piirkondade) ja rooväljadel kasvava biomassi hulga aastainventuuri. Rooväljade pindala on üsna muutuv ja võib aasta jooksul sõltuvalt laienemise kiirusest, talvistest jääoludest, karjatamiskohtade muutumisest ja pilliroo lõikamisest palju muutuda. Väga raske on seada piire mere- ja maismaa keskkonna vahele. Rooväljad on viimase kümne aasta jooksul mõnes Läänemere regioonis väga kiiresti laienenud. Pealiskaudne inventuur, mis võib osaliselt sisaldada ka rannikujärvede roostikke, annab hinnanguliselt roostike kogupind-

alaks Läänemeres rohkem kui 300 000 ha. Rootsis on suurimad varud, üle 230 000 ha, Eestis ligikaudu 20 000 ha (Iital et al., 2012). Näiteks Doonau deltas laiuvad roostikud, kus hinnanguliselt kasvab monokultuurina harilik pilliroog, ligi 200 000 ha (Rodewald-Rodescu, 1974).

Pilliroo laienemist uutele aladele võivad mõjutada lained ja jääolud, ökoloogilised häired, nt põud ja pakane, kariloomade karjatamine, niitmine, toitainete kättesaadavus ja konkureerimine teiste liikidega (Roosaluste, 2007). Regulaarne kariloomade karjatamine võib pärssida pilliroo kasvu ja seetõttu on mõnel rannaalal pillirooväljad kahanemas. Näiteks Saksamaal eelistatakse rannikualasid ümber kujundada karjatamise teel (<http://www.hiss-reet.com>). Viimastel aastakümnetel on Euroopas paljudes kohtades täheldanud pilliroo kärbumist inimtegevuse tõttu tekkinud keskkonnamuutuste mõjul (Van der Putten 1997, Brix 1999 ja paljud teised autorid). Pilliroo vähene kasutamine, sh niitmise ja karjatamise lõpetamine, paljudel rannikualadel Euroopas (nagu ka Eestis) on põhjustanud hariliku pilliroo väljade laienemist. (Pitkänen et al., 2007). See protsess on tõenäoliselt kiirem ka keskmise õhutemperatuuri tõusu tõttu. Paljud Läänemere-äärsed märgalad on muudetud looduskaitsealadeks, mis tõenäoliselt vähendab samuti pilliroo kasutamist. Neil aladel võib pilliroo majanduslikuks kasutamiseks olla vaja eriluba. Seetõttu võib pilliroogu leida maa ja mere piiril kasvamas paljudes piirkondades piki Läänemere rannikut (Pitkänen et al., 2007).

Pilliroo kogu maapealne biomass piki Läänemere rannikut on umbes 0,45–1,5 miljonit tonni eeldusel, et pilliroo potentsiaalne keskmine aastane kasutatav biomassi hulk on 3 kuni 10 tonni ha kohta. Umbes kaks kolmandikku neist varudest on Rootsis kui arvesse võetakse roostike ala, mis hõlmab üksnes rannikualade roovälju. Kogu aastast saaki pole võimalik koristada, osaliselt keskkonnapiirangute tõttu. Seega võib kogu aastane kasutatav ressurss moodustada mitte rohkem kui ühe kolmandiku Läänemere maapealsest biomassist tervikuna, mis ulatub ligikaudu kuni 0,5 miljoni tonnini. Kaitsealustel rannaaladel võib pilliroo aastane kasutatav ressurss olla palju väiksem (15–20%) (Roostike..., 2008).

On mitmeid tegureid, mis soodustavad pilliroo kasutamist Läänemere piirkonnas, sealhulgas suured roos-

tikuga kaetud rannikualad, pikaajaline kasutamine, külmad talved, mis võimaldavad koristamist jää pealt, vastuvõetud poliitilised otsused fossiilkütuste asendamisest energiakorvis, paljud uurimistulemused ning koolitatud ja kvalifitseeritud tööjõu olemasolu. Talvise pilliroo niiskus on väike, mistõttu sobib ta energia tootmiseks ning vähendab kuivatamiskulusid. Seetõttu võib pillirooga kaetud alasid energia tootmiseks koristada üsna märkimisväärsel hulgal, mis näiteks Eestis ulatub 3 500 kuni 7 000 hektarini aastas (Holmberg, 2009) sõltuvalt pilliroo koristamisviisidest, keskkonnapiirangutest ja majanduslikust põhjendatusest. Pilliroogu ei tohiks koguda igal aastal samas kohas ja seetõttu peab igal aastal koristatud pind olema palju väiksem kui kogupindala, millelt roogu saaks energia tootmiseks koristada.

Kõikides Läänemere-äärsetes riikides on peetud veekaitset ja reovee puhastamist ebatraditsiooniliste meetoditega, sealhulgas märgalade süsteemidega, tähtsaks keskkonnakaitsealaseks eesmärgiks. Seega pakuvad suured roostikualad rannikupiirkondades head võimalust pärast tavalist töötlemist merre lastud heitvete järeltöötlemiseks.

Üsna suured roostikud Läänemere randadel asuvad suure tõenäosusega kaitsealadel, sealhulgas Natura 2000 aladel, mis võib piirata ressursside sihtotstarbelist kasutamist. Peamine eesmärk on säilitada nendel aladel rannikupiirkondades keskkonna teenused, mida pakuvad pilliroog ja roostikud. Näiteks umbes 4 000 ha roostikest Lääne-Eesti saarestikus asuvad looduskaitsealadel, kus prioriteediks on liikide kaitse ja talvine pilliroo kogumine on rangelt reguleeritud. (Roostike..., 2008).

Pillirookütus ja tema omadused (niiskus, tuhk, kütteväärtus, koostiselementid jne)

Harilikku pilliroogu on kasutatud erineval otstarbel juba ammustest aegadest. Nende kasutusviiside hulka kuuluvad rookatuste tegemine, majaseinte katmine pillirooga, loomadele söödaks varumine jne. Sellegipoolest on vajadus pilliroo kui ressursi järele viimastel sajanditel oluliselt vähenenud. Üsna uued pilliroo kasutusviisid, nagu näiteks biomassist kütuse või biogaasi tootmine, toormena kasutamine tselluloosi

tootmisel, heitvee järelpuhastamine, on viinud olukorrani, kus mitmed pilliroo tulused kasutusviisid on jäänud tänapäeval infolünka. (Meyerson et al., 2009). Biomass on üks tähtsamaid taastuvaid energiaallikaid maailmas. Nõudlus biomassi kasutamiseks energia tootmisel kasvab tohutult, olles sageli toetatud valitsuste meetmetega. Hariliku pillirooga arvestatakse ka kui paljutootava biomassi allikaga (Holmberg, 2009). Pilliroogu saab kasutada otsepõletamiseks tahke biokütusena ja muundada vedelaks biokütuseks (bioetanool) ning gaasiliseks biokütuseks (biogaas, biometaan).

Kuid pilliroo, kui potentsiaalse kütuse, omadusi tuleb uurida, sest pilliroo põletamiseks ettevalmistamise viis, põletustehnika (pindade saastumine, korrosioon), põletamisrežiimid ja keskkonnamõju (heitmete liik, heitkogused) olenevad neist omadustest. Sõltuvalt nii kasvukohast (mererannas või järve kaldal, jõesuudmetes, märgalade heitvee puhastussüsteemides) kui ka kogumise sesoonsusest (kas suvel või talvel) on pilliroo põlemistehnilised omadused mõningal määral erinevad. Kõige tähtsamad põlemistehnilised omadused on niiskus, kütteväärtus, lendaine sisaldus, tuhasus ja tuha koostis.

Niiskus

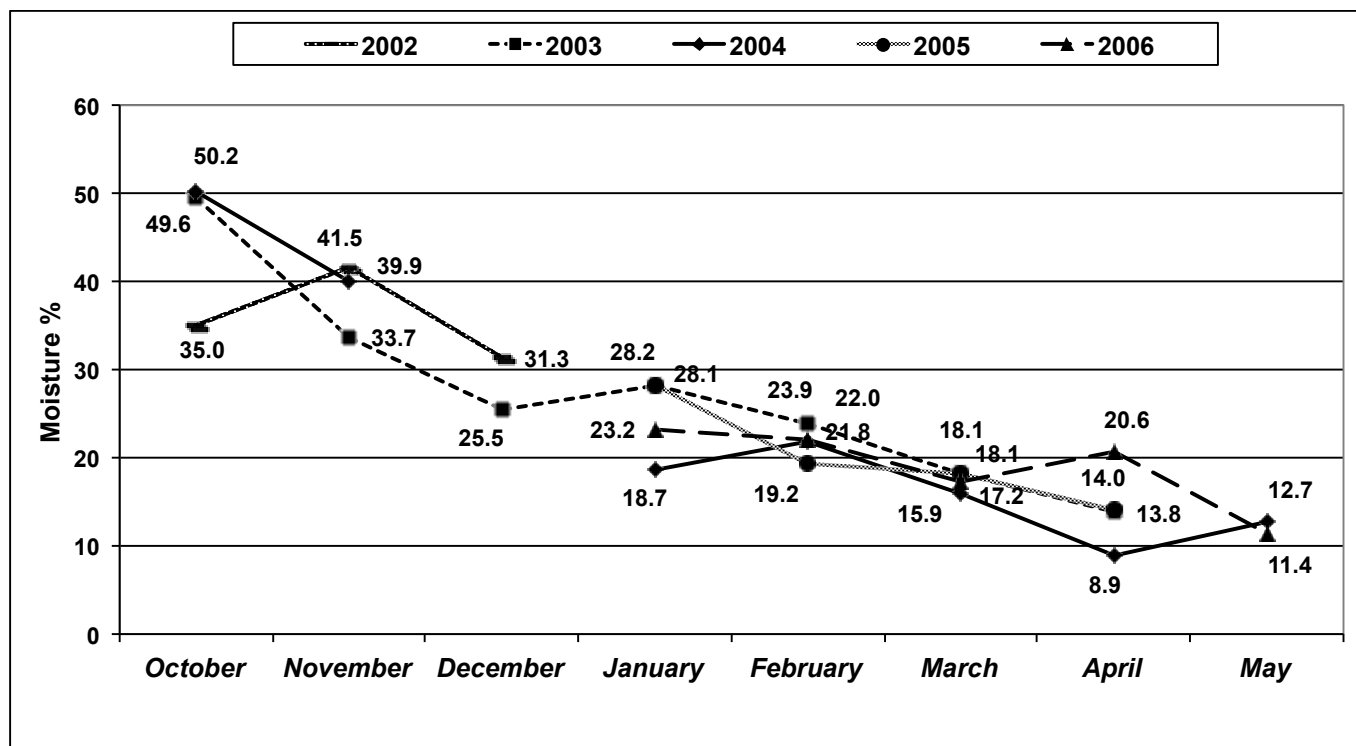
Suur niiskus vähendab kütuse kütteväärtust, suurendab suitsugaaside kogust ja halvendab süttimist ning põlemist. Energeetilise pilliroo niiskus muutub aasta jooksul oluliselt (joonis 4.1). Parima kvaliteediga pilliroogu niiskusega 18–20 % saab kütusena kasutamiseks Eestis koguda jaanuarist märtsini, umbes 90 päeval aastas. Suvel (juuli-august) kogutud pilliroo suhteline niiskus on 56% kuni 69% (enamasti juulis); kahe aasta (2006–2007) keskmine oli ~60% (TTÜ STI uurimused).

Pilliroo niiskust katlamajas saab arvutada järgmise valemi abil:

$$W^t = \frac{M - M_1}{M} \times 100\%,$$

M – märg pilliroomass (pilliroog katlamajas), kg,

M₁ – kuiv pilliroomass, kg.



Joonis 4.1. Oktoobrist maini kogutud pilliroo niiskus (2002–2006.; TTÜ STI) [Kask et al., 2007]



Joonis 4.2. Pilliroog kui kütus (pillirookõrte pikkus 5–10 cm) (foto: Ü. Kask)

Kütteväärtus

Pilliroo kütteväärtus on võrreldav teiste taimeliikide ja tahkete biokütuste kütteväärtusega (tabel 4.1). Pil-

lirookütuse kütteväärtuse (joonis 4.2) määrab peamiselt selle niiskus ja nagu näha joonisel 4.1 sõltub see palju kasvu- või lõikamise ajast.

Tabel 4.1. Tavalise pilliroo (kuivaine) kütteväärtus ja energiasisaldus võrreldes teiste kütustega (Alakangas, 2000)

Kütus (kütuse lähteaine), kuivaine	Alumine kütte- väärtus, MJ/kg	Energiasisaldus, MWh/t
Antratsiit	28,2	7,8
Raske kütteõli	40,6	11,3
Maagaas	33,5 MJ/m ³	-
Mänd	19,5	4,15 (õhkuiv)
Raiejäätmel (segu)	19,4	2,4 (niiskus 50%)
Viljapõhk	17,4	3,75 (niiskus 20%)
Päideroog	17,6 (kevad)	3,9 (niiskus 20%)
Kanep	17,35 (kevad)	3,75 (niiskus 20%)
Lina	18,8	4,1 (niiskus 10%)
Pilliroog	17,8 (talvel)	3,9 (niiskus 20%)

Pilliroo kütteväärtus Q_b määrati pommkalorimeetris (tabel 4.2). Tabelis on antud nii ülemine kütteväärtus $Q_{ül}$ kui ka alumine kütteväärtus Q_{al} . Kui põlemisgaasid lahkuvad põlemiskambri kõrge temperatuuril kui veeauru kondenseerumise temperatuur, kasuta

takse alumist kütteväärtust. Insener-majanduslikes arvutustes on mugavam kasutada niiske tarbimisaine (20% niiskuse juures) mahulist energiatihedust (E_{20}) kWh/kg, kWh/m³ või MWh/m³, MWh/t (viimane rida tabelis 4.2). Kuivaine kütteväärtus sõltub põlevaine hulgast ja tema keemilisest koostisest (tabel 4.2).

Tabel 4.2. Kuiva pillirookütuse kütteväärtus MJ/kg (TTÜ STI)

Parameetrid	Vahemik		Keskmine	
	Talv	Suvi	Talv	Suvi
Q_b	18,62–19,16	18,33–18,77	18,92	18,51
$Q_{gr, d}$	18,62–19,16	18,31–18,75	18,91	18,49
$Q_{net, d}$	17,48–18,01	17,02–17,44	17,77	17,21
$Q_{net, 20}^*$	13,68–14,86	13,16–13,49	14,17	13,31
$E_{20, MWh/t}^*$	3,80–4,13	3,65–3,75	3,94	3,70

* 20 % niiskuse sisalduse juures

Kuiva talvise pilliroo kui kütuse alumine kütteväärtus on umbes 17,5–18,0 MJ/kg, samas kui kuiva suvise pilliroo kütteväärtus jääb vahemikku 17,0 MJ/kg kuni 17,5 MJ/kg (Kask et al., 2007), mis on enam-vähem

samasugune kui teistel taimeliikidel (McKendry 2002 ja tabel 4.3). Pilliroovõrsete energiasisalduse (kütteväärtuse), mis on umbes 5 kWh/kg kuivainet, võrdlemine kütteõli energiasisaldusega, mis on umbes

12 kWh/kg, annab koefitsiendiks (kütteõli/pilliroog) 2,4 : 1 (Graneli, 1984).

Pilliroo energiavarud Eestis

Ajavahemikul 1996–2009 on Läänemere Eesti rannikualadel tavalise pilliroo kasvualade (roostike) laienemine. Kasvuala juurdekasv on viimase 13 aasta jooksul olnud umbes 2,5 kordne, mis tähendab keskmiselt 276 ha/a (Eesti riikliku ..., 2010).

Uuring, mis viidi 2011.a. läbi kuues Eesti rannäärstes maakonnas (tabel 4.3), näitas suvel ja talvel kogutud pilliroo primaarenergia sisalduses märkimisväärsed erinevusi. Primaarenergia kogusisaldus talvise pilliroo kuivaines on 575,6 GWh ja tarnitud pilliroo energiasisaldus 463,8 GWh (tüüpilise niiskuse W=20% juures kogumisperioodil jaanuarist aprillini). Suvel kogutud pilliroost kääritatud rohesilo primaarenergia kogusisaldus on palju madalam – 206,6 GWh.

Tabel 4.3. Eesti rannaroostike teoreetiline primaarenergia sisaldus (Ü. Kask, TTÜ, STI)

Maakond	Roostike pindala	Aastane saagis 2006-2011.a.		Primaarenergia sisaldus		Primaarenergia sisaldus, kui W=20%
		Talv	Suvi	Talv ¹	Suvi ²	Talv
	ha	Y _{DM} , t/ha	Y _{FM} , t/ha	DM, GWh	FM, GWh	GWh
Lääne-Viru	379	8,45	25,61	15,69	5,80	12,62
Harju	265	9,24	32,45	12,01	5,14	9,65
Lääne	8 000	4,96	16,81	193,65	80,37	156,34
Hiiu	2 685	8,36	18,55	110,01	29,76	88,44
Saare	7 387	4,62	14,01	167,24	61,85	134,46
Pärnu	1 343	11,77	28,27	76,98	22,67	62,28
Kokku	20 059	-	-	575,58	205,59	463,79
Keskmine	-	7,9	22,62			

¹ – Talvise pilliroo kuivaine kütteväärtus on 4,9 MWh/t ja pilliroo kütteväärtus niiskuse 20% juures 3,94 MWh/t.

² – Suvisest pilliroost on biogaasi saagis 166 m³/t_{FM} (värske roog) ja biogaasi kütteväärtus 6 MWh/1000 m³ (TTÜ STI-s tehtud uurimused).

Hinnanguliselt on Tartu Ülikooli Geograafia Instituudi märgalade kaardi andmetel Eesti roostike kogupindala ~26 000 (Kütuse ja ..., 2002). 2007.a läbi viidud uurimused annavad Eesti roostike kogupindalaks (kaasaarvatud järved) 27 746 ha (Eesti põhi-kaardi, aerofotode ja Corine kaardi andmetel) (Kask & Kask, 2013). Kõige suuremad roostikud Eestis katavad Matsalu märgalal umbes 3 000 ha, kus pilliroog on teiste taimede suhtes ülekaalus, kusjuures sealsed roostikud on Euroopas ühed suuremad. Mulutu lahe ja Suurlahe (nn sisemeri või endised lahed,

mis on ühenduses avamerega) pilliroo kasvualad Saaremaal katavad umbes 2 200 ha (Kask et al., 2007).

Selleks, et tagada roostike jätkusuutlikkus, pole mõistlik pilliroogu koristada igal aastal samadelt aladelt ja ka saagi koristamine kõikidel kasvualadel pole ebasoodsate keskkonnatingimuste ja omandisuhete tõttu otstarbekas. Ülanimetatu põhjal ja arvestades Eesti roostike pindalasid 11 maakonnas tehtud saagikuse mõõtmistulemuste alusel, oleksid reaalselt kättesaadavad pilliroovarud, mida on võimalik kasutada energia tootmiseks, ligikaudu 300 GWh/a. Tegelikult on lõikusvalmis pindala umbes 13 000 ha (Kask et al., 2007). Tuleb arvestada aga sellega, et peale vajaduse energiat toota, on pilliroog sobiv ehitusmaterjal ja seda saab kasutada ka muudel eesmärkidel, mis tähendab erinevate vajaduste vahelist konkurentsi.

Pilliroo elementkoostis

Pilliroo kui kütuse orgaaniline aine (OA) koosneb sarnaselt puitkütustega (Vares, et al 2005.a.) peamiselt süsinikust (C), hapnikust (O) ja vesinikust (H), kuid hapnikusisaldus pilliroo kui igal aastal uuesti kasvava taime orgaanilises aines on mõnevõrra suurem ja süsiniku ning vesiniku oma natuke väiksem. Lämmastiku- (N), väävli- (S) ja kloorisisaldus (Cl)

on talvel lõigatud pillirooproovides väike. Väävli sisaldus puidus on tavaliselt alla 0,05 %. Suvel kogutud pilliroog sisaldab, võrreldes talvel koristatuga rohkem lämmastikku, väävlit ja kloori, mis ei mõju hästi katla küttepindadele ja keskkonnale (tabel 4.4).

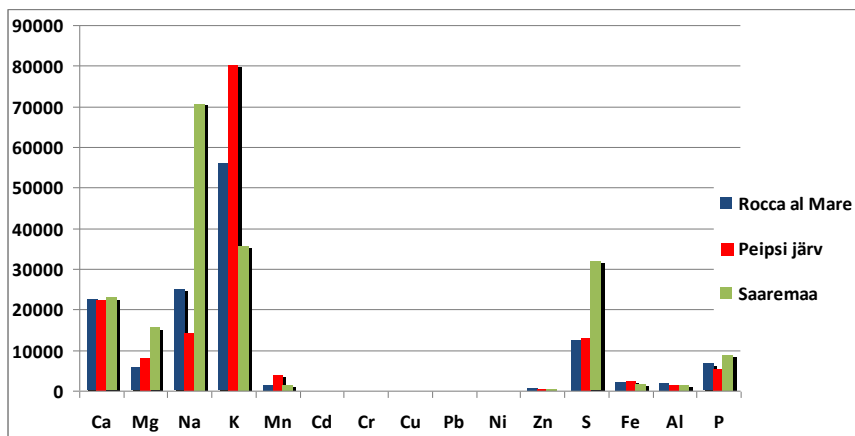
Tabel 4.4. Kuiva pilliroo-kütuse keemiliste elementide sisaldus, % (TTÜ STI)

Element	Vahemik		Keskmine	
	Talv	Suvi	Talv	Suvi
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

Pilliroo tuhasus ja tuha koostis

Tabel 4.5. Pillirootuha keemiline koostis 550 °C juures, % (TUT STI)

Komponent	Piirväärtused		Keskmine	
	Talv	Suvi	Talv	Suvi
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	1,57–19,4	17,28–33,5	8,28	23,04



Joonis 4.3. Elementide sisaldus talvise pilliroo tuhas, mg/kg (ENAS Oy)

Pillirootuha keemiline koostis suve ja talve saakides erineb oluliselt SiO_2 ja K_2O sisalduse poolest. Talvel kogutud pilliroog oleks tuha koostise poolest põletusseadmetes põletamiseks palju parem kütus. Suvel kogutud ja kuivatatud pilliroo tuhk sisaldab märkimisväärses koguses leelismetalle, mis mõjutavad nii tuha sulavust, tuhasadestise tekkimist küttepindadele kui ka metalli korrosiooni (Kask et al., 2007). ENAS Oy Jyväskyläs määrati peamiselt metalliliste elementide (mikroelementide) sisaldus talvise pilliroo tuhas (joonis 4.3). Mikroelemente peetakse elementi-

deks, mille sisaldus on kokkuleppeliselt alla 1000 mg/kg (kuid tavaliselt alla 100 mg/kg).

Tuha sulavus (sulamistemperatuurid)

Tuha sulamistemperatuurid sõltuvad nii elementide sisaldusest kui ka koostise komponentidest. Sageli käsitletakse tuha sulamistemperatuuri sõltuvana tuha aluseliste komponentide summast või aluseliste ja happeliste komponentide suhtest. Tuha sulamistemperatuur sõltub ka katse keskkonnast: taan-

davas ja pooltaandavas keskkonnas on sulamistemperatuur üldjuhul madalam kui õhu oksüdeerivas keskkonnas. (Paist et al., 2007).

Mõned talvel ja suvel kogutud pilliroo tuhaproovide sulamistemperatuurid on antud tabelis 5.6. On oluline märkida, et suvise pilliroo tuhast proovikeha sulas ära alla 1 200 °C temperatuuri juures; esialgne deformeerumine toimus temperatuuridel alla 800°C (tabel 4.6). Teisest küljest ei sulanud talvise pilliroo tuhk ühtlaseks ära isegi 1 330°C juures; ainult ühel proovil oli näha mõningast deformeerumist üksnes ~800°C juures. Võib öelda, et keskmised suvise ja talvise pilliroo tuha sulamistemperatuurid erinevad ligi 200 °C (Kask et al., 2007).

Tabel 4.6. Pillirootuha sulamise põlemistehnilised omadused (suvi, talv 2006 TTÜ STI)

Suvel lõigatud pilliroo tuhaproovide sulamise omadused								
Erinevatest kohtadest toodud katsekehad	Ühik	I 06 01	I 06 02	I 06 03	I 06 04	I 06 05	I 06 06	I 06 07
Deformatsiooni temp	°C	700	650	670	640	730	690	580
Kahanemise temp	°C	990	1000	1040	960	1030	910	760
Hemisfääri temp	°C	1130	1110	1120	1060	1150	1080	910
Voolamise temp	°C	1170	1130	1160	1090	1170	1120	990
Talvel lõigatud pilliroo tuhaproovide sulamise omadused								
Deformatsiooni temp	°C	800	1040	1220	-	790	-	1050
Kahanemise temp	°C	1240	-	-	-	1040	-	1200
Hemisfääri temp	°C	1290	-	-	-	1230	-	1270
Voolamise temp	°C	ei sulanud veel 1330 °C temperatuuril				1270	-	1290

Tuha sulamistemperatuuri mõjutavad keemilised elemendid on Si, Ca, K ja Na. See võimaldab arvestada pillirootuha sõltuvust neist elementidest ka kolmikdiagrammil. Leelismetallide oksiidid K_2O ja Na_2O , mis mõjutavad tuha sulamistemperatuuri kombinatsioonis teiste keemiliste ühenditega, üldiselt alandavad tuha sulamistemperatuuri (Paist et al., 2007).

Talvel kogutud pillirootuha leelismetallide sisaldus on oluliselt väiksem kui suvel koristatud rool ja seetõttu on ka sulamistemperatuur oluliselt kõrgem. Korrelatsioon laboratoorselt määratud tuha sulamistemperatuuri ja kolmikdiagrammi isothermid vahel on küllaktki hea. Suvise pilliroo tuha sulamistemperatuurid on oluliselt väiksemad ja seetõttu on tuha paakumise ja sulamise oht põletamisel kõrge temperatuuriga leegis suur. Samuti on suur küttepindade tuhaosakestega saastumise ja restide rääbustumise oht. Seega saab järelkuivatatud suvist roogu põletada madala temperatuuriga koldes, aga ka mulliva või ringleva keevkihiga koldes temperatuuril umbes $850\text{ }^{\circ}\text{C}$. See tõestab, et pilliroogu kui katlakütust tuleb tingimata varuda talvel, kui toitained ja mineraalid on akumulunud juurtesse ja lehed on langenud (Kask et al., 2007).

Põlemisel tekkinud tuhk saastab küttepindu, takistades soojusvahetust ja kiirendades potentsiaalselt kõrgetemperatuurilist korrosiooni. Enim tuntud korrosiooni kiirendavad komponendid on leelismetallide, kloori- ja väävlühendid (nt pürosulfaadid). Leelismetallide sisaldus talvel varutud pilliroos on väiksem kui suvel kogutud roos, mille tulemusena on talvel koristatud pilliroo sulamistemperatuurid oluliselt kõrgemad. (Kask et al., 2013).

Meie poolt saadud tulemuste põhjal on harilik pilliroog osutunud sobivaks kütuseks isegi tavalistes ahjudes (briketina), kuigi tuhka tekib mitu korda rohkem kui puitbrikette põletades. Kütuse ja põletusseadmete käitlemise optimeerimiseks eesmärgil oleks vaja lahendada roo muutuva kvaliteedi probleem ja on läbi viia täiendavaid katseid. Suur erinevus pilliroo biomassi kohta saadud andmetes (Ritterbusch, 2011) ja keemilises koostises ning füüsikalistes omadustes näitab, et nii tootlikkuse kui ka keskkonnasõbraliku kasutamise alal on vajalikud täiendavad uurinud (Barz et al., 2006). Ka hariliku pilliroo dünaami-

lised omadused koospõletamisel teiste biomassil põhinevate kütustega vajavad edasist uurimist.

Väärastatud pillirookütused (tahked, vedelad ja gaasilised)

Energia tootmiseks on olemas erinevad tehnoloogiad, osaliselt müügil ja osaliselt katsetamisjärgus. Põletamiseadmete ja teiste tarbijate puhul, kui biomassist kütuseid kasutatakse roostikest eemal, tuleb pilliroogu materjalina tihendada või muundada, selleks et pilliroo biomassi oleks võimalik ökonoomselt suure vahemaa taha transportida. Tahket pillirookütust saab toota pillirookõrte tükeldamise teel (5–10 cm) lühikesteks juppideks, pakkideks või pallideks pakkimise teel, pelletite ja briketi valmistamise teel, millele võib järgneda söeks põletamine (söestamine). Nagu varem selgitatud, sobib tahke pillirookütuse tootmiseks paremini talvel koristatud pilliroog. Ühe 400 kg roopalli primaarenergia sisaldus on 20% niiskuse juures umbes 1,5 MWh. Teine võimalus kasvava pilliroo energiatiheduse suurendamiseks on vedelate ja gaasiliste kütuste tootmine, nagu nt biogaas, biometaan, bioetanool, bioõlid jne. Neil eesmärkidel on sobivam suvel kogutud pilliroog (bioõlised võib teha talvel kogutud pilliroost), kuigi suvine niitmine võib kahjustada roostikke (risoome) ja aeglustada nende kasvu.

Pilliroopelletite ja -brikettide valmistamine

Väikese farmi tasemel saab pilliroopelletite pressimiseks kasutada nt pelletipressi Agri 20, mis valmistab pelletideid läbimõõduga 8 mm ja pikkusega 8–40 mm (joonis 4.4 all). Brikettide pressimiseks on müügil näiteks Taiwan SK Machinery Co Ltd briketipress RL-50BM. Pilliroobrikettide pikkus on umbes 80 mm ja läbimõõt 50 mm (joonis 4.4 ülal). Kvaliteetsete pelletite soovitatav tihedus on natuke rohkem kui $1\,100\text{ kg/m}^3$, mis on sama kui brikettide tihedus, kuid viimasel juhul on seda võimalik saavutada turba või mõne muu materjali lisamisega (Kronbergs et al., 2011). Pelletite mahuline tihedus on $600\text{--}650\text{ kg/m}^3$. Pelletipress Agri 20 (joonis 4.5) on valmistatud Lõuna-Aafrika Vabariigis. Kahe rohtse biomassi liigi

segu kasutamisel, kus 80% on alfa-alfa (*Medicago sativa*) ja 20% mais, jääb selle pressi tootlikkus vahemikku 150–200 kg pelleteid tunnis. Pelletite pressimiseks peab pilliroo algmaterjal olema kuiv (niisk-
kus 14–16%) ja lõigatud väikesteks tükkideks (peenestatud) pikkusega 2–3 mm.

Pärast pressist väljumist pilliroobriketid mõnevõrra paisuvad ja pragunevad/murenevad. Kuumad biomassist briketid ja pelletid tuleks enne nende maha-
jahtumist pakkida õhukindlalt nii ruttu kui võimalik, nii et nad ei imaks sisse niiskust, mis toote murendaks. Pelletid on väga tihedad ja neid saab toota väiksema niiskusega (alla 10%), mis võimaldab nende põletamist väga kõrge põlemise kasuteguriga.



Joonis 4.4. Pilliroopelletid (all) ja pilliroobriketid (ülal) (foto: Ülo Kask).

Pilliroopelletite ja -brikkide kütteväärtus on üle 16,5 MJ/kg (4,7–4,8 MWh/t). 2 tonni pilliroopelletide võrdub energiasisalduselt ligikaudu 1 000 liitri kütte-
õliga.



Joonis 4.5. Pelletipress Agri 20 rohtse biomassi pressimiseks

Lihtsa kuivatamise meetod nõuab 0,8 MWh soojust tonni pelletite kuivatamiseks niiskusesisalduseni 8–10%, samas kaudsed meetodid võivad oluliselt vähendada kuivatamisprotsessi energiatarbimist. Energiat hoitakse kokku eelkuivati ja jahuti kasutamisega, mis kondenseerib otse kuivatist tulnud niisked gaasid. See kuivatamisprotsess on energiasäästlikum, kuid nõuab suuri investeerimiskulusid.

Biogaasi ja bioetanooli valmistamine

Eriti vähe katsetulemusi on saadud pilliroo kasutamise kohta biogaasi ja bioetanooli tootmiseks.

Kogemusi pilliroo kasutamise kohta biogaasi tootmiseks on üsna piiratud hulgal (Komulainen et al., 2008). Talvine pilliroog on liiga kuiv ja seetõttu on biogaasi tootmiseks võimalik kasutada ainult suvist pilliroogu. Toitainete koostis talvises pilliroos on samuti kasinam kui suvises, mis vähendab bakterite toimet metaaniks käärimist (Komulainen et al., 2008). Tallinna Tehnikaülikoolis läbi viidud eksperimentaaluuringute tulemustest selgus, biogaasi saagis suvel lõigatud pilliroost on umbes 0,14–0,19 m³/kg (140–190 m³/t) ja biogaasi kütteväärtus on ligikaudu 6 MWh/1000 m³ (Kask, avaldamata andmed). Teine uuring Soomest Finland (Jagadabhi et al., 2011) näitas, et kaheastmelisel anaeroobsel kääritamisel on toorest pilliroost võimalik saada metaani saagikusega 0,260 ± 0,008 m³/kg, mis on võrreldav maisisilost saadava biogaasi saagikusega, mis on

umbes 0,20–0,23 m³/kg toormaterjali kohta (Põllumajanduses..., 2005).

Biogaasi tootmises tekkinud muda (kääritusjääki) saab kasutada orgaanilise väetisena. Loodusliku pilliroo koristamine suveajal võib tekitada probleeme võimalike negatiivsete keskkonnamõjude tõttu, peamiselt risoomide kahjustamisega madalates veekogudes.

Lignotselluloosne biomass (sh pilliroog) on atraktiivne alternatiivmaterjal bioetanoolkütuse tootmiseks. Lignotselluloosne biomass on kõige rikkalikum taastuvressurss maakeral ja moodustab suure osa munitisipäalsektoris, põllumajanduses, metsanduses, tööstuses ja maastikuhooldusel tekkivatest jäätmetest. Lignotselluloossete materjalide kasutamine vähendaks konflikti maakasutuses inimestide ja sööda tootmise ning energia muundamise tooraine tootmise vahel. Näiteks märgaladel saab pilliroogu kasvatada (või kasvab ise) ilma igasuguse väetise, pestitsiidide ja energia lisamiseta.

Pilliroost vedelate biokütuste tootmise kohta on teada ainult mõned katsetulemused. Näiteks mõned Portugali ja Ungari uurimisgrupid on üles näidanud koostöö püüdlusi eesmärgiga välja töötada säästlik tehnoloogia teise põlvkonna bioetanooli tootmiseks, mille lähteaineks on toiduks mittekasutatav kohalik pilliroog. Järeldati, et bioetanooliks muundamise protsess iseenesest ei põhjusta mingeid suuremaid takistusi ja väga suur pilliroo biomassi saagikus teeb praegu temast pretendendi kaubandusliku bioetanooli tootmiseks kasutatavate põllukultuuride potentsiaalseks väljavahetamiseks (Costa-Ferreira et al., 2011). Teine uurimus, mille eesmärk oli uurida glükoosi saaki biomassist ja selle sobivust bioetanooli tootmiseks viidi läbi Eestis. Uurimistulemused näitasid, et järjest kogutud tavalise pilliroo glükoosi saak oli üsna sarnane silole ja näiteks suurem kui päevalille oma (Tutt & Olt, 2011). See viib mõttele, et pilliroogu saaks kasutada bioetanooli tootmiseks.

Bioetanool, värvitu vedelik, on alkohol keemilise valemiga C₂H₅OH. Tänapäeval saadakse bioetanooli peamiselt suhkrupeedi, suhkruroo, maisi, odra, nisu puitbiomassi ja musta leelise termilis-keemilise töötlemise teel. Tulusaks tootmiseks on vaja suuremahulist seadmestikku ja investeeringut. Tulevikus on lignotselluloosne biomass arvatavasti oluline vedelate

kütuste tooraine ja selle kasutamine vähendab konkurentsi tooraine hankimisel toiduainete tööstuse ja energiatootjate vahel. Kuna lignotselluloosse biomassi omadused erinevad teiste biomassi vormide omadustest, siis tuleb biokütuste tootmise tehnoloogiaid sellele vastavalt kohandada.

Vastavalt silmas peetud lähteainele võib selle kättesaadavus bioetanooli tootmiseks erineda oluliselt aastaegade kaupa ja sõltuvalt geograafilisest asukohast ka varumisel raskusi tekitada. Tooraine hinnamuutused võivad bioetanooli tootmiskulusid palju mõjutada. Kuna toorained moodustavad tavaliselt rohkem kui ühe kolmandiku tootmiskuludest, on määrava tähtsusega bioetanooli saagikus (Soccol et al., 2011).

Kuid nagu anaeroobne muundamine, pole rohtsest biomassist bioetanooli tootmine, võrreldes teiste muundamisprotsessidega, veel toetusteta konkurentsiõimeline. Iga riik peab leidma parima majanduslikult tasuva meetodi mil viisil tooraineid ja jäätmeid bioetanooli tootmiseks kasutada. Kuid iga biomassi allika kasutamine kujutab endast tehnoloogilist lahendamist nõudvat probleemi. Sanchez'i andmetel (Soccol et al., 2011) võiks seente kasutamine vähe-seid kulusid nõudvates biomuundamise projektides olla tähelepanu äratav, tänu nende üliefektiivsele võimele lagundada lignotselluloosi, mis toimub ensüümide toimele.

Pilliroo energiaks muundamise seadmed (katlad, mootorid, koostootmiseadmed jne), nende liigid, tarnijad ja hinnad

Arvutused, mis põhinevad Rootsis 50 000 hektaril looduslikult kasvaval pillirool, keskmise biomassi toodanguga 5 t/ha, annavad teoreetiliseks energiasalduseks laias laastus 1 TWh (Graneli, 1984). See on üsna vähe, võrreldes kogu biomassist toodetud energia tarbimisega Rootsis, mis on 115 TWh (<http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2010/06/biomass-generates-32-of-all-energy-in-sweden>).

Eestis läbiviidud uurimus näitas, et üks ha roostikke suudaks anda 23–27 MWh primaarenergiat, eeldusel et talvel kogutud pilliroo saagis on 6–7 tonni hektari kohta ja roo kütteväärtus 20% niiskuse juures 3,9 MWh/t (Kask et al., 2007).

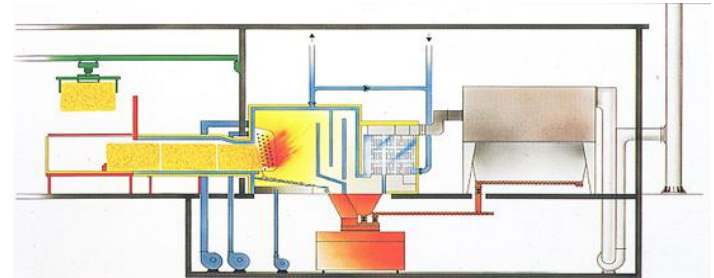
Pilliroost energia tootmiseks on juba olemas erinevaid tehnoloogiaid, mis on osaliselt müügil ja osaliselt katsetamisjärgus. Kõige lihtsam talvise pilliroo kasutamiseviis on pallide ja pakkide põletamine selleks kohandatud kolletes (joonis 4.6). Pilliroopallide põletamiseks on vaja seadmeid, mis sobivad põhupallide (põhupakkide) ja teiste rohtsete kütuste põletamiseks. Seadmete võimsus ei ületa tavaliselt 0,5–0,8 MW ja keskmine aastane kasutegur pole suurem kui 70%. Need seadmed on tavaliselt suhteliselt odavad.



Joonis 4.6. Katel heina-/põhupallide ja -pakkide põletamiseks (foto: Ü. Kask)

Rohtse biomassi palle (pakke) saab kasutada ka suuremates katlamajades (koostootmisjaamades), kus nad toimetatakse koldesse vastavate etteandmisseadmete abil. Pilliroopallid põlevad ära restil allapoole liikudes või nn sigar-tüüpi põletites (joonis 4.7). Selle tehnoloogia kasutamisel puudub vajadus pallide eeltöötlemiseks, kuna pallid lähevad tervikuna koldesse. Selliste seadmete võimsus ulatub kuni 4–6 MW. Tei-

ne võimalus on pallide eelnev hakkimine ja hakkpilliroo toimetamine koldesse kas tigusööturiga või sundõhuvooluga (pneumotransport). Viimasel juhul kasutatakse kas stokerpõletitega katlaid või keevkihtkatlaid võimsusega, mis võib ulatuda kümnete megawattideni. Sobiva suurusega tükkideks hakitud rohtset biomassi saab põletada segatuna fossiilkütusega või puitkütuse ja ka turbaga.



Joonis 4.7. Võlundi “sigar-põleti” tehnoloogia suurte pallide põletamiseks

Pilliroo kasutamine energia tootmiseks algas Eestis Lihula vallas 2010.aastal pärast vana katlamaja rekonstrueerimist (OÜ Lihula Soojus). Vana põlevkiviõlil töötav katel asendati biomassi põletava Danstokeri katlaga (1,8 MW) eesmärgil kasutada kohalpeal rannaniitudelt niidetud heina, põhu- ja pilliroovarusid ning puitjätmeid (joonised 4.8 ja 4.9). Katlamaja aastane energiatoodang on 4,2 GWh ja seal kasutatakse aastas umbes 1 000 tonni heina või pilliroogu lisaks 200 tonni hakkpuitu. Võrreldes põlevkiviõli põletamisega, aitas uus tehnoloogia vähendada nii CO₂ kui ka SO₂ heitkoguseid 98%. Ka tarbi- ja jaoks vähenes energia hind pärast katla tööle hakkamist aastatel 2010–2011 57,71 EUR/MWh-lt 54,96 EUR/MWh-ni (lisandub käibemaks).



Joonis 4.8. Heina (vasakul) ja pilliroo (paremal) lintkonveier Lihula katlamajas (foto: Ü. Kask)



Joonis 4.9. Danstokeri katel Lihula katlamajas (foto: Ü. Kask)

Üks tavaline ja soodus lahendus väikestes katlamajasdes kütteõlilt pelletite põletamisele üleminekuks on vana õliküttega katla uuendamine, paigaldades sinna uue, pelletite põletamiseks ettenähtud põleti. Turul on juba saadaval mitmed pelletipõletid, mis sobivad õlipõletite väljavahetamiseks. Need on suhteliselt lihtsad, kuid hästitoimivad seadmed, millega varustatud endised õlikatlad tekitavad vähem heitmeid kui tavalised puitkütuse katlad. Õlikatlad aga pole siiski ette nähtud kütuste põletamiseks, mis jätavad järele suures koguses koldetuhka, nagu puitpelletid või eriti rohtsest biomassist pelletid. Seetõttu on vajalik kolde sage tuhasta tühjendamine, selleks et ära hoida kasuteguri vähenemist või isegi takistada kolde tuhaga täitumist. Seda on võimalik teha, kasutades lihtsaid seadmeid, rakendades aastaajast olenevaid intervalle ja sõltuvalt sellest, milliseid pelletite liike kasutatakse. Kõik pelletipõletite tüübid ei sobi rohtsest bio-

massist pelletite põletamiseks (TTÜ STI katsete põhjal).

Rohtsest biomassist pelletite põletamise täiustatud süsteem koosneb alattoitega kausjast ringpõletist (joonis 4.10), kõrgtemperatuuriga liikuva kupli alusest tsoonist ja turbulentsest järelpõlemistsoonist. Tavaliselt jääb selle seadme võimsus vahemikku, mis on sobiv ühepereelamu kütmiseks või veidi suurema hoone kütmiseks. (15–100 kW, joonis 4.11). Sellise võimsusega katlad on optimaalne lahendus ühepereelamute ning elamu- ja avaliku sektori suuremate hoonete (nt põllumajandushooned, koolid, ärihooned jne), aga ka väiksemate kaugküttevõrkude kütmiseks. Seda tüüpi katlaid iseloomustab paindlik kütusekasutus ja oluline on see, et kasutada saab erinevat liiki pelleiteid.



Joonis 4.10. Ringpõleti (foto: Ü. Kask)



Joonis 4.11. KWB Multifire katel, Austria (foto: Ü. Kask)

Pilliroo põletamiskatsed

Labori katsed TTÜ soojustehnika instituudis

Tallinna Tehnikaülikooli soojustehnika instituudi katlalaboris on tehtud puhta pilliroo ja pilliroo ning hakkpuidu segu katsepõletamisi 2002. alates. Katseade koosneb mehaanilise segistiga kütusepunkrist, kust kütus suunatakse kruvitranspordööri stokerpõletisse ja 250 kW nimivõimsusega katlasse (kui katlas põletatakse hakkpuitu).

Katseseadmes põletamiseks osutusid kõige paremaks käsitsi peenestatud pillirookõrred pikkusega 4–7 cm. Kütuse segu kasutamisel ilmnas, et mida suurem oli

hakkpuidu osa, seda rohkem kütust tigusoõtur ette andis. Kõige optimaalsem kütuste suhe oli 5,5 massiühikut hakkpuitu ühe massiühiku pilliroo kohta (1:5,5) või 1 m³ pilliroogu segati 1 m³ hakkpuiduga, mille juures saavutati optimaalne katla võimsus. Pilliroo niiskus oli 7% ja hakkpuidul 50,5%. Saavutati katla võimsus kuni 120 kW. Joonisel 4.12 võime näha stokerpõleti restile jäänud hõredat tuhakuhi. Samal ajal põleb orgaaniline aine peaaegu täiesti ära (tuha mineraalosa on ~98 %). Kui pilliroogu põletada ainult puitkütuse ja põhupõletuskateldes, võivad tekkida probleemid koldest tuha ärastamisega tema suure mahu ja püsiva struktuuri tõttu (Kask et al., 2007).



Joonis 4.12. Pilliroo jääktuhk pärast katsepõletamist (foto: Ü. Kask)

Vääristatud pillirookütuse põletamine

Mõned pilliroopelletite katsepõletamised tehti TTÜ STI laboratooriumis katlaga Pelle (kerge kütteõliga on nimivõimsus 30 kW). IWABO Fastighet 30 põletis lükkab kruvisoõtur kütuse restile. Põlenud kütuse tuhk langeb üle põleti esiserva kolde põhja restile pealelükatud kütuse survele. Kolm tundi pärast pelletite süütamist, põlemisprotsess aeglustus põleti ummistumise tõttu (sama oli juhtunud ka varem, kui testiti põhupelletite põletamist). Ilmselt oli põleti ummistumise põhjuseks, see et ~100 g tuhakuhi ei varisenud kokku. Tuhka käega katsudes tekkis samsugune tunne kui mineraalvilla mudides. Katla keskmine primaarvõimsus katsete ajal oli 19,2 kW ja ka-

sulik soojus ~17 kW. Katla püsirežiimil töötades oli suitsugaaside keskmine temperatuur 146,7 °C. Niiskuse 8-9% juures oli nii pilliroopelletite kui ka –brikettide kütteväärtus umbes 16,5–17 MJ/kg (energiasisaldus 4,6–4,7 MWh/t). Põlemata tuha osa või kadu mehaaniliselt mittetäielikust põlemisest oli 0,33% (joonis 4.14). Tuhakuhja südamikus võis täheldada paakumist, mida võis soodustada resti kohal olev kuumutuskaar.

Pärast IWABO pelletipõleti asendamist BioLine 25 põletiga (joonis 4.13) suudeti pidevalt hoida keskmist võimsust 20 kW.



Joonis 4.13. Pelletipõleti BioLine 25 (Sweden) (foto: Ü. Kask)



Joonis 4.14. Pilliroo pelletite põlemisjääd pärast põletuskatset (foto: Ü. Kask)

Järeldused pilliroo põletamisest

Parim viis rohtsest biomassist pelletite põletamiseks on teha seda stokerpõletis, kus kütus toimetatakse ringikujulise ristlõikega põletuspeasse (nn ringpõleti) tigusööturi abil suunaga alt ülesse (joonis 4.10). Sel juhul peaks tuhk ühtlaselt üle põleti serva koldesse varisema. Rohtse biomassi põletamiseks peaks pelletipõleti rest olema liikuv ja põleti varustatud mehaanilise tuhaarastussüsteemiga. Igat liiki pelleteid saab põletada ka tavalistes ahjudes, kui koldesse paigaldatakse õhu juurdepääsuks spetsiaalne paljude peente aukudega tulekindlast materjalist korv.

Pilliroobrikettide põletamiskatsed

Pilliroost brikette testiti tavalistes ahjudes (restita kolle). Ühel juhul pandi briketid küttepuu halgude peale ja teisel juhul põletati ainult pilliroost brikette. Briketid süttisid kergesti ja põlesid tugeva leegiga. Kui briketid laotakse koldesse üksteise peale, siis ülemine kiht põleb hästi, kuid kuna tekkinud tuhk ei varise kokku vaid säilitab esialgse vormi, siis matab see alumised kihid enda alla (ka halud, kui briketid on nende peale laotud). Siis takistab tuhakiht õhu juurdepääsu alumistele brikettidele (halgudele) ja ei lase neil korralikult ära põleda. Seetõttu tuleb kütusekuhilal igal juhul aeg-ajalt segada. Pilliroo brikettide põletamine restkoldega ahjus võib anda veidi paremaid tulemusi.

Kokkuvõtteks võib öelda, et pilliroo brikettide põletamine tavalises ahjus (ka pliidi all) on üsna ebamugav, kuna kütust tuleb sageli segada ja tuhka tekib suhteliselt suures koguses.

Katsepõletamised AS Kuressaare Soojus katlamajas

Esimesed katsed pilliroo tööstuslikuks põletamiseks viidi läbi AS Kuressaare Soojus (Saaremaa) Kalevi katlamajas 2003.a. augusti alguses. Katuseroo jäägid veeti katlamaja kütuselattu, kus need segati hakkpuiduga. Jäägid olid pressitud ja pakitud heinapakkimismasinaga niidetud rooväljade naabruses.

Pakkide sidumiskoored eemaldati ja greiferkraana segas roo puukoore ja saepuru seguga. Siis toimetati segu kraapransporditööriistade koldesse. Pillirookõrre

pikkus jäi vahemikku 20–40 cm ja selle osakaal põletatud kütuses oli umbes 7% (massi järgi). Põletamine probleeme ei tekitanud. Ainult ühel korral sattus liiga palju pilliroogu katla ees olevasse vahepunkrisse, mis mõnevõrra takistas kütuse langemist rooptõukuritele ja etteandmist koldesse. Põletatud pilliroog andis lisaks 5,5–6 MWh soojust.

Kalevi katlamajja on paigaldatud kaks puitkütusel töötavat katelt (4 MW Saxlund ja 6 MW DKVR). Katlad saavad kütuse ühisest laost, kuid seoses kütuse etteandmissüsteemi tehnilise lahendusega ei saa pilliroogu puitkütuse lisandina kasutada, kui mõlemad katlad töötavad korraga. Viimane asjaolu selgus septembris järelkatsete ajal. Probleem seisnes selles, et söötur, mis toimetab kütust Saxlundi katlasse, ei suutnud kütust kettkonveieri järel olevast jaotuspunkrist piisavalt kätte saada.

Hinnanguliselt peaks pillirookõrre pikkus jääma vahemikku 10–15 cm. Saare maakonnas on ASi Kuresaare Soojus Kalevi katlamaja varustamiseks piisavalt pilliroovarusid 10% puitkütuse asendamiseks rooga, kui pilliroo kogumiseks, peenestamiseks ja põletamiseks leitakse tehniliselt sobiv ja majanduslikult tasuv logistikaskem.

Katsepõletamise tulemuste kohta võib öelda seda, et lisakütusena on pillirool oma turuosa nende bioenergiajaamade varustamisel, kus peamiselt kasutatakse puitkütuseid (kuid mitte ainult, saadaval on ka mitmed heintaimed ja turvas). Selles tööstusharus ettevõtjate ja korraliku koristustehnika puudumine ning see, et pilliroog on hooajaline biokütus, on siiani takistanud pilliroogu kui kohalikku bioenergia allikat laialdaselt kasutada. Pilliroo kasutamine väikestes katlamajades ja seadmetes on palju tõenäolisem, eriti ehitusmaterjalide tööstuses, kus pilliroojäätmed võiks muundada kütuseks energia tootmise eesmärgil. Pilliroo kasutamist põletamiseks võib piirata ka transportimine pikemate vahemaade taha, mille puhul on vajalik võimaliku pelletite tootmise, pallimise või brikketide valmistamise materjali tiheduse suurendamine. (Komulainen et al., 2008). Ka suhteliselt suur tuhasus nõuab sobivate tehnoloogiate rakendamist.

Life + “Green Pellets project on herbaceous biofuels” – Landry Jaglin (Green Pellets 2013)

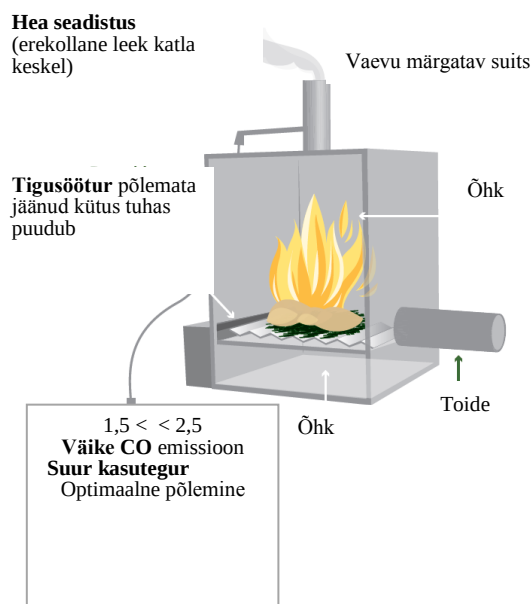
EL projekti Life + “Green pellets project on herbaceous biofuels” (Prantsusmaa) raames tehti mõned pilliroo katsepõletamised. Kasutati madalama temperatuuriga põlemiskambri ning liikuva restiga ja keraamilise voodriga universaalkatelt (joonis 4.15).

Pillirookütuse testimise tulemused

Pilliroo koostis võib olla väga erinev. Koostise kontrollimiseks on vajalik süstemaatiline analüüs. Tegemist on hea kütteväärtusega kuiva tootega. Pilliroogu saab kasutada tööstuslikes kateldes; suurematesse kateldesse võib paigaldada suitsupuhastamise süsteeme. Mitmetes katlatüüpides on pilliroogu võimalik kasutada segus puitkütustega (ühesuguse niiskusega e veesisaldusega). Väiksemate katelde korral oleks sobivam valida keraamilise voodriga ja selles olevate õhutorudega varustatud universaalkatelt. Vajalik on katla regulaarne seadistamine ja hooldamine.

Energia tootmisel pelletitest vajab parandamist etteandmissüsteemi kvaliteet ja pilliroo/puidu segu homogeensus, kuid see suurendab logistika- ja energiakulusid. Energia tootmisest saadud tulu suudaks korvata pilliroo koristamisega seotud kulud mõne aasta-ga. Energia tootmine võib olla täienduseks teistele tuluallikatele, kuid see pole peamine eesmärk, sest peamine on looduslike alade hooldamine.

Pillirookütuse eelised: kõrge kütteväärtus, kõrge tuha sulamistemperatuur (vähene oht šlaki tekkimiseks). Puudused: koostise varieerumine, võtab rohkem ruumi kui hakkpuit, ebaühtlasema suurusega osakesed, kõrgem tuha-, kloori- ja väävlisisalduse (suvise roo korral) tase võrreldes puitkütustega.



Joonis 4.15. Katsetamisel kasutatud katla läbilõige

Tänuavaldus

Autorid tänavad Arvo Iitali (TTÜ Keskkonnatehnika Instituut) ja Siim Linki (TTÜ Soojustehnika Instituut) nende panuse eest kõnesoleva peatüki koostamisel.

Kirjandus

Alakangas, E., 2000. Suomessa käytettävien polttoaineteiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 2045. Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, Espoo, 2000. 196 p.

Balevičiene, J., Balevičius, A., Stanevičius, V., Vaitkus, G., Gurova, E., 2007. Kuršiu mariu pakrantes augmenijos pjojimo, siekiant iš mariu pašalinti dalį biogeninio medžiagu, galimybiu studija, Pagal sutartį su aplinkos apsaugos agentūra (In Lithuanian), 70 p.

Barz, M., Ahlhaus, M. and Wichtmann, W., 2006. Energetic Utilization of Common Reed for Combined Heat and Power Generation. In: Use of Bioenergy in the Baltic Sea Region. Conference Proceedings. 2nd International Baltic Bioenergy Conference 02. – 04. Nov. 2006, Stralsund, Germany, 168-175 pp.

Brix, H., 1999. The European research project on reed die-back and progression (Eureed). *Limnologica* 29, 5–10.

Brix, H., Sorrell, B.K. and Lorenzen, B., 2001. Are Phragmites-dominated wetlands a net source or net sink of greenhouse gases? *Aquatic Botany* 69, 313–324 pp.

Costa-Ferreira, M., Sousa J., M. and Lageiro, M., 2011. Bioethanol production using native reeds from Portugal and Hungary – a collaborative study.

Eesti riikliku keskkonnaseire allprogrammi “Eesti maastike kaugseire” 2009. aasta aruanne. Leping nr. 18-20/308. Tartu Observatoorium. Tartu-Tõravere 2009-2010, 29 p.

Fiala, K., 1976. Underground organs of *Phragmites communis*, their growth, biomass and net production, *Folia Geobot. Phytota*, 2, 225-259 pp.

Graneli, W., 1984. Reed *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel as an Energy Source in Sweden. *Biomass* 4, 183-208 pp.

Graneli, W., 1984. Reed *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel as an Energy Source in Sweden. *Biomass* 4, 183-208.

Holmberg, R., 2009. Perspectives for R&D in Bioenergy in the Baltic States. Nordic Council of Ministers, 47 p.

Huhta, A., 2007. To cut or not to cut? The relationship between Common Reed mowing and water quality. In: Read up on reed (Eds. Ikonen, I. and Hagelberg, E.), Southwest Finland Regional Environmental Centre, 2007, 30-37 pp.

Iital, A., Klõga, M., Kask, Ü., Voronova, V., Cahill, B. 2012: Reed harvesting. Compendium. An Assessment of Innovative and Sustainable Uses of Baltic Marine Resources. Maritime Institute in Gdansk, 2012. 103-123 pp.

Jagadabhi, P. S., Kaparaju, P., Rintala, J., 2011. Two-stage anaerobic digestion of tomato, cucumber,

common reed and grass silage in leach-bed reactors and upflow anaerobic sludge blanket reactors. *Bioresource Technology* 102, 4726–4733.

Kask, Ü., Kask, L., 2013. Pilliroog ja selle kasutus. *Eesti Loodus* 2/2013, Tallinn, 28-51 pp.

Kask, Ü., Kask, L., Link, S., 2013. Essential properties of reed and their influence on combustion equipment. Given to Peat and Mires. Not published since.

Kask, Ü., Kask, L., Paist, A., 2007. Reed as Energy Resource in Estonia. In: Read up on reed (Eds. Ikonen, I. and Hagelberg, E.), Southwest Finland Regional Environmental Centre, 2007, 102-114 pp.

Komulainen, M., Simi, P., Hagelberg, E., Ikonen, I. and Lyytinen, S., 2008. Reed energy – Possibilities of using the Common Reed for energy generation in Southern Finland. Reports from Turku University of Applied Sciences 67, 78 p.

Kronbergs, E., Kaķītis, A., Nulle, I., Šmits, M., Kronbergs, A., Repša, E., Širaks, E., Ancāns, D., 2011. Common reed biomass opportunities for production of biofuel pellets and briquettes, 21 p.

Kütuse- ja energiamajanduse riiklik pikaajaline arengukava aastani 2015 (visiooniga 2030), 2002. Tellimustöö aruanne. TTÜ elektroenergeetika ja soojustehnika instituut. Tallinn, 2002. 104 p.

McKendry, P., 2002. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology* 83, 37–46 pp.

Meyerson, L.A., Saltonstall, K. and Chambers, R.M., 2009. *Phragmites australis* in eastern North America: a historical and ecological perspective. In: Silliman, B. R., Grosholz, E. Bertness, M. D. Salt marshes under global Siege. Univ. of Cal. Press, 57-82.

Paist, A.; Kask, Ü.; Kask, L., 2007. Composition of reed mineral matter and its behavior at combustion. 15th European Biomass Conference & Exhibition: From Research to Market Development: Proceedings of International Conference held in Berlin, Germany

7-11 May 2007. Berlin: ETA-Renewable Energies, 1666 – 1669 pp.

Põllumajanduses kasutatavate biogaasiseadmete gaasitootlus, 2005. Translated from: Mecklenburger Biogas Gesellschaft mbH, 21 p.

Räikkönen, N., 2007. Reed is not uniform. Classification of reed beds and reed biomass and quality mapping. Case study in Turku and Salo, Southwest Finland. In: Read up on reed (Eds. Ikonen, I. and Hagelberg, E.), Southwest Finland Regional Environmental Centre, 2007, 17-22 pp.

Ritterbusch, D., 2011. Nutzung von Rohr/Schilf - ein umweltverträgliches Entwicklungspotenzial für die Fischerei? Schriften des Instituts für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow, Bd. 30. Hrsg. Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow, 79 p.

Rodewald - Rodescu, L., 1974. Das Schilfrohr *Phragmites communis* Trinius. Die Binnengewässer 27.1-302. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart.

Roosaluste, E., 2007. The Reed itself-*Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud.: taxonomy, morphology, biology, ecology, problems. In: Read up on reed (Eds. Ikonen, I. and Hagelberg, E.), Southwest Finland Regional Environmental Centre, 2007, 8-10 pp.

Roostike strateegia Väinamere piirkonnas 2008-2018, 2008. Tallinna Tehnikaülikool, Riiklik Looduskaitsekeskus, Tartu Ülikool, TTÜ Kirjastus, 55 p.

Soccol, C. R., Farcao, V., Vandenberghe, L., Thomaz-Soccol, V., Woiciechowski, A., Pandey, A., 2011. Lignocellulosic Bioethanol: Current status and future perspective. In Biofuels (Eds. Pandey, A., Larroche, Chr., Ricke, S. C., Dussap, C-G., Gnanasounou, E.), Academic Press of Elsevier, 2011, 101-122 pp.

Soetaert, K., Hoffmann, M., Meire, P., Starink, M., van Oevelen, D., van Regenmortel, S. and Cox, T., 2004. Modeling growth and carbon allocation in two

reed beds (*Phragmites australis*) in the Scheldt: *Aquat. Bot.*, Vol. 79, 211-234 pp.

Timmermann, T., 2003. Nutzungsmöglichkeiten der Röhrliche und Riede nährstoffreicher Moore Mecklenburg-Vorpommerns, *Greifswalder Geographische Arbeiten* 31, 31 - 42.

Tutt, M. and Olt, J., 2011. Suitability of various plant species for bioethanol production. *Agronomy Research Biosystem Engineering Special Issue* 1, 261-267 pp.

Van der Putten, W.H., 1997. Die-back of *Phragmites australis* in European wetlands: an overview of the European Research Programme on Reed die-back

and progression (1993–1994). *Aquat. Bot.* 59, 263–275 pp.

Vares, V., Kask, Ü., Muiste, P., Pihu, T., Soosaar, S., 2005. Biokütuse kasutaja käsiraamat. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn 2005. 172 p.

Wichmann S. and Wichtmann W., 2009. Energiebiomasse aus Niedermooren (ENIM). 190 p.

Green Pellets

http://www.aile.asso.fr/?page_id=1491&lang=en

Photo on previous page by Ü. Kask

5. Pilliroo tarneahelad, koristustehnika ja tootmisprotsess, vedu ja tarneahela keskkonnamõju, tarneriskid

Ülo Kask, Livia Kask, Tallinna Tehnikaülikool

Avavees (meri, järved) kasvavat pilliroogu saab säästlikumalt lõigata talvel, kui jää või külmunud maapind võimaldab juurdepääsu rasketele masinatele. Ka pehme pinnasega rannaniitudel on koristamine võimalik ainult siis, kui maapind on külmunud. Veel üks talvise pilliroo koristamise tähtis aspekt on see, et roo niiskus on siis katusematerjali tootmiseks ja energiaks muundamiseks sobiv (sealhulgas biokütused, väljaarvatud biogaas).

Pilliroo tarneahelad

Esimene lüli pillirooga varustamise ahelas on roo koristamine, mille alla kuuluvad sellised tööd nagu niitmine, hakkimine (purustamine), pakkimine/pallimine ja eeltöödeldud pilliroo vedu lattu või vahelattu. Kui pilliroogu koristatakse ehitusmaterjaliks on peale lõikamist vajalik kimpudesse/vihkudesse sidumine. Tavaliselt teeb seda kombain (nt Seiga). Niidumasin (rookombain) suudab pilliroogu kas ainult hakkida või seda pallidesse pakida olenevalt sellest, millised lisaseadmed on olemas.

Järgmine ahela lüli on transport. Transpordi esimene etapp lõpeb vahelaos niidetud roovälja kõrval või pealaos. Ka seda võib pidada koristamise etapiks. Eeltöödeldud pilliroog veetakse ehitusplatsile (näiteks rookatusega ehitise juurde) või töötlemistehasesse (biogaasi jaama või pilliroomatte tootvasse ettevõttesse). Pilliroogu võidakse transportida töötlevasse tehasesse ja sealt välismaale eksportimiseks.

Kolmas lüli on töötlemine. Töötlemine või käitlemine võib koosneda mitmest etapist olenevalt sellest, kus pilliroogu kasutatakse. Kui pilliroogu kasutatakse katusematerjalina, tuleb masina tehtud kimbud puhastada halva kvaliteediga ja sobimatutest vartest vabaneda ning alles siis vastavad nad spetsiaalselt katuse tegemiseks kõlblikele kimpudele (vihkudele, 2,5–3,5 kg). Pika vahemaa taha vedamiseks tehakse väikestest kimpudest suured pallid (25–30 kimpu ühes pallis). Kui pilliroogu kasutatakse energia tootmiseks võib töötlemine koosneda mitmest astmest. Enne anaeroobset käitlemist biogaasijaamas peaks pilliroo siloks tegema.

Kui pilliroogu kogutakse talvel ja tehakse suured ümmargused pallid või kandilised pakid, siis saab neid täiendava töötluseta katlas põletada või tuleb

neid enne koldesse panemist hakkida. See kõik sõltub põletamisest. Pelletite ja briketi valmistamine võib nõuda pilliroo täiendavat kuivatamist, peenestamist ja alles siis pressimist, jahutamist ja pakkimist. Viimane lüli pilliroo tarneahelas on lõpptootetarbija te juurde toimetamine. Lõpptooteks võib olla energia (soojus, elekter), kütused (pallid, pelletid, biogaas, biometaan, bioetanool jne), ehitusmaterjalid (isolatsioonimatid, vihud jne), väetised (kompost, multš, kääritusjääk jne) ja muud tooted (pillirooflöö, pilliroost sulepea, taiesed jne).

Koristamise aeg ja tingimused (Komulainen et al., Reed Energy)

Harilikku pilliroogu saab varuda energia toomiseks nii talvel kui suvel, kuid ehitusmaterjaliks sobib ainult talvel koristatud pilliroog. Pilliroogu kogutakse veekogudest, mille põhi on pehme või sageli mudane. Ka pilliroo risoomide võrgustik võib kergesti kahjustada saada. Seetõttu peab riiklik seadusandlus kevadist ja suvist koristamist piirama. Riiklik seadusandlus võib kehtestada ka kombainide ja veokite jaoks erisurve pinnaühiku kohta, mis Saksamaal näiteks ei

tohi ületada 100 g/m² (<http://www.hiss-reet.com>). Talvel ja varakevadel varutud kuiva pilliroogu kasutatakse põletamiseks ja suvel kogutud rohelist massi biogaasi või bioetanooli tootmiseks. Koristamise aega tuleks kohandada vastavalt ilmastikutingimustele, materjali kvaliteedi nõuetele ja teistele väärtustele ning roostiku kasutamisega seotud huvidele.

Kui pilliroogu kasutatakse kateldes põletamiseks, on tähtis tegur roomassi niiskus. Suhteline niiskus on kõige väiksem kevadel, märtsis – aprillis (vt osa 4). Isegi siis tuleks pilliroogu koristada keskpäeval, kui niiskus on väiksem. Isegi vihm ei sega tingimata koristamist, sest pärast pikemat vihmaperioodi kuivab püstine pilliroog mõne päevaga ja saavutab vihmaeelse niiskuse taseme.

Jää on roostike aladel tavaliselt nõrgem kui avavee piirkonnas, kuna roostikud ja “rooturvas” (kiht vanu pilliroo varsi), mille moodustab kõdunev roomaterjal tekitavad anaeroobsel käärimisel soojust (joonis 5.1). Võib oletada, et siis, kui pilliroogu saaks niita igal aastal väheneks kõduneva aine hulk, jää muutuks paksemaks ja suudaks seega paremini pilliroo koristusmasinaid kanda.



Joonis 5.1. Vesi nõrgal jääl Turbuneemes Eestis, veebruaris 2007 (foto: Ü. Kask)

Biogaasi tootmiseks koristatakse rohelist biomassi hilissuvel (juuli teisel poolel ja augustis), pärast roos

tikus pesitsevate linnuliikide kõige tundlikumat pesitusaega. Varasuvine koristamine võib peatada kas-

vamise ja kahjustada risoome. Lõikamiskõrguse valik avaldab tugevat mõju: allpool veetasapinda lõikamine peatab kasvumise, samas kui veepinnast kõrgemal lõikamine, ja seda eriti hilissuvel, ei ohusta pilliroo kasvu järgmistel suvedel. Suvel biogaasi tootmiseks koristatud biomass vähendab ka toitainete koormust

veestikule, kuna hilissuvine koristamine enne seda, kui toitained kanduvad risoomidesse kindlustamaks nende kasvu järgmisel suvel, on veestikust toitainete eemaldamise kõige efektiivsem viis. Koristamise aja ja mõjude kokkuvõte on antud Tabelis 5.1.

Tabel 5.1. Pilliroo koristamise ja kasutamise hooajalisus

Kasutusala	Sobiv lõikusaeg	Eelised ja mõjud
Roogkatused	Talv	Niiskus on väike. Risoome ja muud taimestikku kahjustatakse vähem, eriti juhul kui lõigatakse jää pealt
Põletamine kütteks	Talv	Niiskus on väike. Primaarenergia sisaldus on võrreldes suvel koristatud rooga suurem. Risoome ja muud taimestikku kahjustatakse vähem, eriti juhul kui lõigatakse jää pealt.
Biogaasi ja bioetanooli tootmine	Suvi ja varasügis	Rohelist biomassi on vaja anaeroobseks kääritamiseks. Vähem kvaliteetne roog (ka lehed õisikud) on võimalik ära kasutada. Lõikus on küsitav suurte keskkonnamõjude tõttu (lindude pesitsemisperiood, risoomide ja muu taimestiku kahjustamine).
Lõikamine toitainete eemaldamiseks	Varasuvi	Toitainete sisaldus roos on maksimaalne. Lõikus on küsitav suurte keskkonnamõjude tõttu (lindude pesitsemisperiood, risoomide ja muu taimestiku kahjustamine).

Koristustehnika ja tootmisprotsess (Komulainen et al., Reed Energy)

Pilliroog kasvab väga erinevates kohtades, alates veekogudest kuni kuivemate kaldapiirkondadeni. Erinevad kasvukohad ja koristusajad (suvi/talv) eeldavad erineva koristustehnika kasutamist. Tehnika valimisel on määrava tähtsusega tegurid koristamisel tehnikale esitatavad nõuded ja üldine kulutõhusus. Kulutõhusus sõltub nt koristamis- ja veokuludest, inime töö hulgast ja kadudest koristamisel. Mõnel katsel päiderooga on saadud hakkija- pallipressi koos kasutamise kasutamiskaoks 20–30 protsenti. Muutuv veetase seab piirangud talvisele koristamisele, kuna see takistab paksu jää tekkimist. Ka lume kuhjumine taimedele aeglustab koristustehnika raskust

kannatava jääkihi tekkimist ja muudab koristamise keeruliseks ka muul viisil ning vähendab koristamiskõlbliku pilliroomassi hulka.

Olulised tehnilised faktorid pilliroo koristamisel on masina kaal ja maapinnale ning jääle avaldatav surve. Ratasveokid on kõige kulutõhusamad vedudeks ühest lõikuskohast teise, isegi vaatamata sellele, et roomiku lülid vähendavad pinnasele avaldatavat survet. Ka väga laiade rehvidega traktorid või roomikutega masinad vähendavad survet pinnasele. Talvel on võimalik pilliroogu koristada ka mõnede olemasolevate põllutöömasinatega.

Erinevaid pilliroo koristamise seadmeid on laialdaselt kasutusel ja müügis. Tehnikaseadmete valik sõltub pilliroo lõikamise ja edasise kasutamise eesmärgist. Masinate valik sõltub osaliselt ka keskkonnatingimustest, nt kas on tegemist soolase või mageveega, kas põhi on mudane või kõva, kas lõigatakse jää peal või vees jne. Kasutada saab üsna lihtsat tehnikat, kui eesmärk on ainult rannaalade puhastamine ja hooldamine ja pilliroo kasvu reguleerimine. Pilliroogu saab lõigata lihtsate seadmete abil, nt käsiniiduvahendid nagu rauts või sirp (joonis 5.2), paadile paigaldatud rooniiduk (joonis 5.5), väikesed mootorniidukid (joonised 5.3 ja 5.4) või ujuvniiduk (joonis 5.6) Käsitsi lõikamise korral on lihtne kohaneda vastavalt

tingimustele ja saavutada ligipääs väikestele aladele, kus masinad töötada ei saa, kuid mehaanilise niitmise kiirus jääb kättesaamatuks: käsitsi lõigates lõikab üks mees umbes 1/5 hektarit päevas, samas kui erikonstruktsiooniga kombain koos traktoriga suudab koristada 4 hektarit päevas. Tehnika valimine sõltub asukohast (nt kuiv maa või vesi) ja töödeldavast piirkonnast. Pilliroo kogumiseks kasutatavaid riisumismasinaid kasutatakse niidetud pilliroo biomassi kogumiseks ja väljaveoks. Kasvuperioodil rootaimedesse salvestunud toitained eemaldatakse niidetud roo väljavedamisega, mistõttu need ei koorma kõdunemisel enam oma kasvukohta taasvabanevate toitainetega.



Joonis 5.2. Pilliroo lõikamine sirbiga



Joonis 5.3. Väike BCS mootorniiduks



Joonis 5.4. Laiema heedriga niiduk



Joonis 5.5. Roolõikur monteeritud väikesele paadile Doroklippen Hymo (<http://doroteamekaniska.se/hymo2.html>)



Joonis 5.6. Ujuvniiduk Truxor Doroklippen ESM 2100 (<http://doroteamekaniska.se/2esm2100.html>)

Talvel saab niita ketasniidukiga ja koristada isekallutava kogujaga või pallimispressi abil. Pakendamine ehk pallimine toimub rullipressi, heinapakipressi või suurpaki pressi (survepressi) abil. Kõige kulutõhusam

variant on suur heinapress (joonis 5.7), kuid praegu on heinapakipressi hind liiga kõrge ja jää ei suuda üldjuhul sellise massiga masinat kanda, 7–9 tonni.



Joonis 5.7. Suur heinapakipress Claas
(<http://classified.fwi.co.uk/browse/grassland-equipment/balers/big-square-balers>)

Rohkem kasutatakse rullipressi, mis on ökonoomsem ja kergem masin (joonis 5.8). Hakkuri lõiketera, mida tavaliselt rullipressis kasutatakse toodab 5–10 cm pikkuseid varretükikesi, mis pressitakse ja seotakse nõõriga kokku. Väikeste heinapakkide press, mida on kõige kauem kasutatud, valmistab väiksemaid palle (20 kg), mis suurendab veokulusid, kuigi masin on kerge. Koristatud pilliroogu saab edasiseks töötlemiseks isekallutava kogujaga kaldale vedada.



Joonis 5.8. Suur pallipress 605 Super M Baler
(http://www2.vermeer.com/vermeer/LA/en/N/equipment/balers/605_super_m)

Heal päeval lõikab rooniiduk Seiga BCS umbes 6 000 vihku päevas, kuid töörühmas peab olema 3–5 inimest (joonis 5.9). Tavaliselt toodetakse päevas

umbes 4 000 vihku. Seigaga saab valmistada vihke, mis ilma sorteerimata katuse materjaliks ei sobi ja mida saab kasutada siis, kui pilliroost tahetakse bio-kütust toota. Keskmise pikkuse ja läbimõõduga vihk kaalub kuivalt 3,2–3,6 kg ja selles on umbes 2 000 pilliroovart. Isegi siis, kui masin töötab tõrgeteta, ei ole bioenergia seisukohalt vihkude tegemine majanduslikult efektiivne.



Joonis 5.9. Rookombain Seiga BCS heedriga (foto: Ü. Kask)

Müügil on ka Poola päritolu Caterpillar roomikniidumasin, mis on projekteeritud eelkõige pilliroo lõikamiseks ja mis põhineb Saksamaa päritolu väikesel ja kergel traktoril ning Itaalia BSC niidukil. Niitmisvõimsus on ca 1 000 vihku tunnis sõltuvalt roostikust ja masinal töötab 2–3 inimest. Seade kaalub 2 500 kg ja seda on kerge transportida auto alusraamil või platvormil. Pillirookombain vajab siiski veel edasiarendamist, et seda oleks võimalik kohandada just bioenergia tooraine koristamiseks. Näiteks BSC lõiketera tuleks asendada peenestusnoaga ja kogumiskasti seinad kõrgemaks ehitada. Masin, mida Soomes siiani testitud pole on Wetland Harvester (märgalade niiduk), mis on välja töötatud firmas British Loglogic (joonis 5.10).



Joonis 5.10. Pillirolõikur Loglogic Softrak (foto: Ü. Kask)

See on ette nähtud koristamiseks just nendel aladel, kus seadme surve pinnasele peab olema eriti väike. Pärast niitmist suunatakse pilliroomass hakkurisse, mis toodab 1–4 cm pikkuseid kõrsi. Kõrretükid (nn hekseldatud pilliroom) puhutakse masina tagaosas olevasse 6–8 m³ mahtuvusega kasti. Tootja andmetel on valmis rooheksli tootmise võimsus 10 tonni tunnis, mis vastab pillirooma koristamisele 2 hektarilt. Probleemiks on masina kõrge hind.

Soomes on pillirooma koristamiseks välja töötatud ka eriotstarbeline pillirooma kombain. Kombaini hea külge on see, et pillirooma saab koristada, pallida ja transportida vahelattu, mis asub kalda läheduses, ühe masinaga. Täiskomplektis kombain koosneb tavalise talu rehepeksumasina lõikamislauast, ketttransportörist, pallipressist ja järelkärust, millega pallid kaldale toimetatakse. Kombaini tööpõhimõte on paljutootav, kuid pillirooma koristamisel pole häid töötulemusi saavutatud, sest see on liiga raske.

Tavalise pillirooma, mis kasvab isegi kõrgemaks kui 3–4 meetrit, lõikamiseks võib vaja minna heina koristamisel kasutatavast niidumasinast üsna erinevat lõikemehhanismi. Seadme mudelid, mis võivad sobida, on samad kui need, mida kasutatakse maisi ja *Miscanthus sinensis* (Hiina siidpöörise) koristamisel.

Pillirooma suvisel koristamisel veega kaetud aladelt on hoopis teised probleemid, sest koristamine toimub kuni 2 m sügavuses vees. Koristusmasin peaks vees ujuma ja hea oleks, kui see suudaks ka maapeal liikuda (nn amfiibmasin). Hea oleks ka see, kui pilli-

rooma saaks rannast ära vedada ilma kulukate ümber tõstmisteta (–laadimisteta) ja eraldi transpordivahenditeta. Üks võimalus suviseks koristamiseks on ujuv traktor (joonis 5.11). Traktor sõidab suurtel kummidel ja pontoonidel ja seda saab kasutada näiteks veestike hooldamisega seotud töödel. Põhimõtteliselt saab ujuva traktori varustada lõikeriistadega ja lõigatud pillirooma saab suunata traktori järelhaagisesse. Amfiibtraktorit saab talvisel pillirooma koristamisel kasutada tavalise traktorina, kuid siis on selle ette vaja paigaldada sobiv niiduk.



Joonis 5.11. Erivarustusega traktor Valtra C150 koos käruga suudab lõigata roogu järvedel (<http://www.valtra.com/news/405.asp>)

Teised on näiteks Truxor (joonis 5.6), Caterpillar'il põhinev, pontoonidele ehitatud niiduk, mis suudab pillirooma niita alates 1,5 m sügavusest veest kuni kaldani. Ujuvatel traktoritel on raskete traktoritega võrreldes teatud eeliseid: nende surve pinnasele on minimaalne, mis väldib seega pinnase kahjustamist. Seetõttu sellised kombainid nagu tavaliselt kasutatakse SEIGA, kasutavad sageli väikese pinnasurvega pneumaatilisi rehve, et vähendada vees koristamisel masina mõju pinnasele ja pillirooma risoomidele. Pillirooma tööstuslik tootmine ehitusmaterjaliks või biokütuseks nõuab keerulisemat tehnikat, mille hulka kuuluvad traktorid, lõikurid ning platvormid (järelkärud) pillirooma kogumiseks ja transportimiseks. Mõned kombainid võivad purustada pillirooma hakkeks, millest saab siis mobiilsete masinatega pelletide pressida otse niitmisalal (joonis 5.12).



Kokkuvõtteks esitatakse tabelis 5.2 mõned niidumasinade ja pallipresside tööparameetrid.

Joonis 5.12. Mobiilne pelletipress ZLSP200B, 300 kg/h
(http://agic.en.alibaba.com/product/526267059-213551517/ZLSP200_300kg_Staw_Pellet_Mill.html)

Tabel 5.2. Niidumasinade ja pallipresside keskmised tööparameetrid (Santi, 2007)

Masin	Tööee laius (m)	Liikumiskiirus (km/h)	Võimsus (ha/h)	Keskm võimsus (kW)	Keskm energia kulu (kWh/ha)
Üheteraline lõikur	1.3–2.6	5–7	0.6–1.3	2–7	4–11
Kaheteraline lõikur	1.3–2.6	6–10	0.8–1.8	3–8	4–10
Propellerlõikur	1.3–2.6	4–5	0.5–0.9	6–9	12–18
Ketaslõikur	1.5–2.5	12–15	1.1–2.2	6–15	5–13
Väikepakkide valmistaja	1.6–1.9	5–6	0.8–1.2	25–40	30–50
Ümarpallide valmistaja	1.6–2.0	5–7	1.0–1.5	40–50	40–50
Suurpakkide valmistaja	2.0	5–7	1.2–2.0	40–60	35–50

Transport ja ladustamine

Rohttaimedest biokütuste majanduslikult tasuv veokaugus jaoks sõltub materjali kvaliteedist. Näiteks päideroo jaoks on maksimaalne tasuv veokaugus 90–120 km olenevalt materjali kvaliteedist: puistematerjalina koristamisel on tasuv vahemaa lühem kui pallide/pakkide transportimisel (Flyktman ja Paappanen,

2005). Puistematerjalina varumisel on hakitud materjali lihtne segada katlamajades turba või hakkpuiduga (joonis 5.13), kuid vähene energiatihedus suurendab veokulusid. Selleks, et tihedust suurendada tuleb pilliroogu pallida või töödelda veelgi tihedamaks – brikketideks või pelletiteks. Ka puistematerjalina hakitud pilliroo mahukaalu saab suurendada erinevate pressi-

dega. Pilliroo kandilise paki või ümmarguse palli tihedus on umbes 140–170 kg/m³ (heksel puistematerjalina min 30 kg/m³ kuni 60 kg/m³) ja seega on selle majanduslikult tasuv veokaugus pikem (Komulainen et al., 2008).



Joonis 5.13. Hakkpuidu ja pilliroo segu (20% mahust on pilliroog (foto: Ü. Kask)

Ümmargust palli on raske laadida nii, et lapik pind jääks allapoole ja hiljem seda külje peale tagasi pöörata. Seega on paljude ümmarguste pallide transportimine probleem: lapikul küljel transportimine on keeruline, sest pallid võivad autoplatvormilt kurvides ja ülesmäge sõites maha veereda. Selleks, et seda ei juhtuks, on vaja platvorm-treilerit, mille mõlemas otsas on kumerad kaitsepiirded mis takistavad pallide edasi-tagasi veeremist. Teine lahendus on poolhaagis, mille külgedel on tihedalt paiknevad tugipostid, mille vahele saab palle paigutada. Kõrged poordid või tugipostid takistavad pallide vaba veeremist haagisel. Kandilised pakid on ohutumad ja võtavad transportimisel vähem ruumi kui ümmargused pallid (puuduvad õhuvahed). See tähendab seda, et kui niitmisala ja töötlemispaiga vaheline veokaugus on suur (nt üle 10 km), tuleks valida kandilised pakid, selleks et vähendada veokulusid (Santi, 2007).

Tavalise pilliroo kasutamisel energia tootmiseks on logistikaahelas märkimistvääriv ka pilliroost materjali ladustamine (joonis 5.14). Isegi siin on materjali kuju (hakkpilliroog/pallid/pelletid) otsustava tähtsusega: Hakkpilliroo ladustamine eeldab suuri laoruumi ja pole ka majanduslikult tasuv (vajadus suurte

laoruumide järele, energiasisaldus). Hakkpilliroog puistena tähendab, et 1 MWh energia tootmiseks on vaja keskmiselt 4,2 m³ laoruumi, samas kui tiheda pallina on selleks vaja ainult 1,5 m³. Eestis ladustatakse pilliroogu ehitusel



Joonis 5.14. Suurte pilliroopallide ladustamine Lihula katlamajas (foto: Ü. Kask)

kasutamiseks ja isolatsioonimattide valmistamiseks peamiselt vanades kolhoosi tootmishoonetes. Kui pilliroog on juba täielikult kuiv, siis jääb see aastateks kuivana püsima, kuid laoruumi ventilatsioon peab olema hea (Komulainen et al., 2008).

Eestis ja Soomes tehtud katsetes pakiti pilliroog suurtesse pallidesse ja pakkidesse ning väikestesse kandilistesse pakkidesse (~20 kg) ja neid palle/pakke põletati katlamajades katsepõletamise käigus. Paimio kaugkütte-katlamajas ladustati kütust õues ja põletati koos hakkpuidu ja freesturbaga, kuid Orissaare (Saaremaa) katlamajas ladustati sees ning põletati segatuna hakkpuidu ja freesturbaga. Kütuse niiskus ei oma suurt tähtsust, kui hakkpuidu suhteline jääb 40–50% vahele. Kui kasutatakse suitsugaasi kondensaatorit, siis muutub suitsugaasides olev veeaur kondenseerumisel veeks ja vabaneva soojustega saab täiendavalt varustada kaugküttevõrku.

Arvestades pilliroo niitmise ja suurteks pallideks pakkimise kulusid ning veokulusid ja pilliroo tarbimist alumist kütteväärtust katlamajas (3,97 MWh/t), on pressitud pilliroo kui energiakütuse optimaalne veokaugus 25 kuni 50 km ümber katlamajade või koostootmisjaamade, sest sel juhul tagaks biokütuse keskmine hind konkurentsivõime puitkütustega (hakkpuit jne) (Aavik, 2010).

Puistematerjali veokulu 50 km kaugusele on ligi 80 EUR/tonn ja 150 km kaugusele peaaegu

170 EUR/tonn (Puolakanaho 2007). Pilliroopallide veokulu jääb kusagile nende kahe vahele. Seega saab nii veo- kui ka laokulu märkimisväärselt vähendada pilliroo pallimisega, brikketideks ja/või pelletiteks pressimisega. Pallimise kulu võib moodustada peaaegu poole koristamise kogukuludest, mis on olenevalt kasutatud meetodist kuni 110 EUR/ha (Komulainen et al., 2008).

Pilliroo tarneahela mõju keskkonnale

Pilliroo kasutamisega seotud keskkonnamõju on tühine. Ohtusid võib peamiselt iseloomustada kui keskkonnanõuete rikkumisi rooväljadelt pilliroo koristamisel. Valdkondade loetelu, mis võivad kahju kanda:

- Veekaitse - rannikuveest liigsete toitainete eemaldamine pilliroo koristamise teel. Mõju on üsna paikne ja otstarbekas peamiselt piirkondades, kus pilliroo ja ravimuda kasutamine või muud rannaalade kasutamiseviisid ei ole omavahel vastuolus. Veekogu põhja ja setteid võib kahjustada koristamisel sobimatu tehnika kasutamine või koristamine suvel ja sügisel;
- Bioloogilise mitmekesisuse säilitamine, pakkudes paljudele loomaliikidele sobivaid elupaiku, eriti lindudele pesitsemiseks ja kaladele kudemiseks/elamiseks;
- Esteetiliste ja kultuuriliste väärtuste hoidmine ajalooliste maastike korrastamisega. Pilliroog kui traditsiooniline ehitusmaterjal ja oluline osa rannamaastikust paljudes piirkondades võib intensiivse kasutamise tõttu kaotada oma ajaloolise ja esteetilise väärtuse.

Eriti just suvine või varasügisene koristamine võib tekitada pilliroo ressursi säästliku kasutamise osas erinevaid probleeme seoses sellega, et (Granéli, 1984):

- Risoomi võib hävitada ka kombain, mis vähendab ressursi regenereerumist. Suvine lõikamine võib oluliselt vähendada kasvamist ja maapealse biomassi hulka järgmisel aastal (Weisner ja Granéli, 1989; Asaeda et al., 2006) ning veealune lõikamine võib oluliselt pärssida uute võrsete kasvamist (Weisner and Granéli, 1989);

- Pinnapealse biomassi eemaldamise tõttu väheneb risoomidesse toitainete kogumine, mis võib vähendada järgmise aasta biomassi hulka;
- Suvel energeetiliseks vajaduseks koristatud biomass vajab energiamahukat kuivatamist, kui seda materjali ei kasutata just biogaasi tootmiseks;
- Häiritakse tõsiselt keskkonda, nagu näiteks lindude pesitsusaladel.

Võrreldes suvise või talvise koristamisega on talvisel koristamisel mitmeid eeliseid (Graneli, 1984):

- Tõsiseid keskkonnaprobleeme ei teki.
- Risoomide hävimist saab ära hoida, kui koristamine toimub jää pealt või külmunud pinnaselt.
- Roog ei vaja enne kütuse või ehitusmaterjalina kasutamist kuivatamist.

Seega pole talvisel lõikamisel üldsegi mõju või on see vähene uute võrsete tekkimisele ehk biomassile ja kevadine valgus, mida ei varjuta eelmise aasta kõrred, võib pakkuda pilliroo kasvamiseks isegi paremaid tingimusi (Granéli 1990) ning vähendab parasitide kahjulikku mõju pilliroo kasvule (van der Toorn ja Mook 1982, Kovács et al., 1989). Ostendorpi arvates (1991, 1999) muudab talvine koristamine pilliroo tihedamaks, kuid varred peenemaks.

Talvisel koristamisel on ka mõned puudused (Graneli, 1984):

- Ainult umbes 50% aastasest biomassist on kasutamiskõlblik (kui seda kasutatakse rookatuste tegemiseks);
- Ainult väikesed kogused toitaineid eemaldatakse süsteemist, kuna suurem osa toitainetest läheb ringlusega risoomidesse.

Pilliroo biomassi koristamise mõju märgaladele pole põhjalikult uuritud ja pilliroo lõikamise majandusliku teostatavuse hindamine ei sisalda täiendavaid keskkonnateenuseid, mis on seotud elupaikade säilitamise ja toitainete eemaldamisega. Pilliroogu kui loodusressursi (nt pilliroog kui katusekattematerjal ja biokütus energia tootmiseks, pilliroo tähtsus reovete puhastamisel) saab lihtsalt rahas hinnata. Samas on keeruline hinnata pilliroo ja roostike positiivset mõju keskkonnale. Pilliroo ressursside säästlik kasutamine nõuab kõigi võimalike kasutamise- ja töötlemismeeto-

dite arvesse võtmist, aga ka ühiskonna valmisolekut maksta roostikualade korrashoiu eest.

Pilliroog on CO₂ neutraalne kütus, mis tähendab kokkuhoidu neile elektrijaamadele, mida mõjutab heitkogustega kauplemine. Arvatakse, et energeetiliselt võrdub üks hektar roostikku umbes 2000 liitri kerge kütteõliga. Kui kasutada ühelt hektarilt saadud pilliroosaaki energia tootmiseks, on võimalik ära hoida umbes 6 tonni CO₂ heitkoguste tekkimist (Komulainen et al., 2008). Roostikud ja teised märgalad võivad paisata atmosfääri märkimisväärses koguses metaani. See kasvuhoonegaas tekib mudases keskkonnas, mida iseloomustab hapnikuvaegus. Sage pilliroo koristamine ja kasutamine võiks vähendada metaani lendumist vähema hulga orgaanilise aine (võrsed ja lehed) merepõhja settimise tõttu.

Hoolikal korraldamisel on pilliroo koristamisel potentsiaali anda edaspidigi oma osa mõne ökosüsteemi teenuse osutamisse, suurendades roostiku suutlikust eemaldada toitaineid ressursitõhusate ja taastuvate ehitusmaterjalide kasutamise ja koristatud biomassi bioenergiaks muundamise kaudu. Säästliku lähene misviisi puhul on siiski vaja säilitada tasakaal looduslike ökosüsteemi teenuste, mida pakuvad roostikud, ja roostike potentsiaali arendamise vahel, et aidata edaspidigi kaasa ökosüsteemi teenuste arenemisele. Keskkonnaalased prioriteedid, mida pilliroo koristamine mõjutab, on vee läbipaistvus, eutrofeerumine, biokeemilised tsüklid, toiduvõrgustiku dünaamika, bioloogiline mitmekesisus, põhjataimestiku ja lindude elupaigad, kalandus, ranniku morfoloogia, maastiku- ja kliimakaitse.

Roostikualad soodustavad piirkonnas loodusturismi kuna roostikud tagavad soodsad tingimused lindude pesitsemiseks ja linnuvaatluseks ning head kalastuskohad kalameestele. Neid keskkonnateenuseid on raske rahaliselt hinnata.

Pilliroo kütuseks varumisega kaasnevad sotsiaalsed ja majanduslikud riskid

Igal aastal erinevad ilmastikutingimused seavad piirid pilliroo koristamisele. Purunev jää võib roostiku hävitada ja tugevad tuuled selle maatas teha (joonis 5.15). Talvise pilliroo koristamise edu on oluliselt

seotud lumeolude ja vett katva jää paksusega. Kui külmumine toimub sügisel, mil veetase on kõrge ja seejärel veetase langeb, siis moodustub pilliroo varte külge klammerdunud õhuke jää isoleeriva kihi, mis aeglustab edasist jäätumist. Sel juhul võivad jääkihtide vahel olevad õhutaskud koristustehnika raskuse all puruneda (joonis 5.16). Jääpinnale rohkelt sadanud lumi (joonis 5.17), aeglustab kandva jää moodustumist. Mõnel aastal võivad kehvad jääolud takistada pilliroo koristamist kogu talve jooksul. Halvimal juhul pole võimalik koristada isegi 10% eeldatud saagist (joonis 5.18) (Kask et al., 2007). Talvine saak võib olla lehtede langemise ja lumekahjustuste tõttu 20–25% väiksem kui suvine. Tulevikus võib kliima soojenemine muuta talvise saagikoristamise (mis toimub jää pealt) palju raskemaks ja keerulisemaks, sest jääkattega periood talvel lüheneb ja jää jääb õhemaks.



Joonis 5.15. Jääkahjustused Toolse roostikus 2007. aasta veebruaris (foto: Ü. Kask)

Edasine koristustehnika, seadmete, mootorikütuse ja tööjõu hinnatõus mõjutab kütuseks kogutava pilliroo võimalikku hinda. Katusekattematerjali ja ehitusmaterjalide tootjad võivad hakata konkureerima nende tarnijatega, kes koristavad pilliroogu katlamajade kütuseks, kui nende toodete tarbimine kasvab. Pilliroost isolatsioonipaneelide järele on nõudlus keskkonnasõbralike ehitajate hulgas juba täna. Katuse katmisest järelejäanud pilliroovihkude ja jääkpilliroo purustamine ja pakkimine on töömahukas ja kulukas.



Joonis 5.16. Mitmekordsed jääkihid Turbuneeme roostikus 2007. aasta veebruaris (foto: Ü. Kask)



Joonis 5.17. Kõrged lumehanged Loode tammiku roostikus, 2007. aasta veebruaris (foto: Ü. Kask)



Joonis 5.18. Silma järgi hinnates on 80% roostikust kahjustatud (Sutu Laht, 2007. aprillis, foto: Ü. Kask)

Pilliroo kui kaugkütte katlamajade tooraine tarnimisel võivad konkurendid olla ka nende pelletite ja bri-

keti tootjad. Vedelkütuste hinnatõusu tõttu võib kasvada pidevalt pilliroopelletite hind. Euroopas pole turu nõudlus nii puitpelletite (-briketi) kui rohtsest biomassist pelletite (briketi) järele kaugeltki rahuldav ja jõukas Euroopa tarbija suudab maksta kõrgemat hinda kui Eesti tarbija tõenäoliselt veel mitmeid aastaid.

Näiteks kvaliteetse tööjõu pidev väljavool Eestist võib hakata avaldama tõsist mõju ka maapiirkondades, kus tööd teha soovivaid töölisi ei pruugi enam alles jääda. See on põhjus, miks tuleb kas rohkem jõudu ja raha kulutada tööjõu värbamisele või maksta kõrgemat hinda pilliroo kui tooraine eest. Tooraine niinimetatud “näppamine” katusekatte pilliroo tootjalt tõstab pilliroo hinda kütusena soojatootjate jaoks vastuvõetamatule tasemele.

Seda riskifaktorit, et roostikke hävitatakse neid pahahtlikult põletades ei saa ka välistada (nt mõned aastad tagasi olid roostikepõlengud Rocca-al Mares, Tallinnas ja Pärnus).

Kirjandus

Aavik, T., 2010. The technical, economical and environmental issues of the utilization of reed for energetic purpose. Master thesis, TUT 2010. 68 pp.

Asaeda, T., Manatunge, J., Fujina, T. and Sovira, D., 2003. Effects of salinity and cutting on the development of *Phragmites australis*. *Wetl. Ecol. Management* 11, 127-140.

Flyktman, M. ja Paappanen, T. 2005. Ruokohelven käyttökapasiteettiselvitys. Tutkimusselostus VTT

Graneli, W., 1984. Reed *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel as an Energy Source in Sweden. *Biomass* 4, 183-208.

Granéli, W., 1990. Standing crop and mineral content of reed, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Studel, in Sweden – Management of reed stands to maximize harvestable biomass. *Folia Geobot. Phytotaxon.*, 25, 291–302.

Iital, A., Klõga, M., Kask, Ü., Voronova, V., Cahill, B. 2012: Reed harvesting. *Compendium. An Assessment of Innovative and Sustainable Uses of*

Baltic Marine Resources. Maritime Institute in Gdansk, 2012. 103-123 pp.

Kask, Ü., Kask, L., Paist, A., 2007. Reed as Energy Resource in Estonia. Read up on reed, Ikonen, I., Hagelberg, E. Southwest Finland Regional Environmental Centre, 2007, 102-114 pp.

Komulainen, M., Simi, P., Hagelberg, E., Ikonen, I. and Lyytinen, S., 2008. Reed energy – Possibilities of using the Common Reed for energy generation in Southern Finland. Reports from TUAS, 67, 78 p.

Kovács, M., Turcsányi, G., Tuba, Z., Wolcsánszky, E. S., Vársárhelyi, T., Dely-Draskovits, Á., Tóth, S., Koltay, A., Kaszab, L., Szöke, P. and Jankó, B., 1989. The decay of reed in Hungarian lakes. Symp. Biol. Hung., 38, 461–471.

Ostendorp, W., 1991. Damage by episodic flooding to Phragmites reeds in a prealpine lake: proposal of a model. Oecologia, 86, 119–124.

Ostendorp, W., 1999. Management impacts on stand structure of lakeshore Phragmites reeds. Int. Rev. Hydrobiol., 84, 33–47.

Puolakanaho, K., 2007. Logistics and activity-based costing of common reed's automotive transportation. Turku UAS (in Finnish), 59 pp.

Santi, S., 2007. Harvesting technologies and value-adding to bio-fuels of herbaceous biomasses. Master thesis. Università Politecnica delle Marche and Tallinn University of Technology, 2007, 171 pp.

Van der Toorn J. and Mook, J.H., 1982. The influence of environmental factors and management on stands of Phragmites australis. I. Effects of burning, frost and insect damage on shoot density and shoot size. J. Appl. Ecol., 19, 477–499.

Weisner S.E.B. and Granéli, W., 1989. Influence of substrate conditions on the growth of Phragmites australis after a reduction in oxygen transport to belowground parts, Aquat. Bot., 35, 71–80.

6. Biogaasi tootmine pilliroost

Veli-Matti Jalli Livia Kutsekool, **Ülo Kask** TTÜ, **Aigars Laizans** RTÜ

Biogaasi tootmiseks sobib paremini suvel kogutud toores pilliroomass. Talvine roog on liiga kuiv ja ei sisalda piisavalt bakterite jaoks metaani tootmiseks vajalikke toitaineid. Biogaasi toodetakse käärimisprotsessi käigus, mis on peamiselt metaani ja süsinikdioksiidi tekitav anaeroobne lagundamisprotsess. Järele jäänud muda (käärimisjääki) saab kasutada väetisena. Biogaasi saab kasutada nii soojuse kui ka elektri tootmiseks, aga ka töödelda mootorikütuseks kasutatavaks biometaaniks.

Pilliroo kasutamise kogemused biogaasi tootmise alal ja teave toodangu kohta on üsna piiratud. Tallinna Tehnikaülikoolis läbiviidud eksperimentaalsetes uuringutest selgus, et biogaasi saagis suvisest roost on umbes 150–240 m³/t_{FM}. Metaanisisaldus biogaasis jääb 50-60% vahele (Ü. Kask, avaldamata). Biogaasi kütteväärtus on umbes 6 MWh/1000 m³. Jagadabhi jt.

teatel on roo metaanisisaldus laborireaktorites 20–260 m³/t. Roootsis Kalmari kommunis läbiviidud laboratoorsed katsed andsid samuti roo kooskääritamisel metaani saagiseks umbes 220 m³/t (Risén, E. et al.,) Hinnanguliselt võiksid Rootsist Gotlandi, Ölandi ja Kalmari kommunide roostikud, milles on roo biomassi 5670 tonni, anda kuni 10 GWh biogaasi-energiat.

Teoreetiliselt on taimede biogaasi saagis 150–450 m³/t_{DM} vahel ja võrdluseks on see sealägal 400–900 m³/t_{DM} (Hagström, M. et al., 2005).

Erineval ajal kogutud pilliroost biogaasi tootmise võimaluste hindamiseks on põhjalikke uuringuid tehtud Läti Põllumajandusülikoolis (Dubrovskis, V., 2011). Esiteks hinnati elementide sisaldust Lätis Pape järvelt (tabel 6.1) suvel ja talvel koristatud pilliroos. Selleks, et hinnata gaasi toodangut, kasutati kahte erinevalt ettevalmistatud rooproovi: esimene proov

oli ilma lisanditeta ja lõigatud tükkideks suurusega alla 20 mm (neli 5-liitrilist eraldiseisvat reaktorit, täideti hekseldatud rooga). Teisele proovile lisati spetsiaalset fermenti (tsellulaasi), mis parandab roo käärimist ja biogaasi tootmist. Protsessi temperatuuri hoiti 38±0,5 °C juures (mesofiilne protsess anaeroob-

seks lagundamiseks), pH oli 6,8–7,4 vahel, orgaaniline koormus oli 2,2–3,5 kg ODM/m³, kuni 5 mm suurusteks tükkideks lõigatud pilliroo HRT (hüdrauliline viibeaeg) oli 51 päeva ja üle 10 mm suurusteks tükkideks lõigatud pillirool HRT 80–90 päeva. Tulemused on antud tabelis 6.2.

Tabel 6.1. Elementide sisaldus kuivas ja toores pilliroos, %_{DM}

Elementide sisaldus	Kuiv talvine roog	Värske suvine roog
C,%	46,2-47,3	46,9-47,2
H,%	5,4-5,5	5,87-6,38
N,%	0,36-0,42	0,64-1,21
S,%	0,04-0,08	0,07-0,28

Uurimus näitas, et biogaasi toodang reaktoritest, kuhu lisati fermenti, suurenes umbes 2%, kuid H₂S sisaldus biogaasis suurenes peaaegu 8 korda.

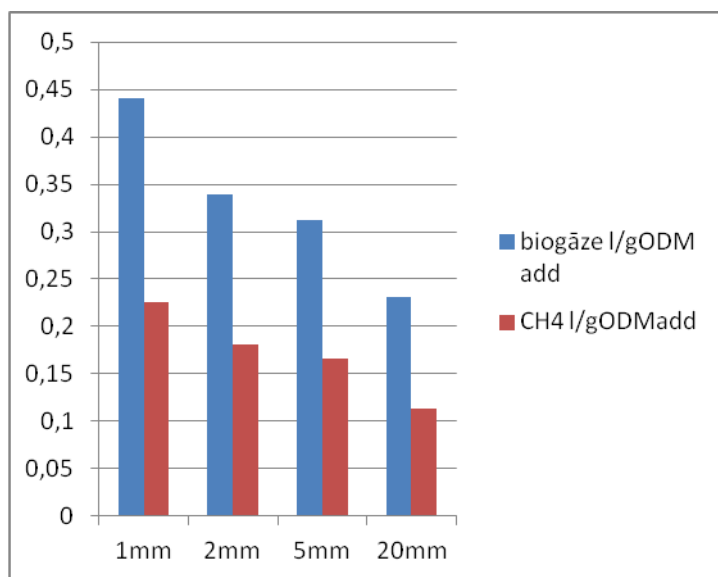
Uurimus näitas ka seda, et pilliroo tüki suurusel oli oluline mõju biogaasi ja CH₄ toodangu väljatulekule kuivast (talvisest) roost – mida väiksema suurusega olid rootükid, seda suurem oli toodang (tabel 6.3).

Tabel 6.2. Biogaasi toodang bioreaktoris

Kombineeritud täitmine	Biogaasi toodang 50 päevaga	CH ₄ %, keskmine	CO ₂ %, keskmine	H ₂ S ppm keskmine	CH ₄ , math l	Biogas toodang, l/g _{DOM}	CH ₄ toodang, l/g _{DOM}
Toores roog, tüki suurusega vähem kui 20 mm, inokulumiks veiseläga	24,55	51,1	46,4	28	12,53	0,294	0,150
Toores roog, tüki suurusega vähem kui 20 mm, inokulumiks veiseläga ja tsellulaas MTL (3,4 g reaktori kohta)	24,91	51,1	44,8	235	13,03	0,298	0,156

Tabel 6.3. Biogaasi toodang pilliroost – tükkide suurus 1 mm kuni 20 mm

Tüki suurus	Keskmine biogaasi toodang, l	CH ₄ %	CH ₄ , l	CH ₄ l/g _{ODM}
1mm	8,725 ±0,675	51,28±2,15	4,48±0,26	0,253
2mm	6,96±1,48	53,38 ±5,6	3,7±0,76	0,208
5mm	6,125±0,27	53,15±7,08	3,255±0,57	0,194
20mm	5,083±0,91	49,34±0,77	2,511±0,49	0,141

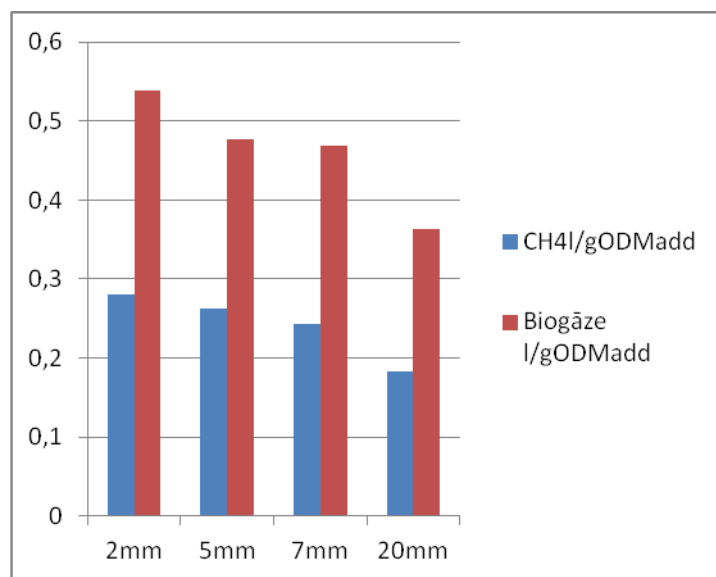


Joonis 6.1. Keskmise biogaasi toodang talvisest roost erinevate tükisuuruste korral

Tuleb rõhutada, et pilliroo biolagunemise määr on üsna väike ja bioloogilise lagunemise käigus täitub bioreaktor ligniiniga, mis sisaldab väga aeglaselt biolagunevat muda. Selle määra suurendamiseks on soovitatav kasutada kooslagundamist sõnniku, reoveemuda jne lisamisega, mis suurendab niiviisi lämmastiksisaldust.

Läti Põllumajandusülikooli teadustöö tulemused näitasid, et rohkem metaani saab toorest roost – kuni 280 m³ biogaasi ühe tonni kuivaine (DM) (150 m³ CH₄/t_{DM}) kohta. Võrdluseks saab ühest tonnist kuivast pilliroost 226 m³ biogaasi/t_{DM} (110 m³ CH₄ t_{DM}). (V. Dubrovskis, 2011).

Biogaasi tootmisest järelejäänud reovee setteid saab kasutada orgaanilise väetisena. 5 hektarilt koristatud ja biogaasi tootmiseks kasutatud pilliroo setted oleksid teoreetiliselt piisavad aastase väetamisvajaduse rahuldamiseks 2–4 ha suurusel põllumaal, eeldusel, et pilliroo biomassis sisalduvast lämmastikust läheb ligikaudu 60% ja fosforist peaaegu 100% uuesti ringlusse. Siiski saab biogaasi tootmiseks, kasutada ainult suvist roogu, kuna talvine roog on liiga kuiv ja ta toitainete sisaldus on väiksem, mis vähendab bakterite võimet metaani lagundada (Iital et al., 2012). Kuid V. Dubrovskise uurimus näitab, et see on võimalik ainult sõnniku kui protsessi käiviti lisamisega, tsellulaasil põhineva saksa kemikaaliga MTL ja roo võimalikult peeneks heksel-



Joonis 6.2. Keskmise biogaasi toodang suvisest roost, erinevate tükisuuruste korral l/gODM

damisega (1–2 mm tükid).

Kui biogaasi toodetakse ainult pilliroost või pilliroo ja muude rohtsete taimede segust oleks sobivaim tehnoloogia kuivkääritamine. Kuivkääritamise lõpptood (kääritamisjäät - digestaat) on sama, mis märgkääritamisel ja seda saab samuti kasutada komposti tegemiseks või põlluväetisena. Protsessi töökindluse ja stabiilsuse seisukohalt tuleks arvestada kuivkääritamise eelistega: kääritatismahutis pole vahutamist ega sadestumist. Sama toodangumahu ja omatarbeenergia vajaduse juures on tarbimine umbes 10% väiksem ning biogaasijaama hooned ja rajatised on väiksemad.

Metaani toodang suureneb, kui sealäga ja rohtset biomassi lagundatakse koos, sest moodustub sobivaim süsiniku-lämmastiku suhe (C/N). Kui rohttaimede massi osakaal suureneb ülemäära, väheneb metaani saagis (Tuomisto, H., 2006).

Optimaalne C/N suhe anaeroobse lagundamise protsessis on 20–30, sest siis bakterid saavad toitained kätte õiges suhtes. Pilliroo süsinikusisalduse juures 47,5% ja lämmastiksisalduse puhul 0,3% on C/N suhe 90 (ELY Center). Seetõttu sobib roog hästi kääritamiseks koos lämmastikurikka sõnnikuga, sest sealäga C/N suhe on 6:5 (Hatsala, A., 2004). Samuti on oluline, et süsinikerikas pilliroog leevendab ammoniaagi teket.

Tabel 6.4. Biogaasi toodang toorest pilliroost

Tüki suurus	Keskmine biogaasi toodang, l	CH4 %	CH4, l	CH4 l/g _{ODM}
2 mm	8,81	52,2	4,09	0,191
5 mm	9,21	54,9	4,43	0,190
7 mm	8,8		4,07	0,180
20mm	7,13		3,16	0,152

Võib eeldada, et kogutud tavalise pilliroo saak hektarilt võrdub oma energiasisalduselt 1,5–2 elektriküttega väikeelamu elektritarbega. Kui lõigata pilliroogu ühtekokku umbes 3800 hektarilt, oleks seda piisavalt, et tagada elektri- ja soojavarustus 5400 elektriküttega väikeelamule (Komulainen, M. et al., 2008).

Tuorla katsepiirkond

Livia kolledži kinnistul oleva merelahe kaldaaladel on pilliroog viimase aastakümne jooksul tõsiselt võimust võtnud. Silmsidet üle Kuusistonsalmi (väina) mitme meetri kõrguste roostikualade on märkimis-

väärselt raskem pidada ja väin ise on kitsamaks jäänud pärast seda, kui pilliroog vallutas Tuorla vanad rannakarjamaad ja akvatooriumi (joonis 6.3). COFREEN projekti (INTERREG IVA) läbiviimisel on olnud eesmärgiks pilliroo katselõikamine Tuorla rannaaladel ja pilliroo biomassi kasutamine energia tootmiseks. Biogaasi tootmine pilliroost ja muudest biomassiliikidest on olnud põhiline kasutamismeetod. Seda tehti Tuorla biogaasijaamas, mis lasti käiku 2012. aasta kevadel ja mis asub vaid 300 meetri kaugusel kaldast, kus roogu lõigatakse. Tuorla ranniku roostike kogupindala on umbes 20 ha, millest 8 ha on maismaal ja ülejäänud 12 ha vees.



Joonis 6.3. Roostikud ja õppemajand Tuorlas, suvi 2013 (autori foto)

Roostike lõikamine projekti käigus

2011. aastal koristati pilliroogu kahes etapis: maismaal kasvavatest roostikest lõigatud roog purustati kohapeal (Lännen Järviperkaus Oy poolt) ja vees kasvav roostik niideti (Telapari Oy poolt) ning pilliroog toodi purustamiseks kaldale (Moto-Olli Oy poolt). 2011. aastal varuti pilliroogu kogu Tuorla kaldajoone ulatuses, s.o ligikaudu 20 hektarilt. Osa

pilliroo biomassist ladustati siis veel lõpetamata biogaasijaama kinnistes kaarhall-hoidlates, samas kui ülejäänud tehti mulla parandamiseks kompostiks.

2012.a. sügisel lõigati vees kasvavat pilliroogu teist korda (Telapari Oy), kusjuures niidetud pindala oli 12 hektarit. Saak oli väike eduka koristamise tõttu eelmisel aastal. Samaaegselt toodi Velho projekti käigus Masku ja Paimionlahti lahes niidetud pilliroo

biomass Tuorla biogaasijaama, purustati (Moto-Olli Oy poolt) ja ladustati koos Tuorla pilliroo biomassiga kaarhall-hoidlatesse. Biogaasistamise jaoks kogutud pilliroo kogumass ligi 160 tonni.

2013. aasta varakevadeks oli pilliroog Tuorla lõikeala maismaa osas lõigatud, hekseldatud ja kaldal olevatesse hoidlatesse kogutud (Lännen Järviperkaus Oy). 2011. aastal purustamise tulemusena ja vasikakopliite laiendamise tõttu 2012. aastal oli saak tagasihoidlik. Talvel lõigatud rooga tehti hakitud roo põletuskatse ühe talu jaoks sobiva suurusega katlamajas (Jalli, Koski TI). Põletuskatsel tekkisid peamiselt etteande probleemid kõrte pikkuse ebaühtluse tõttu.

Projekti käigus Tuorla roostikele avaldatud mõjud

Rannikualade kasutamist vaba aja veetmiseks ja veiste karjamaadena on roo lõikamine parandanud (joonised 6.4 ja 6.5).

Roostike kasvujõudu on vähendanud korduvad lõikamised ja peale viimast niitmist oli biomassi saak oluliselt väiksem.

2012. aastal ehitati uued karjatarad kaldaaladele ja seega paranes maismaal kasvavate roostike kasutatavus põllumajandusmaana. Ülekasvanud roostike lõikamine või purustamine aitab kaasa sellele, et kasvav pilliroog on kättesaadav veistele karjatamiseks.



Joonis 6.4. Tuorla roostik enne lõikamist (autori foto)



Joonis 6.5. Tuorla roostik pärast lõikamist (autori foto)

Projekti käigus linnustikule avaldatud mõju

Roostikus ja rannaniitudel elava linnustiku ja sookonnade alasid laiendati, vastavalt roostike kasutamise strateegiale, katmaks ka Tuorla rannajoont (Klemola, H., 2011). Lõikamisel arvestati strateegilise aruande jaoks koostatud töökaartidega. Tuorla kaldaalad ei kuulu Natura alade hulka, kus tuleks eriti

arvestada looduslike väärtustega. Aruandes soovitati Tuorla kaldaalad ümber kujundada rannaniitudeks.

Kokkuvõtteks tuleb märkida, et roostikualade niitmine on toonud rannaniitudele tüüpilised linnuliigid sinna tagasi. Teisest küljest on tüüpiliselt roostikus elavate linnuliikide arv järsult vähenenud. Soovitatakse jätkata kaldaalade niitmist ning, kui võimalik, isegi niidetud pilliroo riisumist ja väljaviimist niitaladelt.

Hariliku pilliroo kasutamine biogaasi tootmiseks



Joonis 6.6. Biogaasitehas Livia Kutsekoolis (autori foto)

Tähelepanekud roo kasutamisest biogaasijaamas

Pärast niitmist ja enne tegelikku gaasistamist tuleb pilliroogu eelnevalt töödelda, nt purustada ja ladustada kinnistes kaarhall-hoidlates, et toimuks piimhappe käärimine. Biogaasistamise puhul tuleb jälgida et kääriv mass oleks võimalikult homogeenne ja protsess võimalikult stabiilne. Katseperioodil ei olnud võimalik kasutada ainult ühte substraati (nt pilliroogu), et oleks saanud teada pilliroo ühest tonnist toodetud biogaasi saagist. Tehase esimese täisvõimsusel töös olnud aasta jooksul on tehtud palju tööd protsessi stabiliseerimiseks, sealhulgas tehniliste häirete kõrvaldamiseks ja reaalajas mõõtmiste kalibreerimiseks. Suuremad probleemid on olnud seotud biogaasi põletamisega koostootmisjaamas. Esimesel talvel

2012. aasta kevadel lasti Tuorlas käiku ühe talu jaoks sobiva suurusega biogaasijaam (joonis 6.6). Jaamas kasutatakse instituudi põllumajandustegevusest saadavaid substraate (biolagunevaid jäätmeid), millised sobivad biogaasi tootmiseks. Protsessis tekkinud jääki (digestaati) kasutatakse õppemajandi põldude väetamiseks. Setete maht nii reaktoris kui ka järelsetitis on 360 m³ ja gaasihoidla kogumaht 440 m³. Peamised substraadid on sealäga, kuiv vasikasõnnik ja põldudelt pärit erinev biomass. Biogaasi kasutatakse kohalikus koostootmisjaamas soojust ja elektri tootmiseks.

viidi läbi kaks neljanädalast katset nende eespool nimetatud funktsionaalsete tegurite kontrollimiseks.

Ühe aasta jooksul on kasutatud umbes 160 tonni roogu (tabel 6.5). Tehniliselt on pilliroo käärimine toimunud hästi. Eeltöötlemisel (roo peenendamine ja selle segamine), ladustamisel ja reaktoris söötmisel selgus et pilliroo biomassi on küllaltki lihtne käidelda. Kogu reaktoris sisestatud biomassi hulgas on ainult pilliroo tükkidel olnud optimaalne osakeste suurus.

Kuigi suve lõpus lõigatud pilliroo anaeroobse lagunemise määr on tagasihoidlik, on seda kompenseerinud pilliroo biomassi hea ja lihtne eeltöötlemine. Väikestes osakestes on metaanbakteritel rohkem ruumi kinnituda. Ka reaktori segistid ja pumbad töötavad paremini, kui substraat on võimalikult homo-

geenne. Tervikuna võiks kirjeldada Tuorlas katsetatud pilliroo lõikamist ja gaasistamist kui pilliroo kasutamise ideaalset olukorda. Paljud asjad langevad oma kohale: kõrvaltoote kasutamine (mis on probleem), taastuvenergia tootmine, keskkonnajuhtimine, vaba aja veetmise parandamine, toitainete ringlussevõtt, kusjuures kõik see toimub lähiümbruses. Kui pilliroo biogaasistamist vaadelda ainult majanduslikust seisukohast lähtudes, st võttes arvesse ainult

tegelikke tulusid ja kulusid, siis on ettevõtmine olnud siiani kahjumlik. Esiteks on põhjusteks suured koristamis- ja käitlemiskulud. Roostike sedalaadi kasutamine nõuaks olulisi ühiskondlikke investeeringuid kuni selleni, et vee- ja kaldaalade omanikud oleksid valmis osa kulusid enda kanda võtma. Teiselt poolt toetaks roostikualade haldamise teenuseid pakkuvate ettevõtjate arvu ja suutlikkuse suurendamine niitmise tõhustamist sisuliselt.

Tabel 6.5. Ühe aasta jooksul gaasi tootmiseks kasutatud biomassi kogused ja bioenergia tootmiseks kasutatud biogaasi saagis

Kuud, aasta	Etteantav materjal								Biogaasi kasutamine
	Silo	Suhkrupeedi lehed	Silo-rullid	Roog	Sea-läga	Sõnnik	Glütserool	Muud	
	kg	kg	kg	kg	m ³	kg	l		m ³
juuni 2012				10000					
juuli12	0	28050	2350	21700	30	1500	910	0	3489
august12	1200	10180	7100	8300	137	26400	3860	0	4674
september12	0	3100	14260	7220	74	23610	3300	1990	5769
oktoober 12	38700	15000	11900	0	100	2800	1350	1000	5382
november12	31200	26480	12993	0	122	0	1600	0	7897
detsember12	13900	13650	6165	0	57	0	625	0	4303
jaanuar 2013	31750	16800	14080	33500	74	0	975	1100	4283
veebruar 13	46150	0	0	40100	75	0	675	0	4060
märts13	9300	0	12600	12700	81	56850	200	0	5862
aprill13	3250	3400	12820	10100	76	51100	410	0	6396
mai13	5300	0	14210	18050	66	50870	1000	0	4238
Kokku	180750	116660	108478	161670	892	213130	14905	4090	56352

Tervikuna võiks kirjeldada Tuorlas katsetatud pilliroo lõikamist ja gaasistamist kui pilliroo kasutamise ideaalset olukorda. Paljud asjad langevad oma kohale: kõrvaltoote kasutamine (mis on probleem), taastuvenergia tootmine, keskkonnajuhtimine, vaba aja veetmise parandamine, toitainete ringlussevõtt, kusjuures kõik see toimub lähiümbruses. Kui pilliroo biogaasistamist vaadelda ainult majanduslikust seisukohast lähtudes, s.t võttes arvesse ainult tegelikke tulusid ja kulusid, siis on ettevõtmine olnud siiani kahjumlik. Esiteks on põhjusteks suured koristamis- ja käitlemiskulud. Roostike sedalaadi kasutamine

nõuaks olulisi ühiskondlikke investeeringuid kuni selleni, et vee- ja kaldaalade omanikud oleksid valmis osa kulusid enda kanda võtma. Teiselt poolt toetaks roostikualade haldamise teenuseid pakkuvate ettevõtjate arvu ja suutlikkuse suurendamine niitmise tõhustamist sisuliselt.

Biogaasi tootmine avaldaks peale piirkonna energiaga varustamise isegi täiendavat positiivset mõju. Kohaliku energiaallikana oleks see üks tegureid, mis mõjutaks uut tüüpi energiaettevõtluse kasvu ja seega ka kohalikku tööhõivet ja äritegevust. Keskkonna seisukohast vähendaks pilliroo kasutamine kasvu-

hoonegaaside heitkoguseid, parandaks vee kvaliteeti ja looks võimalusi vees lahustunud toitainete tagasitoomiseks põldudele (Komulainen et al., 2008).

Kui arvutused põhinevad üksnes bruto energiahinnal, siis pole pilliroo kasutamine otstarbekas. Kuid sama kehtib paljude teiste biolagunevate materjalide kohta. Riihimäki, M. (2006) sõnul vajaks tavalise pilliroo kääritamine täiendavat riiklikku toetamist. Näiteks võiks maksta lisa toodetavale energiale (elekter, soojus). Teiseks võiks selle toetuse jagada energia tootmiseks kasutatavate roostike niitjate ja energiakultuuride põllul tootjate vahel. See oleks piisav koristamiseks katmiseks ja muudaks roostike kasutamise tõeliseks alternatiiviks.

Kirjandus

Jagadabhi, P.S., Kaparaju, P., Rintala, J. 2011. Two-stage anaerobic digestion of tomato, cucumber, common reed and grass silage in leach-bed reactors and up-flow anaerobic sludge blanket reactors. *Bioresource Technology* 102, 4726–4733.

Risén, E., Gregeby, E., Tatarchenko, O., Blidberg, E., Malmström, M.E., Welander, U. and Gröndahl, F. Assessment of bio methane production from maritime common reed. From an energy, greenhouse gas and nutrient balance perspective.

Iital, A., Klõga, M., Kask, Ü., Voronova, V., Cahill, B. 2012: Reed harvesting. Compendium. An Assessment of Innovative and Sustainable Uses of Baltic Marine Resources. Maritime Institute in Gdansk, 2012. 103-123 pp.

Hagström, M., Vartiainen, E., Vanhanen J. 2005. Biokaasun maatilatuotannon kannattavuusselvitys. Loppuraportti, Gaia Group Oy.

Tuomisto, H., 2007. Biokaasun ja peltoenergian tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset. Maa- ja metsätalousministeriön työryhmämuistio 2006/1.

Rintala J., Lampinen A., Luostarinen S., Lehtomäki A., 2002. Biokaasusta uusiutuvaa energiaa maaseudulla. Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos.

Hatsala, A., 2004. Biokaasun tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Kanta-Hämeessä. Hämeen ammattikorkeakoulu, ympäristötekniikan koulutusohjelma. Hämeenlinna.

Riihimäki M. 2006., Vakka-Suomen Bioenergiastrategia. Vakka-Suomen seutukunta kuntayhtymä.

Dubrovskis, V., 2011. Papes ezera niedru kā izejvielu biogāzes ražošanai pielietošanas iespēju pētījums. (Pape lake reed as biogas production resource usage research). COFREEN research report

Dubrovskis, V., Koteļņecis, V., Zučika, A., 2012. Biogas producing potential from reeds. International conference Biogas world, Berlin 23-24.02.2012. CD.

Dubrovskis, V., Kazulis, V., 2012. Biogas production potential from various reeds. International conference on Renewable energies and Power Quality 28-30.03 2012 Santiago de Compostella RE&PQJ journal N10. P 515 CD. ISBN:978-84-615-6648-8.

Klemola, H., 2011. Inventory of birds and *Rana arvalis* in the selected reed bed and coastal meadow areas in Kaarina-Piikkiö and work plan for the areas according to Reed strategy (in Finnish). pp. 46.

7. Pilliroog kui käsitöö materjal

Satu Paananen, Turu Rakenduskõrgkool

Pilliroogu on aastasadade jooksul kasutatud väga mitmel otstarbel. On leitud, et aastatel 2800–2700 EC kasutati pilliroost valmistatud stiiluseid kirjutamiseks kas papüürusest valmistatud paberile või kirjamärki-

de kraapimiseks pehmele savitahvlile. Seega saame väita, et pilliroog on mänginud tähtsalt rolli inimkonna kirjutamistraditsioonide tekkimises ja kaubanduse arengus. Ka Soome lahe kallastel on roogu kasutatud

juba eelajaloolisest ajast alates. Roogu kasutati varju-
aluste katmiseks ja torude ning vilede valmistami-
seks, roo risoome kasutati toiduks. 18. sajandist päri-
nevad üleskirjutused kinnitavad, et nii pilliroo kõrsi
kui ka õisikuid kasutati 18–19 sajandil käsitöö mater-
jaliks ja ehitamiseks, risoome tarvitati rahvameditsii-
nis mitmete vaevuste ja haiguste raviks (Häkkinen, J.
2007: 62-63).

Harilikku pilliroogu kasutati ennevanasti ja kasuta-
takse praegugi käsitöökäsitööesemete valmistamiseks. Kuigi
võrreldes õlgedega on pilliroog vastupidavam mater-
jal ei ole seda tänu jäikusele ja tugevusele punumi-
seks sama lihtne kasutada kui õlekõrsi. Ehituspilli-
roog lõigatakse soovitatavalt talvel, aga kõige kest-
vama ja kaunima materjali käsitööks saab suvel ko-
ristatud pilliroost, mis on kuivatatud vabas õhus.
Kui roog on kuivanud, siis kõrred kooritakse, et nad
oleksid säravad ja puhtad.



Joonis 7.1. Rootara varjab võõraste pilkude eest ja
kaitseb hästi tuule ja päikese eest (foto: A. Hemmi)

Pillirootara kaitseb hästi otsese päikese kiirguse ja
tuule eest ning roohake on suurepärane materjal pee-
narde kaitsmiseks külma eest.

Käsitöö materjalina kasutatakse roogu mitme viisil.
Roost tehakse vilepille, kudumisvardaid, erinevaid
kaunistusi jõulude ajaks, potiümbriseid, skulptuure,
ökoloogilist “rohelist” kunsti, roomatte, istmekatteid
ja aknakatteid (Lumo 2013). Kasutada saab nii kõrsi
kui ka õisikuid. Lisaks headele soojustusomadustele
on pilliroog väga mitmesugust kasutust leidev mater-
jal.



Joonis 7.2. Pillirookõrsi kasutatakse jõulukrässide
valmistamiseks. 1920. aastal tehtud jõulukaunistus
Soomest (foto: E. Hagelberg)

Pillirookõrtest matke, kardinaid, istmekatteid ja akna-
katteid saab ka telgedel kududa. Lihtsat kudumistelge
on võimalik ise kokku panna. Vaja läheb puitraami ja
kanepinööri. (Tuomela, O. 2006:12). Tihedalt seotud
kõrred loovad suurepärase varjualuse ja kaitsevad
tuule, päikese ja temperatuurimuutuste eest. Turvali-
sus on tagatud nii taimedele ja loomadele kui ka nen-
de eest hoolitsejatele.



Joonis 7.3. Istmekate,
millel on mugav istuda ka
külmal ajal (foto: S. Leh-
ti-Koivunen)



Joonis 7.4. Roogu
saab kasutada siseruu-
mide kaunistamiseks.
Aknakatte on valmis-
tanud Terhi
Huuskonen Kaarinast
(foto: O. Tuomela)



Joonis 7.5. Muljet avaldav laualamp: keraamiline pott pilliroost lambivarjuga. Valmistanud Cornelius Colliander (foto: O. Tuomela)



Joonis 7.6. Lihtsad teljed, millega on võimalik kudu- da roomatti või istmekatet (foto: O. Tuomela)

Roo õisikuid on traditsiooniliselt kasutatud patjade ja madratsite täiteks. Selleks otstarbeks lõigati roog kohe õitsemise järel, sügise hakul ja kuivatati kas

päikese käes või mõnes sooja kohas, nagu nt saunas. Suitsu käes hävisid ka kõik pisiputukad ja mikroobid, lisaks tuli õisikutele juurde meeldiv suitsulõhn soolõhna asemele. Ühe padja täiteks kulus u 3 kg õisikuid ja madratsi täiteks 20 kg. Täitematerjaliks oli võimalik kasutada ka kõrsi. Kirjutatud on, et hästi tehtud madrats pidas vastu 10–15 aastat ja õigeaegne lisatäitmine pikendas madratsi eluiga isegi 25–30 aastani (Häkkinen, J. 2007).

Villa loodusliku värvainena on pilliroog ideaalne materjal. Kõrred, lehed ja õisikud annavad roheka või kollaka värvitooni (joonis 7.7). Parim värvaine saadakse kasutades varasuvet enne õitsemise hakkamist lõigatud lehti ja kõrsi. Kuna pillirookõrred sisaldavad kiudusid, siis on neist võimalik valmistada ka paberit (joonis 7.8). Selleks otstarbeks tuleb roog lõigata suvel, ajal kui taimede kiudainete sisaldus on kõige suurem.



Joonis 7.7. Harilik pilliroog on suurepärane kollakas-rohelist tooni andev lõngavärv (foto: O.Tuomela)

Rohkem oskusi nõudev käsitöö on kuivadest rookõrrest punumiseks vajalike ribade valmistamine. Leotatud ja pehme kõrre sisse tehakse mõne sentimeetri pikkune sisselõige, mida kuuma triikrauaga pikemaks lukatakse. Saadud ribadest on võimalik punuda mitmesuguseid aluseid, linikuid ja varjusid (Lumo 2013).



Joonis 7.8. Suvel niidetud roo kiusisaldus on suur ja sellest saab valmistada kerget pruunikat paberit (näidis joonisel on tehtud Biopap Oy Fiskars'i poolt) (foto: O. Tuomela)



Joonis 7.9. Sonic Seascape Terrace Aurajoki jõel Turus, Soomes (foto: O. Tuomela)

Pilliroog on ka hea heliisolatsiooni materjal. Tänu sellele omadusele leiab ta samuti kasutamist ehituses. Projekti ProNatMat raames ehitati 2011 aastal Turu linna Soomes pilliroopallidest "Sonic Seascape Terrace". Roopallid viimistleti savikrohviga. Jökke paigaldati veealused mikrofoniid, mis ühendati seinas olevate valjuhäälditega. Inimene, kes istus sellel terrassil, kuulis vee alt kostvaid hääli (Tuomela 2007).

Kirjandus

Häkkinen, J. Traditional use of reed 2007:62-72.
Ikonen, I., Hagelberg, E. Read up on Reed, Vammalan Kirjanpaino OY

Lumo (05.06.2013). www.lumoverkosto.fi

Tuomela O. 2006. Ruoko ja muut röörit. Kuralan kylämäki. (05.06.2013) www.ruoko.fi

Tuomela, O., Decoster-Taivalkoski, M., Haastlahti, H. 2012: 22-27. The Story of the Sounding Reed Bales. Compendium of Promoting Natural Materials. Turku

8. Ärimudel ja rooäri sotsio-ökonoomiline efekt

Aigars Laizans Riia Tehnikaülikool

Roo kasutamise võimalused

Baltimaade ajalugu näitab, et pilliroog, mida niisketel aladel, järvede ja merede kallastel palju kasvab, leiab ka kasutamist. Ammustest aegadest alates on siinmail roogu kasutatud ehitusmaterjalina (alates varju-aluste katmisest kuni seinte ja katuste ehitusmaterjalina kasutamiseni), ka relvade (kerged nooled) valmistamiseks ja lihtsalt tarbeesemete tegemiseks (nagu vilepillid, roost nukud või maskid, ka jõulukaunistused jne). Roogu on kasutatud põllumajanduses (rohelistes võrsed kevadel loomasöödaks, kõrred ja õisikud allapanuks jne). Maailma mastaabis leiame roole muidki kasutusalasid – paberi valmistamine – papüüruse valmistamise tehnoloogia väljatöötamine antiik-Egiptuses, või materjal laevade valmistamiseks – pilliroost ehitatakse väiksemaid laevu ja isegi ujusaari majade püstitamiseks Peruu, Titicaca järvel lõigatud roost. Seega on ka tänapäeval võimalik pilliroogu majanduslikult otstarbekalt kasutada

Alljärgnevalt leiavad kajastamist peaaegu kõik ülalpool loetletud tegevusalad ja lisaks veel pilliroo kasutamine taastuva energiaallikana. Uuringud näitavad, et roogu saab kasutada kütusena otse (katlas põletades) või kaudselt, muundades seda termiliste või bioloogiliste protsesside abil gaasiliseks või vedelaks biokütuseks ja kasutades isegi soojuse ja elektri koostootmisel (Bain et al., 2003). Samal ajal oleks vajalik välja töötada korralik kohalikeks vajadusteks sobiv ärimudel, mis on aga küllaltki keerukas ja mitmetahuline protsess (Diltz et al., 2011).

Ärivõimaluste hindamine tähendab siin seda, et lõigatud või kogutud roogu tuleks ära kasutada mitmel moel. Koristatud roogu saab kasutada ilma erilise lisatööjõu kuluta katuse katmise materjaliks. Vaja on lõigata, kahlud siduda, vedada materjal sorteerimiskohale, puhastada ja uuesti kahludesse siduda. Veidike rohkem lisatööd tuleb teha ehituses kasutatavate rooplaatide või -mattide valmistamiseks (roog tuleb panna sidumisraami vahele, siduda ja servad tasaseks lõigata). Roopakide tootmisel saab ära kasutada lõikejääke ja materjal tuleb pakiks pressida. Märksa rohkem tuleb panustada, kui roo biomassist soovitakse

se toota soojust. Selleks et toota põletamiskõlbulikke pelleteid (rootükkide suurus väiksem kui 20 mm) või brikette (rootükkide suurus üle 20 mm), tuleb roog lõigata vastavalt erineva pikkusega tükikesteks (Kronbergs, Smits, 2009). On olemas kogemus ka suurte roopallide/-pakide põletamiseks kateldes, kuid sageli tekkivad siin probleemid ebaühtlase põlemise, suurte tuhakoguste või põlemisgaaside tõttu. Pallide põletamisel jääb järele kuni 7,5% tuhka ja katsed on näidanud, et u 2% materjalist jääb põlemata (süsiniku sisaldus tuhas). Majanduslikult oleks kasulik toormaterjali tihendada ja katlaid täiustada õhu parema juurdepääsu kindlustamiseks, põlemisprotsessi täiustamiseks ja suurte tuhakoguste käitlemiseks (Morissette et al., 2011). Osa uurijaid on samal ajal rõhutanud, et suurte pilliroo pallide/ruloonide põletamisel saab olulist majanduslikku säästu, võrreldes kivisöe põletamisega, kulutused on vähenenud kuni 28–34% (Zekic et al., 2010). Roo kasutamine biogaasi tootmiseks on planeerimist nõudev ja finantsmahukas tegevus. Määrav faktor on pilliroo lõikuse aeg. Uuringud on näidanud, et suvel lõigatud roost saab toota rohkem biogaasi, kui talvel lõigatud kuivast roost (Dubrovskis, Kazulis, 2012).

Roogu saab kasutada käsitöömaterjalina, punumiseks, vaipadeks, mütsideks jne. Sel juhul on vajalik hoolikas sorteerimine ja valikuline lõikus. Suurel määral on tegemist ainult käsitsi tehtava tööga.

Ärimudel

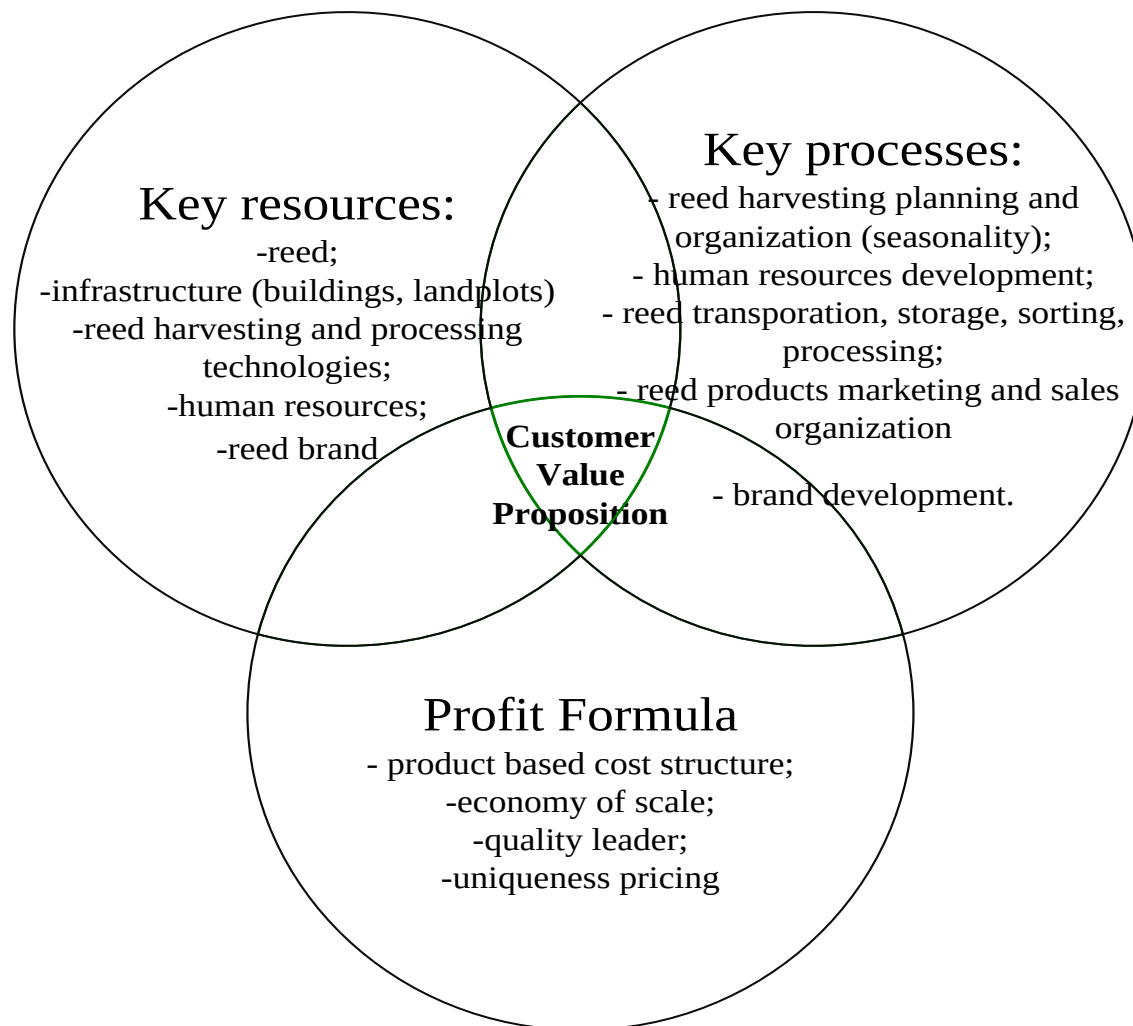
Selleks et vähendada aja ja rahakulu ning suurendada ärioperatsioonide efektiivsust tuleb välja arendada innovatiivne ärimudel. On mitmeid ärimudeli definitsioone ja ülesehitusi, kuid üks sobivamaid võiks olla teadlase ja ärimähe A. Osterwalder'i poolt pakutu, mille kohaselt ärimudeli innovatsioon seisneb selles, et luuakse uusi viise ja meetodeid, toote väärtuse tõstmiseks (siin pilliroo) ja tootmisahela arendamiseks. Seda võib vaadata kui klientide nõudmistele vastavate pakutavate toodete ja teenuste paketti. Stewart ja Zhao (2000) on defineerinud ärimudelit järgnevalt: „See on viis kuidas ettevõtte teeb raha ja

kindlustab kasumivoo tegevusajal.“ Tavlaki and Loukis (2005) nendivad, et ärimudel on ärilise tegevuse põhikontseptsioon.

Ärimudel koosneb neljast (Johnson, Christensen ja Kagerman, 2010) kuni üheksast sisendist (Osterwalder et al., 2010). Samal ajal Osterwalderi pakutud “Ärimudeli lõuendi täitmine“, nõuab enamat informatsiooni kindla piirkonna (roostik) ja firma võimaluste kohta. Seda meetodit käesolevas artiklis ei käsitleta, kuigi igaühel, kes hakkab tegelema roo-

äriga oleks mõistlik süveneda kohaliku piirkonna eripäradesse. Käesolevaga esitame M. Johnsoni ja tema kolleegide poolt pakutud ärimudeli (Johnson et al., 2010). Ärimudeli põhiosaks on: tunnustatud ja väärtuslikud kliendid (tarbijad), kasumlikkus ettevõtete omaniku seisukohast lähtudes, vajalike võtmeressurside olemasolu, teadvustatud võtmetegevused ja nende monitoorimine (seire).

Ärimudeli osad on esitatud joonisel 8.1.



Joonis 8.1. Unifitseeritud ärimudel roo kasutamiseks

Kliendile pakutava toote väärtuse määratlemine (CVP) on võtmetegevus neile, kes hindavad oma võimalusi rooäriga tegelema hakkamiseks. Ettevõtte oma väärtuse määratlemine eristab ettevõtet konkurentidest. CVP kasutamise põhitulemus on erinevate

omadustega rootoodete arendamine, mis oleksid uniikaalsed, nii kohalikul kui ka maailmaturul, eriliste omadustega, mida teised ei suuda lihtsalt järele teha ja kasutajale kvaliteetsed ning teiste samalaadsete toodetega mitte asendatavad. See võimaldab ettevõt-

jal saada konkurentsieelise ja välja töötada pikaajalised plaanid ja strateegia.

Võtmeressurssideks on: pilliroog kui tooraine – saadakse luhtadelt, järvede ja mere randadelt ja olemasolev rookoristamise ja töötlemise tehnoloogia – lõikamine, sorteerimine, kahludesse sidumine, purustamine, pressimine pelletiteks, igasugune käsitlemine ja ladustamine. Oluline on ka võimalus roogu töödelda lõikamiskoha lähedal ning vaba tööjõu olemasolu ja soov tegeleda roo äriaga (nii ettevõtja kui ka töötajate poolne huvi).

Üks lisa võtmeressurss on Balti mere regiooni pilliroost valmistatud toodang. Ettevõtjad Lätist Pape järve äärest on märganud, et Kesk- ja Lääne-Euroopa kliendid peavad siit hangitud roogu paremaks katuse katmise materjaliks kui mujalt Euroopast toodut. Eelistena nimetatakse roo kestvust ja ühtlasemaid mõõtusi (kõrre pikkus ja diameeter). Antud juhul võiks seda nimetada toote unikaalsuseks.

Võtmetegevused, mis tuleb käivitada ja välja arendada rooäriaga tegelemiseks lisaks tavalistele igas uues ettevõttes käivitavatele tegevustele, (nagu nt raamatupidamine) on järgmised – roo koristamise planeerimine ja organiseerimine: lõikus (arvestades et, koristusaeg on lühike ja lõikamine sõltub ilmast ning saagikus on aastati erinev), transport, ladustamine, sorteerimine, töötlemine ja turustamine ning müügiorganisatsiooni loomine.

Üks äärmiselt oluline faktor roo koristamise juures on töötajate motiveerituse tagamine roo koristusperioodil ja oskustega tööjõu säilitamine järgmiseks koristushooajaks. Eriti oluline on see regioonides, kus pilliroogu koristatakse ainult mõnede talvekuude jooksul ja tööjõudu on vaja ainult sel ajal. Isegi põlluharijad võivad olla hõivatud külvielsete tegevuste organiseerimisega hilistalvel ja vähesed neist saavad tegeleda roo koristamisega

Rääkides toodangu turustamisest ja müügist on võtmesõnadeks ökoloogilisus, loodussõbralikkus ja säästlikkus. Brändi (tootemargi) nimi on olulise tähtsusega ja toodangu väärtus klientide jaoks sõltub pakutava toote unikaalsusest (Matson, 2008).

Rooga tegelevad ettevõtted regioonis toodavad kasumit ja meelitavad kohale enam finants- ja inimressurssi, mis on kasulik regionaalse arengu seisukohast. Kasumi suurus on paraku erinevate toodete puhul erinev.

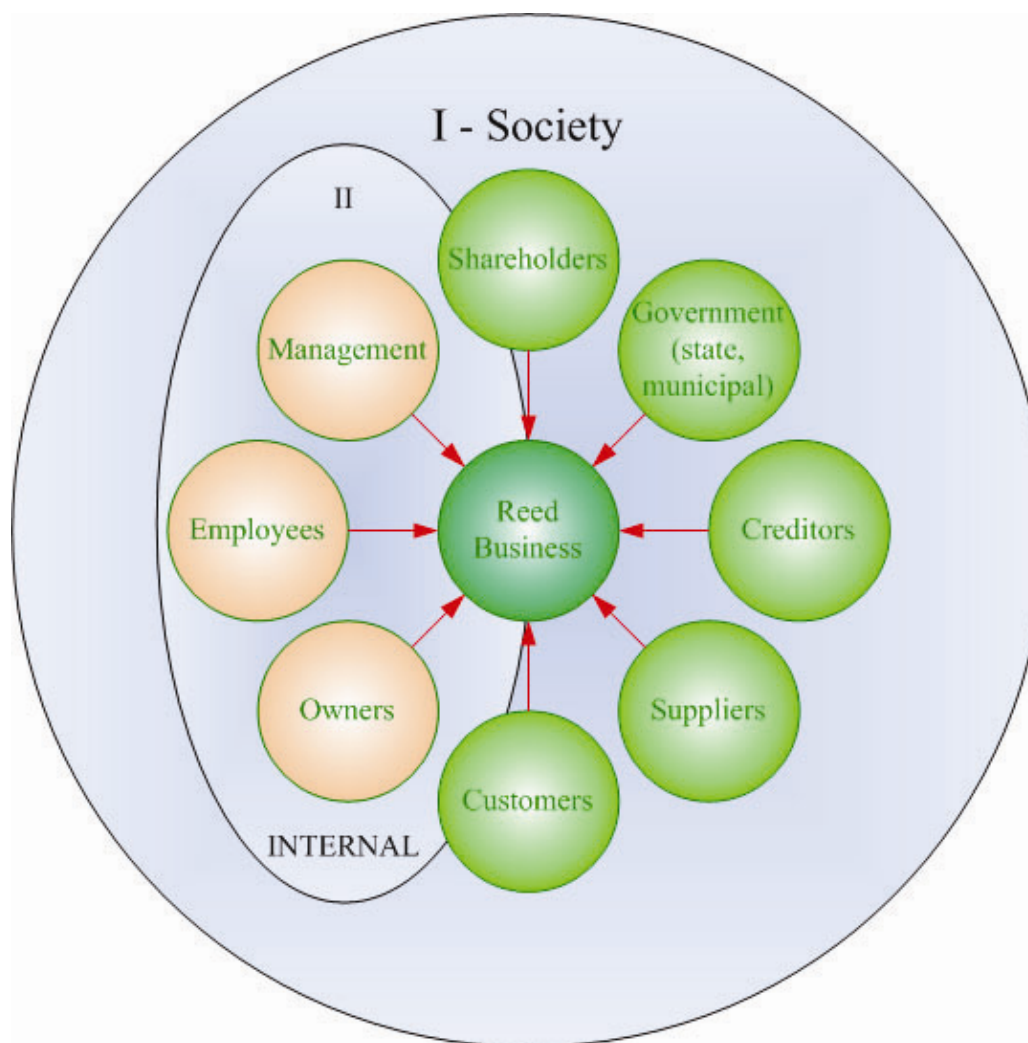
Osade roost tehtud toodete puhul on fakt, et need on tehtud käsitsi (suveniirid) pideva läbimüügi kindlustajaks. Selline nišitoode on oma unikaalsuse tõttu hinna/kvaliteedi suhet arvestades (kunstitoode) liidrikojal ja leiab alati ostjad.

Tavalisemad tooted (briketid, pelletid) on kasumlikud siis, kui toote hind on võrreldav analoogsete teiste toodete turuhinnaga (puitpelletid, põhubriketid jne). Mastaabisäästu põhimõtet tuleks kohaldada toodete ja spetsialiseerumiste korral ühes valdkonnas, kus peamiseks põhimõtteks võiks olla kulustruktuuri arendamine.

Hinna kujunemine roost ehitusmaterjalidele – roog katuse katmiseks, seinte täiteks jne – sõltub sesoonsusest ja toodangu mahust. Kliendi jaoks on võimalik hinda tõsta, kui tootel on mingi eriomadus, nt garanteeritud kestvus või teaduslikult tõestatud tulekindlus, teatavad tugevusnäitajad või madal soojuserijuhtivuse väärtus.

Ärimudeli väljatöötamine rooga tegelemiseks nõuab kõigilt huvitatud osapooltelt tõsist pingutust ja pühendumist. Osapoolteks võivad siin olla nii üksikisikud kui ka organisatsioonid/ettevõtted oma erinevate huvidega ja sooviga saada kasumit projektist kui tervikust.

Huvitatud osapooled on: **välised** – valitsus (nii riiklik kui kohalik), aktsionärid – kohalikud ja välisinvestorid (ettevõtjad), finantsasutused – kreditorid, partnerid – varustajad, kliendid –toote/teenuse kasutajad ja ostjad, üldsus; **sisesed** – äri omanikud (ettevõtjad), juhtkond ja töötajad (Joonis 8.2). Kõigil neil on omad huvid ja väärtushinnangud nii otsesed kui kaudsed. Ärimudeli ülesehitus ja ülesanded võivad muutuda sõltuvalt osapoolte eesmärkidest ja soovidest.



Joonis 8.2. Rooärist huvitatud osapooled (I – välised, II – sisemised)

Ärimudeli arendamiseks tuleb kõikide hõivatud osapoolte (sidusrühmade) huvisid eraldi hinnata.

Valitsuse ja kohaliku omavalitsuse huvid:

- Keskkonna tingimuste parandamine – järvede ja mereranniku puhastamine roost ja roostike laienemise piiramine, eriti neil aladel, kus eutrofeerumine on olnud väga kiire ja roostumine võib tekitada uue riski keskkonnale.
 - Ökoloogilise seisundi parandamiseks peab riik rakendama meetmeid – hea näide Soomest, kus peetakse võimalikuks subsiddeerida ettevõtjaid, kes lõikavad roogu ja puhastavad/hooldavad selle käigus maastikku. Riiklikku tuge võiks pakkuda ka CO₂ emissioonide vähendajatele, roo ko-

ristajatele, kes kasutavad pilliroogu kütteks.

- Kohaliku omavalitsuse tasandil oleks võimalik soodustada biomassi kasutamist asulasiseses keskküttesüsteemis ja osaleda lähedal toodetud tooret kasutades riigihangetel. Rooga tegelevatele ettevõttele madalamaid kohalikke makse kehtestades on samuti võimalik selle tegevusvaldkonna vastu huvi tekitada.
- Riigi eelarve suureneb uute edukate ettevõtete poolt makstavate maksude ja tariifide laekumise tulemusena – kasumimaks ja rooalade kasutamise tasu. (Läti eripära, kus Riiklik Keskkonnaamet korraldab alates 2012. aastast rooalade oksjoneid ja saab pilliroo koristajatelt iga-aastast tasu loa

eest roogu Pape järvel lõigata). Kaudne kasu riigi tasandil on töötajatele väljamakstavad töötasud ja inimeste ostuvõime suurenemine piirkonnas.

- Töökohtade teke – kohapeal töötus väheneb ja tänu sellele leevenevad sotsiaalsed pinged ja paraneb kohaliku omavalitsuse majanduslik olukord, sest vähem tuleb maksta sotsiaalabi ja ka kodanikud on õnnelikumad.
- Maakohtadest ei lähe inimesed enam minema suurtesse keskustesse, vaid kohalik elanikkond võib isegi suureneda, mis omakorda vähendab infrastruktuuridele langevat koormust. Teedevõrgustikku ja rajatisi kasutatakse ühtlaselt üle kogu riigi ja keskuste reostuskoormus hajutatakse.
- Kreditorid, tarnijad, aktsionärid ja kliendid, kõik nad on huvitatud rooäri stabiilsusest: tootmisest/teenindusest/laekumistest ja sissetulekutest. Kreditorid on huvitatud nii pika- kui lühiajalistest riskivabadest investeringutest, aktsionärid stabiilsetest rahavoogudest ja kasumlikkusest, (aktsia ja hinna suhe) ning pikaajalistest perspektiividest.

Tarnijatel tuleb arvestada äri sesoonse iseloomuga ja sellega, et tegemist on nišitootega. Roo lõikamiseks ja sellest toote saamiseks on vaja erivarustust ning eriseadmeid.

Kuna rootoodete nomenklatuur on üsna suur ja mitmekesine, siis ka kliendibaas on erinevate huvidega. Ettevõtja jaoks on see lisa väljakutse leida piisav kogus sarnaste huvidega kliente, et roost toodete valmistamine oleks majanduslikult tasuv ja jätkusuutlik.

Roo lõikamine on sesoonne tegevus – väga lühike koristusaeg talvel ja loodus- ning keskkonnakaitselised piirangud suvel (lindude pesitsemine ja kalade kudumine). Läti kogemused aastal 2012/2013 näitasid, et ebasoodsatest jääoludest tingituna oli roogu võimalik koristada ainult ühel kuul sesooni jooksul – märtsis 2013. Tähelepanu tuleb pöörata ka inimressursi olemasolu kindlustamisele. Sesoon pikeneb, kui antud regioonis on ka suvel lubatud ujuvvahenditelt lõigates roostikku hooldada. Rahalised toetused ja keskkonnanõuded Läti, Eesti ja Soome mõnes piirkonnas võimaldavad seda, aga ettevõtjad peavad arvestama asjaoluga, et koristusmasinate vedu ühest kohast teise on kulukas ja rohkem raha kulub ka tööjõu tasustamiseks: päevaraha pluss palk. Ettevõtja peaks firma arendama välja selliselt, et aastaringelt

oleks tööga kindlustatud vähemalt põhikaader. Kiirel ajal tuleb tööjõudu lisaks palgata. Lätis Pape järve ääres tegutsevas ettevõttes on roo koristamise kõrghooajal tööl u 30 inimest, aasta keskmisena ainult 10. Aastakäive on 100,000 EUR ringis ja suurem osa toodangust viiakse Lääne-Euroopasse, kohalikule turule müüakse u 20,000 EUR eest. Kindlustamaks firmat personaliga kõrghooajal, peavad juhtkond ja omanikud sõlmima võtmetöötajatega pikaajalised töölepingud ja kasutama diferentseerimist ning reklaamima rootooteid nii palju kui vähegi võimalik.

Toormaterjali ladustamise võimalus edasiseks tootmiseks lõikuse lõppedes vähendab mõnevõrra töötuse riski, sest toota saab ka peale lõikusperioodi lõppemist. Loomulikult tuleb teha majandusanalüüs ja välja arvestada ladustamise ja käitlemise kulud ning hinnata võimalusi kasutada hoiukohti, kas hoonet või maad.

Kuna roostikud asuvad tavaliselt vähe kasutamist leidvatel aladel, siis nii maa kui ka hoonete rendikulud on väikesed ja üürimine ei tekita probleeme. On muidugi hea, kui on võimalik rentida mõni sobiva suurusega hoone. Nii on Pape järve ääres Lätis tühjana seisnud hooned renditud kohaliku omavalitsuse poolt ettevõtjale roo töötlemiseks ja ladustamiseks.

Rooala kasutuselevõtuks tehtavates eelkalkulatsioonides lähtutakse arendatavast ärimudelist.

- Pelletite tootmine. Roo lõikamine, toimetamine töötlemisplatsile, hakkimine, pelletite valmistamine, ladustamine ja toimetamine soojatootjatele ja kaubandusvõrku eratarbijatele. Kuna uuring tehti Lätis, siis on arvestatud kohalike tingimustega – miinimum energiatarbimine tootmisel, pelleti hea koospüsivus, võimalikult vähene tuha kogus ja optimaalne põlemisgaaside koostis. Pelletite koostis oli sobivaim, kui pressiti roo/turba segu, vahekorras 70% pilliroogu ja 30% turvast. Sellist võimalust saab kasutada regioonides, kus turbaväljad on roostike lähedal. Üks võimalik tagasilöökk roo ja taimse materjali (põhk) põletamisel on katelde suhteliselt kiire korrodeerumine ja suhteliselt suur tuha kogus (Hansen, 2000; Alipour, 2013; Riedl et al., 1999; Bryers, 1996).
- Hakkpilliroo põletamine katlas koos muu biomassiga. Roo lõikamine talvel, toimetami-

ne töötlemisalale, hakkimine, põletamiseks sobiva toorme valmistamine (segatakse hakitud teiste taimede biomassiga: laastud, põhk jne) (Bain, Overend, & Craig, 1998). Kirjelatud tooret saavad kasutada keskmise suurusega soojatootjad. Soome suurim soojatootja Fortum Ltd on sellist kütust kasutavad katlamajad ehitanud Eestis Pärnusse ja Tartusse ning Lätis Jelgavasse, samuti ka mitmesse paika Soomes.

- Roopallid (ruloonid, pakid) otse põletamiseks. Kasutatakse roopallide põletamise katelt. Roo ettevalmistamine kütteks ei ole töömahukas: lõigatakse talvel ja pallid tehakse sealsamas valmis, veetakse lattu ja sealt katlamajja. Tagasi-löögid võivad esineda mittetäieliku põlemise tõttu. Uuringud näitavad, et põletamise kasutegur on väiksem, tuhk hakkab sulama ja põlemisgaasid sisaldavad dioksiine. Samas on tegemist vähe kulutusi nõudva ärimudeliga (Morissette, Savoie, and Villeneuve, 2011).
- Roostike niitmine hooldamise eesmärgil. Roogu saab niita nii suvel (niidetakse värsket roogu) kui talvel (niidetakse kuiva roogu, mis jäetakse niitmisalale maha). Töökulud kaetakse nii Euroopa Liidu kui ka riiklike keskkonna säilitamise ja taastamise fondide subsideeringutest. Selle võimaluse tekitamine nõuab EL ja Balti riikide ühist otsust lugeda roostike hooldustööd subsiteeritavaks tegevuseks.
- Roost saadava biogaasi kasutamine elektri ja soojuse koostootmisjaamades, võttes arvesse, et kääritusjääki saab kasutada väetisena. Selle mudeli rakendamine on tehniliselt ja tehnoloogiliselt kõige keerukam, nõuab suuri investeeringuid ja erinevate huvitatud osapoolte vahelist tihedat koostööd.
- Pilliroo kasutamine ehitusmaterjaliks (seinad katused, krohvimatid ja pilliroopaneelid) – kõrget lisandväärtust nõudev toode ja samas kitsale tarbijaskonnale mõeldud nišitood. Mudel koosneb järgmistest tegevustest – pilliroo talvine lõikus, toimetamine sorteerimis-

platsile (juhul kui saaki ei seota kohe kahludesse), sorteerimine, puhastamine ja uuesti kahludesse sidumine (käsitsi), kahlude ladustamine ja vedu ehitusplatsile.

- Pilliroo kasutamine suveniiride ja käsitööesemete valmistamiseks – kohaliku tähtsusega turistidele suunatud ettevõtlus. Nõuab roo rahvakunstiraditsioonide ja kasutamise ajaloolise kogemuse tundmist, käsitöö oskust ja kunstimeelt. Roo kasutamine selleks otstarbeks on vähene, kuid samas luuakse ühiskonnasotsiaal-ökonomilisi väärtusi.

Kestva ja arenguvõimelise ärimudeli loomiseks peab muldel olema mitmekülgne.

Tootjad võivad kooperaeruda ja luua nt ühistu taolise ettevõtte, mis kasutab pilliroogu toorainena. Ühistu saab pakkuda oma liikmetele täiendavaid majanduslikke eeliseid (sünergia näol: nt tooraine täielikum kasutamine, väiksemad kulud ühistöö tõttu, jagatud kulud uutele turgudele sisenemiseks jmt, võib suurenda müügi maht ja tekkida ühine arusaam arengu vajadusest ning teedest, arutelud riigi ja kohaliku omavalitsuse tasandil on mõjuvamad, sest huvitatud ettevõtete arv on suurem) ja kindlustada seeläbi roopõhist äritegevust ka tulevikus. Ühine turundustegevuski võib osutada tõhusamaks ning tootenime (brändi) saab koos arendada, rõhutades toodete isearasusi ja kasvatada klientide teadlikkust. Tagasilööki võib tulla selle tõttu, et iseseisvust armastavate ettevõtjate koostööd on raske organiseerida, sest nad ei tarvitse tahta partneritega oma teadmisi jagada.

Võib arendada välja müüja-keskse ärimudeli, kus üks suur müüja, nagu nt Fortum Ltd Soomes kehtestab oma nõuded ja hinnad põletatavate toorainete omadustele (nt pelletite niiskuses, tuhasus, suurus jne) ja kätte toimetamisele. Sel juhul on võimalused äris osalemiseks ka väiketootjatel kuigi ostujõud on lõpparbijas kätes.

Võib rakendada ka vahendus mudelit, kus vahendav ettevõtte tegutseb pisemate, keskmiste ja suurtootjate esindajana. Sel juhul on tootjad iseseisvad ja üksteisest sõltumatud, samas on neil võimalus oma toodet lihtsamini suurtarbijatele müüa.

Pillirooäri SWOT (Tugevused-nõrkused-võimalused-ohud) analüüs:

- Tugevused:
 - Pilliroog on taastuv ressurss, kiire kasvuga ja vajab kasvamiseks CO₂ ning omastab ümbritsevast keskkonnast – pinnasest ja veest toitaineid (lämmastik, fosfor), leevendades seega kliimamõjusid ja kasvuhoone efekti;
 - Kulud tooraine (biomass) saamiseks on minimaalsed – roog kasvab ise ja teda pole tarvis väetada ega harida;
 - Pilliroog kui looduslik ehitusmaterjal on keskkonnasõbralik, kestev ja jätkusuutlik;
 - Pilliroo kasutamise ajalugu Balti mere äärses maades ja lähikonnas on pikk, viimaste kümnendite ajal on tehtud mahukaid teadusuuringuid pilliroo erinevate kasutusvõimaluste selgitamiseks ja need tulemused on publitseeritud;
 - Rootoodete ostjate vaatevinklist on Balti mere äärsete riikide rootoodete kvaliteet kõrge ja see on hea müügiargument;
 - Pilliroogu saab väga erineval moel kasutada kütteks, kaasaarvatud biogaasi ja bioetanooli tootmiseks;
 - Pilliroog kasvab ääremaa del, kus tööjõukulud ja seega ka üldkulud on väiksemad, mis võimaldab saada suuremat kasumit;
- Nõrkused:
 - Roog kasvab enamasti aladel, kus on ranged keskkonnakaitsealased nõuded – eluslooduse elukeskkonna lähedus – piiratud on kemikaalide kasutamine ja müra tekitamine ja seda mitmel pool aastaringelt;
 - Roo lõikamine nii kütteks kui ehitusotstarbeks on sesoonne ja lühiajaline tegevus talvel – ainult 1...3 kuud aastas on lubatud (ja võimalik) kombainidega roogu koristada;
 - Roo töötlemise ja turustamise ahelad on osalt ebapiisavalt arendatud: nagu sorteerimine, hakkimine jne. Roo kasutamist kütteks on vähe uuritud ja innovatiivsed lahendused protsessi efektiivsuse ja kõrvalproduktide ohutuse tagamiseks vajavad alles väljatöötamist;
 - Inimressursi olemasolu ja oskused ääremaa del, kus roog enamasti kasvab, on mitte piisavad ja lõikuse sesoonne iseloom raskendab tööprotsesside organiseerimist veelgi.

- Võimalused
 - Roo kasutamine kütteks ja elektrienergia tootmiseks lokaalselt on kooskõlas EL nõudmistega vähendada sõltuvust fossiilsetest kütustest ja luua inimestele ääremaa del töökohti;
 - Roogu kui keskkonnasõbralikku ehitusmaterjali kasutatakse üha rohkem eramute ehitamisel – roog on konkurentsivõimeline tööstuskult toodetud katusekatte- ja soojusmaterjalidega nii hinna kui ka ehitusfüüsikaliste omaduste seisukohast vaadatuna;
- Väljastpoolt tulenevad ohud:
 - Domineerib avalik arvamus, et roog on umbrohi ja jääde (raha raiskamine), mis vähendab roo kasutamist;
 - Teised vähe kulutusi nõudvad loodusmaterjalid nagu põhk ja hein, omavad avalikkuse silmis paremat mainet ja kahjustavad rooturgu;
 - Roo kui ehitusmaterjali tootjad on tavaliselt väikeettevõtted, mis peavad konkureerima suurte ehitusmaterjale tootvate firmadega – see võitlus ei toimu reklaamiks kulutatavaid võimalusi hinnates võrdsetel alustel;

Ületades SWOT analüüsis loetletud probleemid ja ehitades välja sobiva ärimudeli, on koostööd tehes võimalik rooäri käivitada, millel on märkimisväärne sotsiaal-majanduslik mõju riiklikul, munitsipaal ja kohalikul tasandil, mis avaldub maksude laekumises, töötuse ning impordi vähenemises ja ekspordi suurenemises, seda eriti juhul, kui kõik Balti riigid tunnustavad roogu kui väärtuslikku toorainet ja pingutavad tõsiselt ning ühiselt pilliroo kasutuselevõtu nimel.

Kirjandus

(Alipour Y., (2013) High temperature corrosion in a biomass-fired power boiler. Licentiate Thesis in Corrosion Science, Stockholm, Sweden 2013
Available at:
<http://kth.diva.portal.org/smash/get/diva2:617187/FULLTEXT01.pdf>

Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Machmüller, A., Hopfner-Sixt, K., Bodiroza, V., Hrbek, R., Friedel, J., Pötsch, E., Wagentristl, H., Schreiner, M., Zollitsch, W. (2007) Methane production through

anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations Bioresource technologies, 98, 3204-3212.

Bain, R. L.; Amos, W. P.; Downing, M.; Perlack, R. L. (2003). *Biopower Technical Assessment: State of the Industry and the Technology*. Report No. NREL/TP-510-33123. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, http://www.fs.fed.us/ccrc/topics/urban-forests/docs/Biopower_Assessment.pdf

Bain, R. L.; Amos, W. P.; Downing, M.; Perlack, R. L. (2003). *Highlights of Biopower Technical Assessment: State of the Industry and the Technology*. Report No. NREL/TP-510-33502. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. <http://www.nrel.gov/docs/fy03osti/33502.pdf>

Bain, R. L.; Overend, R. P.; Craig, K. R. (1998). *Biomass-Fired Power Generation. Fuel Processing Technology*(54); pp. 1-16.

Bryers, R. (1996) Fireside slagging, fouling and high temperature corrosion of heat transfer surfaces due to impurities in steam raising fuels. *Follow Progress in Energy and Combustion Science* , Volume 22 (1) pp 29-120, Elsevier – Jan 1, 1996.

Business Model Generation, A. Osterwalder, Yves Pigneur, Alan Smith, and 470 practitioners from 45 countries. Self published, 2010.

Business Model: a prerequisite for success in the network economy, Elena Tavlaki, Euripides Loukis. (2005) Bled, Slovenia. Available in: [https://domino.fov.uni-mb.si/proceedings.nsf/0/9464c536b63d0f8fc1257014004a3b48/\\$FILE/30Tavlaki.pdf](https://domino.fov.uni-mb.si/proceedings.nsf/0/9464c536b63d0f8fc1257014004a3b48/$FILE/30Tavlaki.pdf)

Converting Waste Agricultural Biomass into a Resource – UNEP (2003), available in : <http://www.unep.org/ietc/Portals/136/Publications/Waste%20Management/WasteAgriculturalBiomassESTCpendium.pdf>

Diltz, R.A., Luckarift H.R., and Johnson, G.R. (2011) Sustainable Land Use for Bioenergy in the 21st Century. *Industrial Biotechnology*. December 2011, 7(6): 437-447

Dubrovskis, V., Kazulis, V. (2012). Biogas production potential from reeds. *Proceedings of International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'12)* Santiago de Compostela (Spain), 28th to 30th March, 2012. http://www.drfn.info/docs/reeds/Biogas_production_from_REEDS.pdf

Feasibility of Improving Biomass Combustion through Extraction of Nutrients (2011). Available at: <http://www.ofa.on.ca/uploads/userfiles/files/cennatek%20ofa%20report-feasibility%20of%20improving%20biomass%20combustion%20through%20extraction%20of%20nutrients.pdf>

Hansen, L.A., Nielsen, H.P., Frandsen, F.J., Dam-Johansen, K., Horlyck, S. & Karlsson, A.(2000) Influence of deposit formation on corrosion at a straw-fired boiler. *Fuel Processing Technology*, Volume 64, Number 1, May 2000 , pp. 189-209(21)

Hansson, P-A. & Fredriksson, H. (2004): Use of summer harvested common reed (*Phragmites australis*) as nutrient source for organic crop production in Sweden. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 102, 365-375.

Internet marketing, business models and public policy. Stewart D. W., Zhao Q., (2000). *Journal of Public Policy and Marketing*, Vol. 19 (Fall), pp. 287-296.

Kronbergs, E., Smits, M. (2009) Cutting properties of common reed biomass. *Proc. of 8th International Scientific Conference „Engineering for rural development”*, Jelgava, Latvia, 28-29 May, 2009, publ. LUA, pp. 207-211

Mason, Katy J. (2008) Markets, business models and growth of the firm. In: *The 24th IMP Conference Studies on Business Interaction – Consequences for Business in Theory and Business in Practices*,

Thursday 4th September – Saturday 6th September 2008, Uppsala University. Available in: <http://impgroup.org/uploads/papers/6328.pdf>

Morissette, R., Savoie, P., and Villeneuve, J. (2011) Combustion of Corn Stover Bales in a Small 146-kW Boiler. *Energies* (19961073). Jul2011, Vol. 4 Issue 7, p1102-1111. 10p.

Reinventing Your Business Model, by Mark W.Johnson, Clayton M.Christensen, and Henning Kagermann, Harvard Business Review, 2008. http://www.ondernemenzondergrenzen.nl/uploaded_files/6_reinventing_your_business_model.pdf

Riedl, R., Dahl, J., Obernberger, I., and Narodoslawsky, M. (1999) Corrosion in fire tube boilers of biomass combustion plants, Proceedings of the China International Corrosion Control Conference, Beijing, China

Timmermann, T. (2003). Nutzungsmöglichkeiten der Röhrichte und Riede nährstoffreicher Moore Mecklenburg-Vorpommerns. *Greifswalder Geographische Arbeiten* 31: 31 - 42.

Wichtmann, W., & Joosten, H. (2007) Paludiculture: peat formation and renewable resources from rewetted peatlands.

<http://www.imcg.net/pages/publications/newsletter.php?lang=EN>,

<http://www.imcg.net/media/newsletter/nl0703.pdf>

Zekic V, Rodic V, Jovanovic M. (2010) Potentials and economic viability of small grain residue use as a source of energy in Serbia. *Biomass Bioenergy*, Dec 2010, Vol. 34 Issue 12, p 1789-1795:7



Kaasaegne roogkatusega maja Amacemsis Lätis (foto: J. Miljan)



INTERREG VI A PROJEKTI COFREEN PARTNERID LÄTIS PAPE JÄRVE ÄÄRES
(foto: A. Zucika)



TALLINN UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY



www.emu.ee
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus



RIGA TECHNICAL UNIVERSITY