

# PILLIROOG JA SELLE KASUTAMISE VÕIMALUSED



Pilliroo kui kohaliku ehitusmaterjali ja energiaallika  
kasutamise kontseptsioon



CENTRAL BALTIC  
INTERREG IV A  
PROGRAMME  
2007-2013



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



[www.emu.ee](http://www.emu.ee)  
**Eesti Maaülikool**  
Estonian University of Life Sciences



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Raamat on ilmunud Interreg IV A projekti Cofreen ja EMÜ maaehituse osakonna ning TTÜ soojustehnika instituudi koostöös 2013 aastal Tartus

Koostanud Jaan Miljan EMÜ ja Ülo Kask TTÜ  
Kujundanud Sirje Keskküla  
Keeleliselt toimetanud Silvi Seesmaa  
Esi- ja tagakaane fotod: Ü. Kask

Trükitud Salibar OÜ

ISBN 978-9949-536-02-3

Informatsioon raamatu kohta ja selle jagamine  
[jaan.miljan@emu.ee](mailto:jaan.miljan@emu.ee)  
[ykask@staff.ttu.ee](mailto:ykask@staff.ttu.ee)

(Käesoleva kogumiku kirjutised kajastavad autorite arvamusi ja Korraldusasutus ei võta endale vastutust trükise sisu eest)

# PILLIROOG JA SELLE KASUTAMISE VÕIMALUSED

<b>Sisukord</b>	<b>3</b>
<b>Sissejuhatus</b>	
Jaan Miljan	5
<b>1. Pilliroog ja selle ressursid</b>	<b>7</b>
1.1. Pilliroog	7
1.2. Pilliroo ressursid ja saagikus	
Ülo Kask, Livia Kask	9
<b>2. Pilliroo lõikus ja sorteerimine</b>	<b>11</b>
2.1. Eeldused ja tingimused pilliroo lõikamiseks	
Kaja Lotman, Aleksei Lotman	11
2.2. Pilliroo lõikus ja sorteerimine ehituseks	
Jaan Miljan	12
2.3. Pilliroo lõikus kütuseks	
Ülo Kask	18
<b>3. Pilliroo kasutamine ehituses</b>	
Jaan Miljan	20
3.1. Pilliroog katusekatteks	20
3.1.1. Roogkatuse ehitamisest erinevates riikide	20
3.1.2. Roogkatuse ehitamise ajaloolised võtted	31
3.1.3. Pilliroost katuse tulepüsivus	32
3.1.4. Katuste sammaldumine ja ohud pilliroost konstruktsioonides hallituse tekkeks	
Karel Lilleste, Meeli Kams	43
3.2. Pilliroog seinamaterjaliks	
Jaan Miljan	47
3.2.1. Pillirooplaadid ja -matid	47
3.2.2. Pilliroost seinad	51

<b>4. Pilliroost piiretega katsemaja ehitamine, materjali- ja ajakulu</b>	
Matis Miljan, Martti-Jaan Miljan	55
<b>5. Pilliroog soojustusmaterjaliks</b>	62
<b>5.1. Materjalide soojuhläbivusest</b>	
Jaan Miljan	62
<b>5.2. Pilliroo soojuserijuhtivus</b>	
Martti-Jaan Miljan, Jaan Miljan	64
<b>5.3. Pillirooga soojustatud seinafragmentide soojuhläbivus</b>	
Martti-Jaan Miljan, Jaan Miljan	65
<b>5.4. Pillirooga soojustatud seinte ja pörandate soojuhläbivus</b>	
Martti-Jaan Miljan, Matis Miljan	66
<b>5.5. Pilliroost katuse soojuhläbivus</b>	
Karel Lilleste, Meeli Kams	69
<b>5.6. Pilliroo-savi kergplokid ja nende omadused</b>	
Kristina Akermann	69
<b>5.7. Pillirooplaatide soojuserijuhtivus</b>	
Martti-Jaan Miljan	72
<b>5.8. Pilliroost toodete energiamahukus</b>	
Matis Miljan, Jaan Miljan	72
<b>6. Pilliroog kütuseks</b>	
Ülo Kask, Livia Kask	79
<b>7. Pilliroog käsitöömaterjaliks</b>	
Sirje Keskküla	90
<b>Kokkuvöte</b>	96
<b>Kirjandus</b>	97

## SISSEJUHATUS

Ühiskonnas on üha enam omaks võetud säästlikkuse põhimõte. Arvestama peaks sellega valdkondades, kus me tarbime taastumatuid ressursse. Mugava, turvalise ja inimsõbraliku töö- ja elukeskkonna ehitamisel on võimalik senisest märksa rohkem kasutada looduslikke materjale. Otse loodusest saadavad materjalid loovad meile keskkonna, kus saab elada, tundmata muret ehitusmaterjalidest siseruumidesse lenduvate kahjulike ühendite pärast.

Teatavasti kulub suurem osa inimeste tarbitavast energiast ehitusmaterjalide tootmiseks, ehitiste püstitamiseks ning ruumide kütmiseks või jahutamiseks.

Loetletud kulutuste minimeerimise võimaluse annab looduslike taastuvate materjalide kasutamine. Lisaks sellele on neid võimalik hankida ehituskoha lähedalt, mistõttu vähenevad transpordikulutused ning edeneb regionaalne areng. Kõiki ehitustegevusest üle jäänud looduslikke materjale saab taaskasutada kas hilisema ehitamise käigus või näiteks kütteks: puidujäätmed või pilliroog.

Kõige levinum looduslik ehitusmaterjal on puit, mida on kasutatud juba aastatuhandeid. Viimasel ajal on lisaks puidule aina rohkem hakatud kasutama ka põhku, savi jms materjale ning neid kasutades on hoone piirdekonstruktsioonid saadud soojapidavaks ja ruumide sisekliima rahuldab ka tundlikumate inimeste nõudmisi.

Üheks senini suhteliselt vähe kasutatud ehitusmaterjaliks, mida meilgi looduses palju kasvab, on pilliroog. Valdavalt on Eestis ja mujalgi maailmas rooga kaetud enamasti katuseid, aga nagu sellest kogumikust lugeda võite, saab pilliroogu kasutada märksa laialdasemalt.

Uuringutulemusi arvesse võttes sobib pilliroog ka seinamaterjaliks, soojustamiseks ja kütteks. Viimast valdkonda on uuritud TTÜ soojustehnika instituudis. Tulemused näitavad, et pilliroo kasutamine koos hakkpuiduga võimaldab soojatootmise hinda alandada. Siingi on osaliselt mängus sama faktor, mis ehitamisel – lähedalt saadud tooraine on odavam ning tarbimiseks ja tootmiseks kulutatakse vähem raha ja ka energiat, sest veokulud on väiksemad.

Eestis on olemas arvestatavad ressursid ja tootmisvõimalused pilliroo kui ehitusmaterjali laiemaks kasutuselevõtuks. Kvaliteetne elurikas roostik on mosaiikne, vaheldub veesilmadega ja vana roog ei ladestu paksu kihina. Sellise maastiku püsimise eelduseks on rooväljade perioodiline hooldamine. Ka inimeste jaoks on roogu täiskasvanud rannikualad ebameeldivad – ei näe merele ja ei pääse randa kõndima. Rannaalade ja roostike hooldamiseks ette nähtud toetused oleks otstarbekas siduda roo optimaalseks lõikamiseks sobiva ajaga – varakevadega.

Seni viiakse suur kogus koristatud roost Eestist välja ja hea materjal jääb kohapeal väärindamata. Samas tuuakse rooplaati meile Ungarist, Hiinast jm.



Kirjutatu ei tähenda, et kõik peaksidki nüüd ainult pilliroost ja põhust hakkama maju ehitama. Küll võiks siin kirja pandu anda nii mõtlemissainet kui ka innustada inimesi julgemini kasutama loodusest pärinevaid materjale ehituses.

Kogumikus antakse ülevaade Interreg IV A projektide Cofreen ning ProNatMat ja Eesti Maaülikooli baasfinantseeritava teadustöö raames maaehituse osakonnas tehtud uurimistöödest ja katsete tulemustest ning ka TTÜ soojustehnika instituudis samade projektide käigus tehtud uuringutest.

Professor Jaan Miljan



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



# 1. PILLIROOG JA SELLE RESSURSID

## 1.1. PILLIROOG

Harilik pilliroog *Phragmites Australis* kasvab kogu maailmas paljude mererannikute ja siseveekogude ääres, kaasa arvatud Eestis, vee- ja maismaa piiril, kus kasvutingimused on nende taimede jaoks eriti sobivad (joonis 1.1). Pilliroo kogu kasvupinna suurust on raske hinnata, sest mitte kõik riigid ei tee roostike ja rooväljadel kasvava biomassi koguse aastainventuuri. Rooväljade pindala võib aga aastati üsna palju erineda, sõltudes roostike laienemise või kahanemise kiirusest.

Bioloogid eristavad paljusid pillirooliike, aga ehitamise või energia tootmise seisukohast ei ole liigil erilist tähtsust. Ehitaja hindab eelkõige seda, kui pikk ja sirge on taime kõrs ja kui jäme või peenike ta on. Küttematerjali hankijat huvitab rohkem saagikus ja taimeosade keemiline koostis.



**Joonis 1.1.** Vaade paraplaanilt Muhu poolse väinatammi roostikule 22.04.2011 (foto: V. Vares)

Sõltuvalt kasvukohast kasvab roog 1,5 isegi 4,5–6 m kõrguseks. Tegemist on kõrrelisega, millel on teravaservalised karedad lehed ja suur pihupesa suurune õisik, mis avaneb juulis. Eestis pilliroog seemnetega tavaliselt ei paljune, kuigi seemned valmivad. Pilliroog paljuneb peamiselt juurestiku – risoomide – abil. Risoomide levikukiirus võib olla heades tingimustes kuni 5 m aastas. Roostike struktuur ja selle elustiku liigiline koosseis muutuvad merest rannani. Pilliroog saab kasvada ainult madalas vees (< 1,0 m) ja pilli-

roo kooslused on tavaliselt valitsevad vees, mille sügavus on alla 0,3 meetri (Roostike... 2008).

Pilliroog kasvab enamikul mullatüüpidel, peensavist kuni saviliivani, kuid eelistab pinnast, kus orgaanilise aine sisaldus on suur. Ta on üsna tolerantne pinnase happelisuse suhtes, mille pH võib olla 3,6 kuni 8,6, kuigi tavaliselt jääb vahemikku 5,5–7,5 (Roosaluste 2007). Seega näitab pilliroo esinemine kergelt happeliste lämmastikurikaste muldade olemasolu. Pilliroog on tolerantne ka soolsuse suhtes, mis võib varieeruda 0 kuni 15 psu (praktiline soolsuse ühik) (Huhta 2007). Seetõttu kasvab pilliroog nii mage- kui ka riimvees. Kõige kvaliteetsem pilliroog kasvab kliimavööndis, kus külm talv vaheldub sooja suvega.

Roostike pindala võib väheneda ebasoodsate jääolude, tugevate tuulte, karjatamise intensiivsuse ja pilliroo lõikamise mahu suurenemise ning ökoloogiliste häirete, nagu põud või pakane, tõttu. Saksamaal näiteks eelistatakse rannikualasid ümber kujundada karjatamise teel (<http://www.hiss-reet.com>). Karjatamist rootalade piiramiseks on hakatud kasutama ka Eestis – Hiiumaa randades, Pärnumaal jm. Metshobused – konikud – ja mägiveised olid ka Lätis Engure järve kallastel roogu ja heina söömas (joonis 1.2). Roo levikut piirab ka konkurents teiste taimedega (Roosaluste 2007). Viimastel aastakümnetel on paljudes kohtades Euroopas märgatud rootalade kahanemist inimtekkeliste keskkonnamuutuste mõjul (Van der Putten 1997, Brix 1999 ja paljud teised autorid).



**Joonis 1.2.** Mägiveised ja konikud – rannaniitude kujundajad Engure järve ääres Lätis (foto: M. Miljan)

Rootalade laienemist soodustab loomade karjatamise intensiivsuse ja roo lõikamise ma-

hu vähenemine, kliima soojenemine ja vee eutrofeerumine. Paljud Läänemere-äärsete märgalade on muudetud looduskaitsealadeks, sealhulgas Natura 2000 kaitsealadeks, mille tõttu pilliroo kasutamise võimalused on vähenenud. Lääne-Eesti saarestikus asuvad roostikud umbes 4000 hektaril looduskaitsealadel, kus prioriteediks on liikide kaitse ja talvine pilliroo kogumine on rangelt reguleeritud (Roostik... 2008).

Kõikides Läänemere-äärsetes riikides on peetud oluliseks veekaitset ja reovee puhastamist ebatraditsiooniliste meetoditega, kasutades sealhulgas ka märgalade süsteeme. Suured roostikualad pakuvad rannikupiirkondades hea võimaluse septikust või aktiivmudapuhastist tulnud heitvee järelpuhastamiseks rannaäärsetes lodus, mistõttu roostik saab rohkem toitaineid.

## **1.2. PILLIROO RESSURSID JA SAAGIKUS**

Ülo Kask, Livia Kask, TTÜ soojustehnika instituut

Läänemere-äärsetes regioonides, sh ka Eestis, on rooväljad viimase kümne aasta jooksul siiski kiiresti laienenud. Pealiskaudne inventuur, mis võib küll osaliselt sisaldada ka rannikujärvede roostikke, annab hinnanguliselt roostike kogupindalaks Läänemere ääres rohkem kui 300 000 ha.

Ajavahemikul 1996–2009 on Läänemere Eesti rannikualadel tavalise pilliroo kasvualad laienenud umbes 2,5 korda, mis tähendab keskmiselt 276 ha juurdekasvu aastas (Eesti riikliku... 2010).

Hinnanguliselt on Tartu Ülikooli geograafia instituudi märgalade kaardi andmetel Eesti roostike kogupindala ~26 000 ha (Kütuse- ja ... 2002). 2007. aastal läbiviidud uurimused annavad Eesti roostike kogupindalaks (kaasa arvatud järvede äärsed alad) 27 746 ha (Eesti põhikaardi, aerofotode ja Corine kaardi andmetel) (Kask, Ü., Kask, L. 2013). Kõige suuremad roostikud Eestis katavad Matsalu märgalal umbes 3000 ha, kus pilliroog on teiste taimede suhtes ülekaalus, kusjuures sealsed roostikud on Põhja-Euroopa ühed suuremad. Mullutu lahe ja Suurlahe (nn sisemeri või endised lahed, mis on ühenduses avameraga) pilliroo kasvualad Saaremaal katavad umbes 2200 ha (Kask *et al* 2007).

Selleks, et tagada roostike jätkusuutlikkus, pole mõistlik pilliroogu koristada igal aastal samadelt aladelt ja ka saagikoristamine kõikidel kasvualadel pole ebasoodsate keskkonnanätingimuste ja omandisuhete tõttu võimalik. Eeltoodut arvestades oleks 11 Eesti maakonnas võimalik roogu lõigata ca 13 000 ha aastas (Kask *et al* 2007).

Pilliroog on Läänemere regioonis üks kõige produktiivsemaid taimeliike (hinnatakse bioproduktiooni märgala pinnaühiku kohta). Pilliroo biomassi kogus sõltub pilliroo vanusest ja struktuurist, veetasemest ning muu taimestiku rohkusest ning kasvutingimustest, mis võivad oluliselt erineda (Räikkonen 2007). Pilliroo maapealne biomass Läänemere rannikul kokku on umbes 0,45–1,5 miljonit tonni, eeldusel, et pilliroo potentsiaalne keskmine aastane biomassi saak on 3 kuni 10 tonni hektarilt. Aastast saaki tervikuna pole muidugi võimalik koristada, kas või keskkonnaalaste piirangute tõttu, seega kogu aastane kasutatav ressurs moodustab mitte rohkem kui ühe kolmandiku Läänemere ääres kasvavast maapealsest biomassist ja ulatub ligikaudu 0,5 miljoni tonnini. Kaitsealustel rannaaladel on aastas kasutatav pilliroo ressurs palju väiksem (15–20% võimalikust) (Roostike ... 2008).

On mitmeid tegureid, mis soodustavad pilliroo kasutamist Läänemere piirkonnas: suured roostikuga kaetud rannikualad, pikaajaline kasutuskogemus, külmad talved, mis võimaldavad koristamist jää pealt, vastuvõetud poliitilised otsused fossiilkütuste asendamise kohalike taastuvate kütuseliikidega, tehtud uurimused ning koolitatud ja kvalifitseeritud tööjõu olemasolu.

Eestis oli ajavahemikus 2006.–2011. a kaalutud keskmine pilliroo suvesaak (kuivainena) 914 g/m<sup>2</sup> (9,14 t/ha), talvine pilliroosaak oli 736 g/m<sup>2</sup> (7,36 t/ha). Pilliroo suvine saagikus oli lehemassi tõttu 24,5% suurem kui talvine (Ü. Kask avaldamata). Rannaroostike saagikus oli ajavahemikus 2006–2011 pisut erinev, aga samas suurusjärgus (tabel 1.1). Talvel kogutud kuiva (niiskusesisaldus 16,2–19,3%) pilliroo biomass Kura lahes (Leedu) oli 5 kuni 40 t/ha, olenevalt asukohast ja toitainete sattumisest veestikku (Balevičiene *et al* 2007). Niedermooris (Saksamaa) oli keskmine biomassi hulk 12,5 t/ha, kuid võis mõnes kohas ja erinevatel aastatel olla enam kui 20 t/ha (Wichmann ja Wichtmann 2009). Ka teistel Saksamaa märgaladel erines keskmine biomassi hulk palju sõltuvalt asukohast ja kohalikest tingimustest (Timmermann 2003). Soomes Hirvensalo ja Salo piirkonnas tehtud uuringud näitasid, et kuiva pilliroo keskmine biomassi hulk oli 5–7 t/ha, maksimaalselt kuni 12 t/ha (Räikkönen 2007). Üsna samasuguse saagikuse (4,6–7,4 t/ha kuivainet) said ka Isotalo jt (1981. a). *Phragmites communis*'e maksimaalne hooajaline elus risoomide biomass on tavaliselt palju suurem kui maapealne biomass, varieerudes tavaliselt piirides 3000–11 000 g kuni 16 800 g kuivainet 1 m<sup>2</sup> kohta. Põhjapoolsetel pilliroopopulatsioonidel on risoom-võrse suhe suurem kui lõunas kasvavatel populatsioonidel (Brix *et al* 2001).

**Tabel 1.1.** Eesti rannaroostike teoreetiline primaarenergia sisaldus (Ü. Kask, TTÜ, STI)

Maakond	Roostike pindala	Aastane saagis 2006–2011		Primaarenergia sisaldus		Primaarenergia sisaldus, kui W=20%
		Talv	Suvi	Talv <sup>1</sup>	Suvi <sup>2</sup>	Talv
	ha	Y <sub>KM</sub> , t/ha	Y <sub>TM</sub> , t/ha	KM, GWh	TM, 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	8000	4,96	16,81	193,65	80,37	156,34
Hiiu	2685	8,36	18,55	110,01	29,76	88,44
Saare	7387	4,62	14,01	167,24	61,85	134,46
Pärnu	1343	11,77	28,27	76,98	22,67	62,28
<b>Kokku</b>	<b>20 059</b>	-	-	<b>575,58</b>	<b>205,59</b>	<b>463,79</b>
<b>Keskmine</b>	-	<b>7,9</b>	<b>22,62</b>			

<sup>1</sup> – Talvise pilliroo kuivaine kütteväärtus on 4,9 MWh/t ja 20% niiskusesisaldusega pilliroo kütteväärtus on 3,94 MWh/t.

<sup>2</sup> – Suvisest pilliroost on biogaasi saagis 166 m<sup>3</sup>/TM (värske roog) ja biogaasi kütteväärtus 6 MWh/1000 m<sup>3</sup> (TTÜ STI-s tehtud uurimused).

KM – kuivaine mass, TM – värske roo mass, toormass

## 2. PILLIROO LÕIKUS JA SORTTEERIMINE

### 2.1. EELDUSED JA TINGIMUSED PILLIROO LÕIKAMISEKS

Kaja Lotman, Keskkonnaamet, Aleksei Lotman, Eestimaa Looduse Fond

Aegade jooksul on inimesed pilliroogu mitmeti kasutanud. Mõõdukas roo niitmine kaitse tegemiseks või muuks otstarbeks (karjatamine rannaniitudel) on rooväljad korras hoidnud ja säilitanud ka roostike linnustikule head pesitsustingimused ning kõigile teistele loomariigi esindajatele sobivad elupaigad.

Eesti Looduskaitseeadus võimaldab sihtkaitsevööndis koosluste kujundamist vastavalt kaitse-eesmärgile, sealhulgas võib kaitse-eeskirjaga lubada ka pilliroo varumist. Kui aga roo varumist ei ole kaitse-eeskirjas käsitletud, on sihtkaitsevööndis roo varumine keelatud. Vähem reguleeritud vööndis – piiranguvööndis – ei ole enamasti lubatud roogu varuda külmumata pinnaselt.

Eestis 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 roovarumise 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 kaitseväärtused ja neid ohustavad tegevused ning väärtuste säilimiseks vajalikud tegevused. Selleks, et vältida arusaamatusi ametivõimudega, tuleks pilliroo kasutamisest huvitatud ettevõtjatel osaleda kaitsekorralduskavade kaasamiskoosolekutel või hankida piisavalt infot roovarumispiirkonna kohta (kaitseala režiim, väärtused ja lubatud tegevused).

Eestis kasvab pilliroog nii eramaal 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 maaomanikult nõusolek. Riigile kuuluvate maade volitatud asutused on näiteks Riigimetsa Majandamise Keskus ja Maa-amet. Reformimata maade osas annab kasutusõiguse maavanem, kui tegemist on pool-looduslikuks alaks või põllumajanduslikuks maaks määratletud maaga.

Kvaliteetne elurikas roostik on mosaiikne, vaheldub veesilmadega ja vana roog (murdunud ja kõdunevad varred) ei ladestu paksu kihina. Seetõttu tuleks rooaladid 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 ilmastikuolude tõttu nii, et igal talvel ei saagi roogu niita, sest jääd ei teki või on lumikate liiga paks või vajutab lumi roo kõveraks. Esineb talvesid, kus jäätumine toimub periooditi ning moodustunud jääkate on mitmekihiline ja õhuke ning sel juhul on roo niitmine ja niitealalt kättesaamine üsna keeruline või isegi võimatu. Mõnel aastal räsivad roostikke tormid ja rüsi jää.

On väga oluline, et niidetud roog võimalikult kiiresti niitealalt ära saaks viidud. Roopahna kogunemine takistab järgmisel aastal niitmist, vähendab pilliroo kvaliteeti (roogkõrred võivad kõverduda) ja võib rikkuda elukeskkonda.



Looduskaitsetöös on ette tulnud, et rooniitjad ei ole hooaja lõpetamisel teinud korralikku paiga ülevaatus ja alale on jäetud vihkude sidumisnööre, õlikanistreid või muid töövahendeid ja -riistu. Selline lohaku on lubamatu ja võib saada takistuseks järgmistel aastatel riigimaadel roostikualade kasutamislepingute saamisel. Riigimaadel võib rooniitmise lepingu täitmist kontrollida riigimaa volitatud asutus. Roo lõikuse lubade tingimuste täitmist võib kontrollida Eesti Keskkonnaamet ja rikkumisi menetleb Keskkonna-inspektsioon.

Ärulistel eesmärkidel roovarumise ja looduskaitse poolt esitatud 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;
- sobivat roogu (eriti oluline ehitusroo varumisel) ei saa niitjale meelepärasel ajal või mõnel aastal üldsegi niita, kuna ilma- ja jääolud ei võimalda;
- kogu lõigatud roog tuleb niitealalt ära viia.

Paljud leiavad, et looduskaitse ja majanduslike eesmärkidega roovarumine ei sobi kokku. Teisalt on roostike hooldamine vajalik elustiku mitmekesisuse tagamiseks ja ühiselt tuleks leida kompromiss, et säiliks loodusväärtused ja samal ajal saaksid roovarujad kätte oma tooraine.

Kõik roo varumist puudutavad õigusaktid leiab Riigi Teatajast (Koostaja märkus).

## **2.2. PILLIROO LÕIKUS JA SORTEERIMINE E HITUSEKS**

Jaan Miljan, Sirje Keskküla, EMÜ maaehituse osakond

Katusekatteks lõigatakse pilliroogu ainult talvel ja sõltuvalt ilmastikust ning kasutatavatest masinatest saab selle tööga alustada novembris-detsembris, mil roog on kuivanud ja lehed on maha varisenud ning pinnas on külmunud ja veekogud on jäätunud. Talvise roo veesisaldus on u 15%. Heal aastal lõpetatakse roo koristamine märtsis-aprillis. Roogu katusekatteks on soovitatav lõigata alalt, kust eelmisel aastal on roog koristatud ja kasutatud mingiks muuks otstarbeks.

Varasematel aegadel kasutati roo lõikamiseks sirpi või vikatit ning sileda jää pealt koristades ka lükkamisraudu. Joonisel 2.1 näeme lükkamisraudadega roo koristamist Võrtsjärvel. Kahtlemata on selline koristusviis energiasäästlik, aga mitte eriti tootlik.

Kaasajal koristatakse enamus ehituspilliroost masinatega, sest nii nende jõudlus kui ka efektiivsus on kuni sadu kordi suuremad, kui käsitsi koristades. Masina suurusest sõltub mitu inimest seal korruga peab töötama ja ka koristatud kahlude arv tunnis.

Eesti Maaülikoolis viidi läbi uuring kümnes roogu lõikavas ettevõttes, et selgitada välja meil kasutatavad lõikusmasinad ja roo koristamise tehnoloogia. Tabelis 2.1 on toodud saadud tulemused.





**Joonis 2.1.** Pilliroo koristamine lükkamisraudu kasutades (foto: J. Miljan)

**Tabel 2.1.** Rookoristusmasinate võrdlus ja tootlikkus (Valge 2010)

Roo-kombain ja selle valmistaja	Eestis kasutusel tk	Võimsus kWh	Mass kg	Kasutatav kütus	Vedav käiguosa	Ujuvus	Kogub roo kokku	Niiduk	Tootlikkus kahludes	Tööliste arv masinal
BCS662 (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	roomik	-	+	BCS	4000	2...3
Traktor ja lõikeseade	2	-	-	D	4x4	-	-	BCS	1000	1
Seiga 4 x 4 (Ungari)	3	-	-	D	4x4	+	+	BCS	4000	3...6
Traktor ZAZ mootor ja lõikeseade FIE V. Hargats	1	-	-	B	-	-	-	Viljalõikusmasin	1000	1

Rookombaini tööpõhimõte on, et roog lõigatakse, seotakse kahlu ning jäetakse kas koristusalale maha (nt BCS niidukit kasutades, kui seda ei ole ümber ehitatud) ja korjatakse kokku hiljem või korjatakse saak kohe lõikusmasina või selle taha haagitud platvormi peale.

Nii kombain Seiga kui ka osa ise komplekteeritud masinaid võimaldavad selliselt koristada ja kui koorem saab täis sõidetakse koristusala lähedale kaldale ning kallutatakse kahlud sinna maha.

Eestis tegutsevast kümnest küsitletud firmast (Valge 2010) neljas oli kasutusel Itaalias toodetud väiketraktor BCS 662 (joonis 2.3). Kolmes ettevõttes kasutati Ungaris toodetud rookombaini Seiga (joonis 2.2).

Kasutusel olid ka mitmesugused erinevatest seadmetest ise kokkumonteeritud koristusmasinad (joonised 2.4 ja 2.5).



**Joonis 2.2.** Rookombain Seiga (foto: Ü. Kask)



**Joonis 2.3.** Roolõikur BCS 662, väikseim saadaolev niiduk (foto: M. Miljan)



**Joonis 2.4.** Ettevõttele Thatched Roof OÜ kuuluvad ise-ehitatud rookombainid (fotod: Reedroof 2010)



Küsitlustulemuste põhjal (Valge 2010) sobibki meil talviseks roolõikamiseks kõige enam 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 ja ka eraldi.

Roo saagikus on aastati väga erinev sõltudes ilmastiku tingimustest samamoodi nagu saagikus põllumajanduses. Seetõttu varieerub ühe kahlu tootmiseks kuluv aeg ja muutub ka kahlu kaal.



**Joonis 2.5.** OÜ Järveroog rookombain rajatraktorile Paana monteeritud BCS heedriga (foto: K. Akermann)

2013. aastal kronometreeriti Võrtsjärve ääres osühingus Järveroog Eesti Maaülikooli maaehituse osakonna uurimustööna rajatraktorile Paana (BCS lõikuriga) ehitatud rookoristamise masina tootlikkust, erinevate tööoperatsioonide kestust ja kütuse ning aja-kulu ühe rookahlu tootmiseks. (Põvvat 2013, avaldamata)

Rookombainil Paana töötas roo lõikamise ajal kaks inimest ja kolme tunni jooksul saadi 2,9 tonni roogu, millest seoti umbes 840 kahlu. Üks kahl kaalus 3,45 kg ja oli keskmiselt 2,3 m pikk. Kolme tunniga sai koorem täis – kuus suurt rulli, mis tõmmati kinni terasplekk-lindiga neljast kohast ja transporditi rannal asuvale laoplatstile, kuhu kelk tühjendati.

840 vihku suudeti sorteerida ja puhastada kuue tunniga kolme inimese poolt (nii puhastamiseks kui sidumiseks kasutatakse mehhaniseeritud seadet). Kaks töölist võtsid seotud vihud lahti, sorteerisid ja puhastasid, üks töötaja sidus roo uuesti kahludesse. 840 koristatud kahlust jääb tavaliselt pärast puhastamist alles ligikaudu 600.

Traktori kolmetunnise töö (lõikamine) ajal kulutati keskmiselt 4 l diiselkütust tunnis. Sõiduks järvele ja sealt sorteerimisplatsile kulus kaks korda 15 minutit ja kulutati 2 x 0,5 liitrit kütust. Roogu puhastati kuus tundi ja kütusekulu oli sel ajal 1 l/h.

Seega kokku kulus diiselkütust  $3 \times 4 + 1 + 6 = 19$  l.

Puhas saak oli antud juhul 600 kahlu, seega diiselkütust kulus 0,03 l kahlu kohta. Inimtööjõu kulu roo lõikamiseks, transpordiks ja sorteerimiseks oli  $2 \times 3 + 2 \times 0,25 + 6 \times 3 = 6 + 0,5 + 18 = 24,5$  tundi. Ühe kasutuskõlbuliku kahlu saamiseks kulus 2,45 minutit.



Roogu koristades on võimalik valida kahe sorteerimisviisi vahel: kas koristuskoha lähedal väljas või kuivas laoruumis. Väljas saab roo sorteerimise ootel hakkidesse panna (joonis 2.6), aga pilliroogu on võimalik sealsamas järve ääres või jää peal kohe katuse katmiseks sobivatesse kahludesse siduda. Sellise sorteerimisviisi puuduseks on, et kogu väljapraagitud roog jääb sorteerimispaigale maha suures koguses keskkonda saastama ja töötluskadu on suur. Laos sorteerimise eeliseks on, et inimesed on varju all ja saak samuti ning roo jääke saab millekski muuks sealsamas veel ära kasutada.



**Joonis 2.6.** Rookahlud hakkides Pape järve ääres Lätis (foto: M. Miljan)

Sorteerimiseks lõigatakse kõigepealt kahlunöörid lahti, eemaldatakse lühikesed kõrred, lehed, mis on veel varre küljes, teised heintaimed, mis on pillirookörte vahel, soovitatavalt ka õisikud ehk pöörised. Sorteerides eraldatakse ka koonilised ja ümarad rookõrred. Inimsilma sellel tööl miski ei asenda, küll on aga võimalik käsitsitööd vähendada, kasutades mehaanilist puhastusseadet õisikute ja lehtede eemaldamiseks. Joonisel 2.8 on näha traktori mootori poolt ringi aetav roopuhastamise rull. Joonisel 2.7 on Koreas riisiõlgede silumiseks ja puhastamiseks kasutatav seade.



**Joonis 2.7.** Riisiõlgede puhastamine Koreas (foto: thatched roof... 2011)



**Joonis 2.8.** Traktori mootori abil ringi aetav rull roo puhastamiseks

Hiiumaa ettevõttes Rooekspert OÜ sorteeritakse kõrgema sordi roog katusematerjaliks, teise sordi roost valmistatakse rooplaate ja lühematest kõrtest pressitakse pilliroopakke, kõik jäägid kasutatakse kas multšiks või ehituses puistesoojustuseks. Selline on peaaegu ideaalilähedane ja keskkonnasõbralik rookasutus. Võimalik oleks veel roojäägid kas lahtiselt või pressituna (pelletiteks või brikettideks) kütusena põletada.

Roo parema kasutamise seisukohast lähtudes oleks mõistlik roog sorteerida kvaliteeti silmas pidades. Roo kvaliteedi näitajad lühidalt oleksid sellised:

I sort: kvaliteetne, katusekatteks sobiv pilliroog on erekollase värvusega, sirge ja tugeva kõrrega, kui seda käega katsuda. Kõrre alumise otsa diameeter peaks olema 5 ku-

ni 6 mm ja kõrre pikkus mitte alla 80 cm ja mitte üle 2 m. Kõrs peab olema alt otsast kergelt punaka tooniga. Materjal peab olema ühtlane ja ilma prahita. II sort: hea roomaterjal võib olla veidi üle kahe meetri pikk ning sisaldada mõningal määral ebakvaliteetset pilliroogu, kuid mitte märkimisväärsel hulgal. Hea kvaliteediga pikk roog kasutatakse roomattide ja -plaatide valmistamiseks (Räikkönen 2007:17–22).

Roo kvaliteedist rääkides tuleks silmas pidada, et pilliroo kui ehitusmaterjali kvaliteedinäitajad sõltuvad veel mitmetest teguritest: roo kasvukohast, koristamise ajal valitsenud ilmastikutingimustest, koristamise tehnoloogiast, sorteerimise kvaliteedist, kuivatamisest ja säilitamisest. Soojustus- või katusekattematerjalina kasutamisel sõltub lõpptulemus ka pilliroo paigaldamise kvaliteedist. Sorteeritud roog seotakse uuesti kahludesse. Kahlude enam-vähem ühesugune mõõt saavutatakse rookahlu sidumise pinki (joonised 2.9 ja 2.10) kasutades. Ühe pillirookahlu übermõõt on u 63 cm ning sõltuvalt nõudmisest on kahl 100–220 cm pikk ja kahe nööri (üks 10 cm, teine 50 cm kaugusel kahlu alaosast) kinnitatud. Kahlu seotud roog lõigatakse alt tasaseks. Kahlud pannakse ruloonidesse enamasti 25–30 või 40–50 kaupa (joonis 2.11).



**Joonis 2.9.** Rookahlu sidumise pink Eestis (foto: J. Miljan)



**Joonis 2.10.** Rookahlu sidumise pink Lätis (foto: J. Miljan)



**Joonis 2.11.** Pillirooruloonide ladu Lätis Pape järve ääres (foto: M. Miljan)



Ladustamise ja transpordi hõlbustamiseks tõmmatakse ruloonid terasplekkklindiga kokku. Rulooni pikkus on u 235 cm. Koristatud kuiva roogu saab laos säilitada pikemat aega. Roogu ladustades võib ruloone panna üksteise peale kuni kuus kihti. Kuivas laos säilib roogu aastaid. Õhk peab aga laos kindlasti liikuma.

### 2.3. PILLIROO LÕIKAMINE KÜTUSEKS

Ülo Kask, TTÜ soojustehnika instituut

Ehitusroo niitmiseks on välja töötatud spetsiaalsed liikurmasinad (nt Seiga joonis 2.2) ja roo niitmiseks kohandatud niidukeid (nt BCS joonis 2.3), kuid nende masinatega pilliroogu kütteks varuda ei ole seni osutunud majanduslikult tasuvaks.

Pilliroo lõikamine kütuse valmistamise eesmärgil sõltub eelkõige sellest, millist kütust soovitakse teha. Vedelate ja gaasiliste kütuste valmistamiseks tuleks pilliroogu lõigata juuli lõpus, augusti alguses, kui taimed on saavutanud maksimaalse kasvu (saagikuse). Samas ei saa jätta mainimata, et suvine niitmine ei ole jätkusuutlik, sest juurestiku kahjustuste tõttu võib roostik mõne aastaga hävida. Mosaiikse lõikamise korral, kus samast kohast niidetakse igal kolmandal aastal ei pruugi väide paika pidada, kuid seda pole teadaolevalt kontrollitud. Suvist niitmist piiravad ka looduskaitse eeskirjad. Talvel lõigatud, piisavalt kuiv pilliroog sobib kateldes otsepõletamiseks (nt pressituna rullidesse) või vääristamiseks pelletiteks, brikettideks aga ka sünteetilise gaasi (pürolüüsigaas) ja teise põlvkonna vedelate biokütuste tootmiseks.

Masinaid ja seadmeid, mida saaks kasutada kütuseks muundatava pilliroo lõikamiseks, on üsna laias valikus. Selleks sobivad tavalised põllumajandusseadmed (joonised 2.12 ja 2.13) (heinaniidukid, kohandatud kombainid, heinapurustid, pressimisseadmed jms), kuid on olemas ka spetsiaalselt märgalade biomassi niitmiseks sobivaid niidukeid (joonised 2.14 ja 2.15). Oluline on, et nende masinate erisurve pinnasele oleks väike ja et nad suudaksid liikuda nii vees kui lumes. On olemas nii ratastel kui roomikutel liikuvate šassiidega masinaid.



**Joonis 2.12.** Suur heinapakipress Claas  
(<http://classified.fwi.co.uk/browse/grassland-equipment/balers/big-square-balers>)



**Joonis 2.13.** Suur pallipress 605 Super M Baler  
(foto: Vermeer ...)



**Joonis 2.14.** Pilliroolõikur Loglogic Softrak (foto: Ü. Kask)



**Joonis 2.15.** Erivarustusega traktor Valtra C150 koos järelkäruga roogu (<http://www.valtra.com/news/405.asp>)

Roo niitmis- ja varumisseadmete valik sõltub tegelikult mitmest asjaolust. Olulisemad kriteeriumid seonduvad roostiku asukohaga ning sellega, kuidas niidetud materjali kavatsetakse kütteaineks muundada. Talvise niitmise korral tuleb arvestada heitlike jääolude ja lumega, suvel aga pinnase seisukorra ja veoludega. Näiteks sügava lume või kõrgveega võib olla võimatu sobival ajal roogu varuda (sama kehtib ka ehitusroo varumise kohta). Palju sõltub sellestki, kuidas roovarumisahel on üles ehitatud. Majanduslikust seisukohast tundub arusaadav, et mida vähem erinevaid masinaid ja tööjõudu kasutada ning mida optimaalsemalt logistika korraldada, seda soodsam. Tegelikus elus asi nii lihtne ei ole, sest kohad ja tingimused, kust pilliroogu varutakse, seavad tarneahelale piirangud. Tehniliselt võimalik ja majanduslikult kõige soodsam oleks kasutada selliseid kombineeritud seadmeid, mis talvisel ajal lõikaksid roo, peenestaksid selle ja pressiksid kohe pelletiteks. Sellise kombaini või liikurpressi mass ületaks aga kindlasti piiri, mida roostike pinnas välja kannataks, ilma et ta kahjustatud saaks. Ka oleks selliste masinate kasutusala, ja mitte ainult Eestis, väga piiratud. Seega tuleb kütteroo varumise ahel ja vastavad seadmed alles välja töötada.

Soome uurijate andmetel kannab nt 20 cm paksune jää kuni 2-tonnist, 25 cm paksune 3-tonnist ja 30 cm paksune kuni 4,5-tonnist masinat (niidukit, pallijat, traktorit jne). Soomlaste niitmiskatsetel kasutatud tehnika kaalus 2,5–3 tonni (Järviruoko ... 1981). Kui liikurniidukile lisada veel nt ühel alusel järelveetav purusti (jahvatusseade) ja press, siis peaks jää paksus olema vähemalt pool meetrit. Sellise paksusega jää on esinenud nt Väinameres viimati 2013. aastal, kuid paiguti. Üldiselt on merejää nii paks siiski väga harva. Ehitusroo sorteerimisjääd sobivad samuti kütuseks kasutada, kui nendest ei pressita roopakke või ei segata kergsaviplokkidesse. Ebamõistlik oleks jätta sorteerimisjääd kasutamata või neid lihtsalt varumisalade läheduses põletada, nagu sageli tehakse. Kui roojääd võiks peenestada ja kasutada kas brikettide (lähtematerjali tükisuurus kuni 5–6 mm) või pelletite (graanulite) valmistamiseks (materjali tüki suurus kuni 1–2 mm). Tavaliste puitpelletite valmistamise seadmetega pressimisel, tuleks kuivale (suhteline niiskus vahemikus 15–18%) peenestatud pilliroole lisada veidi kas rapsikooki või külmpressitud taimeõli (umbes 1% massist), mis hõlbustab pressimist ja parandab graanulite kvaliteeti, peamiselt nende koospüsivust. Sama efekti annab puukoore lisamine, kuid selle massiosa peaks olema vähemalt 10% või enam. Mõlemal juhul on tegemist saadusega, mis kvalifitseerub puhta (lisanditeta) biokütuse hulka.



### 3. PILLIROO KASUTAMINE EHTUSES

Jaan Miljan, EMÜ maaehituse osakond

#### 3.1. PILLIROOG KATUSEKATTEKS

Ehituses kasutatakse pilliroogu kõige rohkem katuste katmiseks. Roogkatuse ehitusvõtted, konstruktsioonid ning vorm kujunesid välja aastasadade jooksul, olenedes piirkonna kliimast, kasutatava roo kvaliteedist jm (K. Tihase 2007). Katuse tegemiseks vajalikku pilliroogu soovitatakse lõigata eelmisel aastal koristatud alalt, mis tähendab, et mitme aasta vanust roogu katusekatteks ei kasutata. Pilliroog peab olema sirge, erekollase värvusega ja alt otsast soovitatavalt 5–8 mm läbimõõduga ja kergelt punakas. Roog tuleb puhastada teiste taimede kõrtest ja lehtedest ning õisikutest.

Pillirookatuste ehitamine on praegu Euroopas taas edenemas, samas pole olukord alati niisugune olnud. Ruutmeetrites mõõdetuna on nt roogkatuste kogupindala Hollandis kõvasti kõikunud, nagu ka Inglismaal ja Taaniski. Statistika näitab, et 1981. aastal kattis Taanis tootmishooneid üle kahe miljoni ruutmeetri roogkatust. 2003. aastaks, st 22 aastat hiljem, oli ruutmeetrite arv vähenenud alla ühe miljoni. Tänu riiklikule poliitikale on roogkatuste ruutmeetrite arv seal jälle suurenemas (Lautkankare 2007).

Eestis lõigatakse pilliroogu ehituse tarbeks ca 0,8–1,5 miljonit kahlu aastas (Lautkankare 2007:75) ja sellest märkimisväärne osa eksporditakse. Samas imporditakse meile roogu Hiinast ja Ungarist.

##### 3.1.1. ROOGKATUSTE EHTAMISEST ERINEVATES RIIKIDES

Katuse ehitus algab projekti tegemisest ja kohe algul tuleks arvestada, et roogkatuse eluiga sõltub väga paljudest asjaoludest, mitte ainult katuseroo kvaliteedist ja paigaldaja osavusest, vaid ka hoone asukohast maastikul, katusetahkude asetusest ilmakaarte suhtes ja asukoha kliimatingimustest, katuse liigendatusest ja katusekalde suurusest. Seega ei ole võimalik väita, et roogkatuse Inglismaal kestab niisama kaua kui Eestis, isegi kui roog ja tegija on samad. Hästi ei ole võimalik võrrelda oma elamu katust isegi naabri maja katusega, sest üks hoonetest võib paikneda lagedal ja mäe peal, teine aga hoopiski puude varjus või jõeorus. Liigendatud katuse eluiga on lühem ja ka katuse hooldamine nõuab rohkem aega ja vaeva, kui lihtsa katuse korras hoidmine. Pillirooga kaetud katuse kaldeks soovitatakse meie tingimustes vähemalt 45°. Interneti väljaanne Hiss Reet (2013.08.15) pakub katuse kalde ja kestvuse seotuse hindamiseks välja tabeli 3.1 viidates omakorda allikale Vakfederatie Rietdekkers.

**Tabel 3.1.** Roogkatuse kestvus sõltuvalt katusekalde suurusest

Katuse kalle kraadides	Katuse kestvus aastates
25	kuni 15
30	10–20
45	25–45
50	üle 45 aasta

(Hiss Reet 2013)

Eesti tingimustes pakutakse roogkatuse kestvuseks 30–100 aastat ja isegi rohkem. See ei tähenda aga seda, et katus ehitatakse valmis ja 100 aasta pärast vahetatakse see uue vastu. Katus, nagu kõik hoone konstruktsioonid, vajab iga-aastast ülevaatamist ja kontrolli ning vähimagi kahjustuse ilmnedes tuleb see kohe kõrvaldada. Roogkatuse nõrgim koht on hari. Traditsiooniliselt on Eestis pillirooga kaetud nii viil- kui ka kelpkatust. Viimast ehitati varasematel aegadel rohkem selle tõttu, et kõrge otsaviilu katmiseks oli saelaudade kasutamine kallid (Rullingo 2005).

Pillirooga kaetud katuse ehitamiseks on aegade jooksul välja kujunenud omad reeglid, mida tänapäevaste ehitusmaterjalide kasutuselevõtuga ja uute teadmiste valguses on täiendatud.

Katuse kandekonstruktsioon peab olema nii tugev, et kannaks ära roo raskuse – ühe ruutmeetri 30 cm paksuse rookihi massiks arvestatakse 40–50 kg (S. Sooster 2010), aga ka 30 kg/m<sup>2</sup> (ET 0506). Lisaks peab katusekonstruktsioon vastu võtma ka lume- ja tuulekoormuse.

Katusesarikate samm sõltub ava suuruselt ja kandekonstruktsiooni ehituslikest iseärasustest (nt kas on kasutatud penni), ka kasutatud puitmaterjali ristlõikest ning on tavaliselt 1–1,5 m. Sarikate peale paigaldatakse roovitis. Roogkatuse roovitise tavaline samm on 35 cm. Tavaliselt pannakse räästaroovist ülejäärgmine roov eelmisest roovist vaid 20 cm kaugusele ja räästaroov on 5 cm teistest roovidest kõrgem. Roovid on enamasti ristlõikega 50 x 50 mm või ümarpuidust diameetriga 60 mm. Roog paigaldatakse katusele nii, et kõrre ladvad jäävad ülespoole. Varasemast ajast on teada, et mõnikord asetati kõrred ka vastupidiselt nii, et õisikutega otsad jäid räästasse. Sellist moodust on kasutatud ka rannamajakese katuse ehitamiseks lõunamaal (joonis 3.29).

Roogkatuse ehitamist alustatakse otsaviilu poolsest räästaservast roogu 3–5 meetri laiuste paanidena paigaldades ning ülespoole liikudes. Selline paigaldusviis võimaldab katust kergemini parandada ja tulekahju korral on lihtsam süttinud või põlenud rookahle välja kiskuda.

Sirge katuseräästa saamiseks kinnitatakse sarikate külge ajutine räästa rihtlaud, mis on niisama kõrge, kui katusele paigaldatava rookihi paksus. Rihtlaud kinnitatakse sarikate külge puidust aistega. Seotud rookahlud tõstetakse üles roovide peale. Räästa alumises osas kasutatakse ühtlast, sirget, kvaliteetset pilliroogu. Roogkatuse tegemisel läheb tarvis mitmeid tööriistu, mis on vajalikud ainult roogkatuse ehitamiseks: rookihi tasandamiseks ja silumiseks mõeldud käpp (kas tammepuust või siis alumiiniumist) ehk lasn (joonised 3.1 ja 3.2) ning puidust kiil (joonis 3.2), mille abil surutakse rookõrred üksteisest kaugemale, et korralati paigalhoidmiseks kasutatavat terastraati läbi tihendatud kahlude roovi külge kinnitada. Kaasajal kasutatakse rookahlude ning korralattide (survelattide ehk roigaste) sidumiseks ja hilisemaks pingutamiseks roovide külge enamasti traadiga kruve (joonis 3.3).



**Joonis 3.1.** Puidust kiil tihedate rookõrte vahele sidumistraadi jaoks ruumi tegemiseks ja metallist käpp (foto: J. Miljan)



**Joonis 3.2.** Räästa silumine puidust (tammepuust) käpaga (foto: J. Miljan)



**Joonis 3.3.** Traadiga kruvid korralati ja kahlude kinnitamiseks (foto: J. Miljan)

Korralatina kasutatakse puidust lati (joonis 3.4) asemel sageli metallvarrast  $d = 6-8$  mm (joonis 3.7). Räästasse paigaldatakse roogu nii palju, et esimese roovi peale korralati alla jääks u 10 cm paksune tihe kiht. Seega jääb 20 cm pillirookiht räästas oleva korralati peale. Iga järgmine kinnitus tehaksegi nii, et eelmises kinnituskohas oleks ülekatte paksus ligikaudu 20 cm. Teise või kolmanda korralati paigaldamise järel hakatakse katust käpaga tasaseks lööma ja siluma. Kogu aeg tuleb kontrollida katusel oleva pillirookihi paksust. Kui katuse valmis osa on tasaseks löödud kinnitatakse järgmised vihud ja korralatt. Soovitatav on paigaldada roogu võrdsele kõrgusele ja vaheldumisi nii ühele kui teisele katusetahule, et toimuks konstruktsioonide ühtlane koormamine.

Joonistel 3.5 kuni 3.11 näeme, kuidas katusemeister Lätist teeb edasi pooleli jäänud katust. Roog paigaldatakse algul tellingutelt ja hiljem katusele kinnitatud platvormilt. Kõigepealt seatakse kahlud juba paigas olevate korralattide alla (joonis 3.7) ja kinnitatakse kruvide küljes oleva sidumistraadi abil lõdvalt roovide külge. Soovituslik rookihi paksus korralati all on kolmandik katuse paksusest (mõned paigaldajad soovivad  $\frac{1}{2}$  rookihi paksusest).





**Joonis 3.4.** Vana vahetatav roogkatus ja puidust korralatt (foto: J. Miljan)



**Joonis 3.5.** Räästasse paigaldatakse roog tellingutelt (foto: M. Miljan)



**Joonis 3.6.** Rookihi paigaldamine paanide-na vanadele roovidele (foto: J. Miljan)



**Joonis 3.7.** Kahlude paigaldamine metallvardast korralattide alla (foto: J. Miljan)

Hiljem, kui soovitud rookihi paksus on saavutatud, kinnitatakse kahlud ja korralatid tugevasti. Kui rookõrred on katusel tihedalt üksteise vastu surutud, on raske sidumistraati läbi kõrte tõmmata, et järgmist korralatti kinnitada. Sel juhul kasutatakse abivahendit – kiilu – mille abil kõrred laiali lükatakse (joonis 3.9). Joonisel 3.4 näha olev katus oli ehitatud nii, et tulekahju tagajärjel või rookihi kulumise tõttu, oli võimalik roogu ülalt alla paigaldatud paanide kaupa vahetada. Sellise paigaldusviisi korral liigub katusepanija räästast alates paani laiuselt aina ülespoole harja suunas. Roog on osavates kätes tänuväärt materjal ja temast saab vormida nii kumeraid kui ka sirgeid räästaid (joonis 3.12). Räästas võib olla kujundatud astmena või nii, et rookiht räästas moodustaks katuse kaldega täisnurga (joonis 3.5) või siis on räästa rookiht kogu paksuses maapinnaga paralleelne (joonised 3.17 ja 3.18).





**Joonis 3.8.** Sidumistraadi kinnitamine roovi külge kruviga (foto: J. Miljan)



**Joonis 3.9.** Kiilu kasutamine sidumistraadile vahe tegemiseks tihedasti kokku surutud rookõrte vahele (foto: J. Miljan)



**Joonis 3.10.** Eelmise ja järgmise korralati jätkamine ja pingutamine (foto: J. Miljan)



**Joonis 3.11.** Katuseräästa tasaseks löömine käpa ehk lasnaga (foto: J. Miljan)

Roo paigaldamise ajal tuleb jälgida, et ka väikese kaldega katuseosadel (uugi katus, neel, rood) oleks kõrte kalle ikka selline, et vesi katusele maha valguks. Sellistesse kohtadesse on pilliroogu mõnel juhul väga keeruline õigesti paigaldada, sest rookiht on paks ja liigendatud osade mõõdud ning üldine kalle on sageli väikesed.



Rooväli nagu viljapõld (foto: K. Lilleste)





**Joonis 3.12.** Moderne roogkatusega elamu Lätis Amacemsis, mille hari on kaetud laudadega (foto: J. Miljan)

Harja ehitusele ja kinnitamisele tuleb pöörata erilist tähelepanu, sest hari ja harja kinnitused jäävad kõige enam ilmastiku meelevalda ja kuluvad seetõttu kiiremini, kui ülejäänud katuse osad. Harjale teevad kahju ka linnud, kes pesa tarbeks sealt endale kõrsi kisuvad.

Harja ehitamiseks ja kinnitamiseks on kasutatud ja kasutatakse mitmeid erinevaid materjale ja mooduseid.

Algupärasel ehitusel kasutati lähiümbrusest kergesti kättesaadavaid materjale. Nii on Inglismaal harjamaterjaliks kasutatud õlgi ja kanarbikku (nii kuivade taimedena kui ka mättana). Kasutatud on lihtsalt murumätast. Nüüdisajal soovitatakse mäta alla paigaldada rookihi kaitseks vett mitteläbilaskev materjal, mis võiks olla nt ruberoidkate (Hiss Reet 2013). Harjamaterjaliks kasutatakse ka roogu. Kindlasti tuleb harja parandada sagedamini kui katust, sest harja seisundist sõltub katuse eluiga.

Eestis ehitatakse hari enamasti nii, et viimaste paigaldatud rookahlude otsad keeratakse üle harja katuse vastastahule ja peale laotakse horisontaalselt harja katteks mõeldud roog. Horisontaalne roog harjal kinnitatakse traditsiooniliselt harjamalkadega (joonised 3.13 ja 3.14). Harjamalga puuks sobib hästi kas kuusk või kadakas. Harjamalga läbimõõt on kuni 10 cm ja pikkus vähemalt 0,8–1,5 meetrit. Eestis on ehitatud ka vähemalt üks kanarbikuga kaetud katusehari (joonis 3.17) ja katuseräästaski on sellel hoonel Eestile mitte tavapärase kujuga (joonis 3.17).

Katuse harja saab katta ja kinnitada ka laudadega (joonised 3.12 ja 3.16). Ajaloost on teada, et harja katteks võidi kasutada ka lapikuid kive, sindleid või laaste, samuti võisid harjamalgad ulatuda kuni räästani (Veski, A. 1969). Joonisel 3.15 on näha katusel oleva roo fikseerimine kividega tuulises piirkonnas.



**Joonis 3.13.** Harjamalkadega kinnitatud katusehari Saaremaal (foto: S. Sõber)



**Joonis 3.14.** Harjamalkadega fikseeritud ja unkaauguga kelpkatus (foto: S. Sõber)



**Joonis 3.15.** Katuseroo kinnitamine tuulisel alal (foto: Photosearch 2013:88)



**Joonis 3.16.** Laudadega kaetud katusehari Eestis (foto: S. Sõber)





**Joonis 3.17.** Eesti jaoks ebatraditsiooniline kanarbikuga kaetud katusehari ja räästajoon, mis ei ole katusel olevate rookõrte suunaga risti (foto: T. Pitkänen)



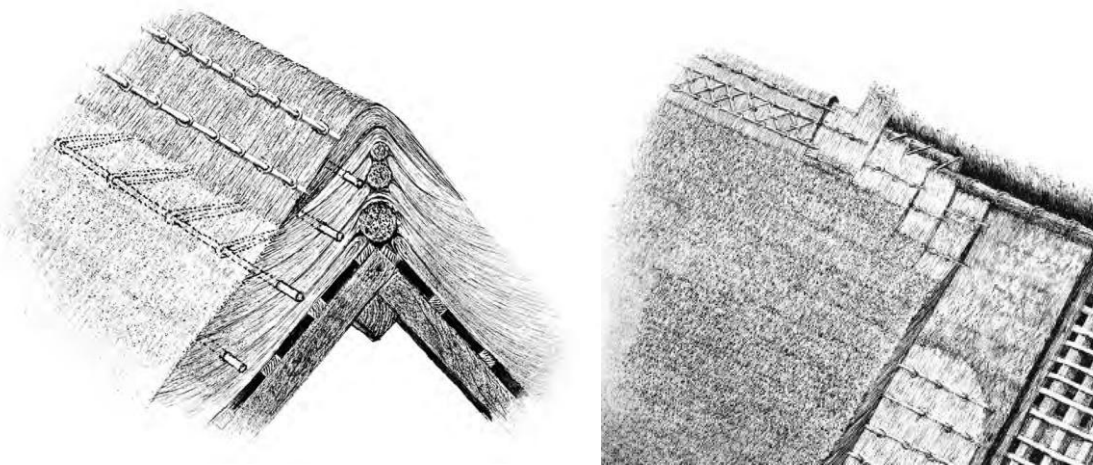
**Joonis 3.18.** Sama hoone (joonis 3.17) vaates (foto: T. Pitkänen)

Tuulisel alal võib roogkatuse ka kuni servani kinnitada punumisvõtet kasutades. Nii tehakse Koreas Jeju saarel, kus katused, tõsi küll, on riisiõlgedest mitte pilliroost. Kuna saarel puhuvad väga tugevad tuuled, siis tuleb seal igal aastal katusele paigaldada uus kiht õlgi (joonis 3.19). Ka katuse kuju on üsna ebatavaline ja sellisena tuultele kõige vastupidavam.



**Joonis 3.19.** Riisiõlgedest katus Jeju saarel on ehitatud vastu pidama tugevatele tuultele (foto: <http://www.ijto.or.kr/english/index.php?cid=22>)

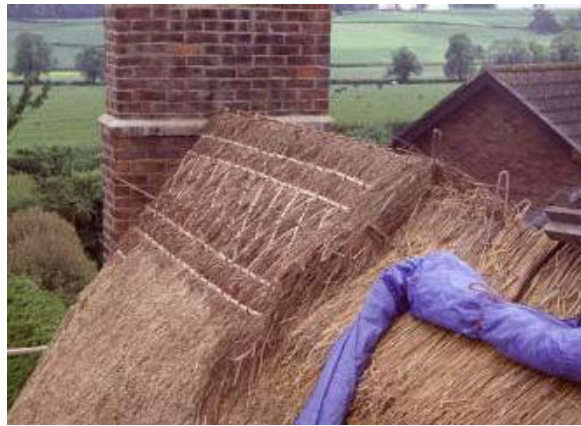
Traditsiooniliselt roogu katusekattteks kasutanud maades on katuse ehitamiseks ja harja viimistluseks väga erinevaid viise. Joonisel 3.20 on esitatud harja ja katuse ehituse viisid Inglismaal Devoni krahvkonnas.



**Joonis 3.20.** Roogkatuse lõige ja katusetahu ehitusjärkude plaan Inglismaalt Devoni krahvkonnast (Devon ... 2013)

Kaunistatud hari oli varasemal ajal Devoni krahvkonnas väga levinud (joonis 3.21). Kaunistusena kasutati ka roost linde või inimkujusid, mis kinnitati harja külge. Hari seotakse või punutakse (netting) enamasti kinni. Harja kinnitamisel kasutatakse sel juhul okaspuu oksa, mis on ottest teravaks lõigatud ja poolitatud parema painduvuse tagamiseks. Tugevasti seotud hari ei lase lindudel kõrsi katusest välja kiskuda. Punumise puuduseks on katuse aeglasem kuivamine punutud osa sees. Ka jääb katusele pudenenud praht punutud osasse kergemini kinni. Tulekahju korral ei pääse aga kustutajad katuseroole ligi, vaid peavad kõigepealt punutud kohad lahti kiskuma. Punutud harja ja roogkatuse ehitamist õpetatakse 6-osalisel videol (<http://www.youtube.com/watch?v=Xl3Ug23g2o8>).





**Joonis 3.21.** Erinevad harja kinnitamise viisid Inglismaalt ja kaunistusega hari vasakpoolsel fotol (fotod: Building Conservation ... 2013)

Euroopas näha olevaid katuseharjasid saab erineva väliskuju põhjal liigitada nõ siledaks (*flush ridge*) (joonis 3.22.) ja plokharjaks (*block ridge*) (joonis 3.23.). Sile hari on kindlustatud risti asetatud okaspuust vitstega, eenduval harjal on roog lihtsalt järku lõigatud. Eenduva harjaga majal (joonis 3.23) on huvitav arhitektuurne detail – pilliroost aknalauad katuses olevate akende all. Inglismaal pakuvad uurijad ja katuse ehitajad harja kestvuseks 10–15 aastat (Thatchco ... 2013).



**Joonis 3.22.** Lame hari (*flush ridge*) (foto: Thatchco ... 2013)

**Joonis 3.23.** Eenduv hari (*block ridge*) (foto: Thatchco ... 2013)

Katuse kestvuse kohta öeldakse järgmist: kuna harja tuleb niikuinii sagedamini parandada, siis tasub harja parandajalt alati küsida, kas tema arvates ei peaks ka katust mõnest kohast uuendama. Katuse eluiga sõltub kõige rohkem harja korrasolekust ja muidugi ka kohalikust kliimast. (Devon ... 2013)

Harja parandades ei ole mõtet kasutada esimest kättejuhtuvat materjali, nagu nt eterniitplaati (K. Lilleste 2013). Eesti Maaülikooli maaehituse osakonnas läbiviidud roogkatuste kulumise uuringust ilmnes, et neil vanadel roogkatustel, kus harja oli parandatud eterniidiga, olid plaadi lainepõhja mööda allavalgustavast veest katuserool suured voolujäljed. Kuna veehulk laine põhjas on suur, siis saab katuseroog seal ka märjemaks ja ei kuiva enam korralikult ära. Sellest uuringust ilmnes samuti asjaolu, et võrgu kasutamine harja parandamiseks ei ole mõistlik, sest kuivamine on sel juhul aeglasem ja ka praht jääb võrgu sisse kinni.



Harja kinnitamiseks saab kasutada vägagi erinevaid materjale. Lõuna-Prantsusmaal (joonis 3.24) on traditsiooniline harjakate savi, mille sisse on istutatud iirised. Lille juurestik, pigemini risoomid, seovad katusekattematerjali ja savi teineteisega ning kasutavad ära harjale sadava vee.

**Joonis 3.24.** Maamaja Rouen'is (naturalhomes ... 2013)

Maailmast võib leida väga erilmelisi roogkatuseid (joonised 3.25. kuni 3.26.).



**Joonis 3.25.** Roogkatusega vana maja Ukrainas (foto: Photosearch 2013:6)



**Joonis 3.26.** Pilliroost kelpkatust troopikas (foto: Photosearch 2013:24)

Ukraina roogkatusega majal on katuse osa visuaalselt peaaegu kolm korda kõrgem kui seinte osa ja troopikas asuval majakesel on roog paigaldatud katusele tüveotsaga ülespoole.

Jaapanis on omanäolised roogkatused (joonised 3.27–3.29) ja nende harjadki on kinnitatud teisiti kui oleme harjunud nägema Euroopas.



**Joonis 3.27.** Bambuslattidega kinnitatud roogkatuse hari Jaapanis (foto: Photosearch 2013:1)



**Joonis 3.28.** Metalliga fikseeritud roogkatuse hari Jaapanis (foto: Photosearch 2013:2)





**Joonis 3.29.** Roogkatus Jaapani maailmapärandist – Shirakawago Gassho Frame Housing Community (foto: Tripadvisor 2013:96)

### 3.1.2. ROOGKATUSE EHTAMISE AJALOOLISED VÕTTED

Järgnev refereering K. Tihase raamatust „Eesti talurahva arhitektuur“ võib pakkuda huvi kõigile neile, kes soovivad roogkatust ehitades kasutada ainult naturaalseid materjale ja ajaloolist ehitustehnikat.



**Joonis 3.30.** Pisike laut Koguva külast Muhumaalt (foto: J. Miljan)



**Joonis 3.31.** Vana katuse kaunistus Lätimaalt (foto: M. Miljan)

Katuse kandekonstruksiooni olulised osad on sarikad, mis tavaliselt tehti palkidest läbimõõduga ca 15 cm. Nende ülemised otsad ühendati paarikaupa tapi ja pulga abil, alumised aga toetati hoone seinte ülemistele palkidele, nn murispuudele. Sellises asendis töötas sarikas talana, mis pidi taluma katuse koormusest, lumest ja tuulest tekkivaid pingeid. Et vähendada sarikate silde ulatust, ühendati sarikapaarid omavahel penniga, mis suurendas sarika paindekandevõimet. Tuule tugevama alasurve korral võis penn töötada ka tõmmatud vardana.

Kuna kogu katuse koormus kandus sarikate kaudu murispuudele, siis pidi sarikate ja murispuu ühendus olema küllaltki tugev. See tehti tavaliselt lihtsa hammastapi abil. Sarika sisse lõigati umbes 1/3 läbimõõdu sügavune hammas, mis toetati murispuu sisse lõigatud tapile. Suuremate ja laiemate ehitiste puhul löödi sarikas murispuu külge veel pulga abil. Sarikate alumised otsad, nn kabjad, ulatusid räästa laiuselt üle murispuu väljapoole ning need profileeriti enamasti lahtiste lihtsate lõigetega. Nende ühtemoodi väljalõikamiseks kasutati tavaliselt šabloone.

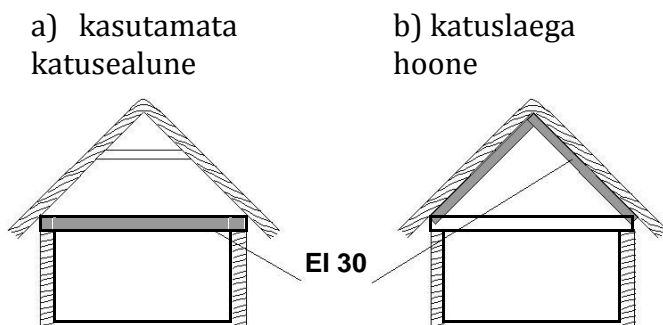
Roogkatuse optimaalseks kaldenurgaks loeti 45° või veidi rohkem. Katuse katmist alustati räästast. Räästa esimese roovlati kohale umbes 3–4 cm kõrgusele kinnitati kas vitsa või pulgaga abilatt (lõualatt). Räästa esimene kattekiht moodustati väikestest tasaseks lõigatud vihkudest. Vihud jaotati kaheks osaks. Mõnel pool murti vihk pooleks, mõnel pool jäi abilatti alla 1/3 vihust ja peale 2/3. Räästaroovidele laotati kiht lahtist roogu, mille tüved löödi räästaroobiga tasaseks. Kasutusel oli pealt- ja altlöömise lasn. Kui kogu räästas oli rooga kaetud, siis paigaldati järgmine lahtine kiht nii, et seda oli võimalik järgmise korralati ehk roika alla kinni suruda. Et katusekate oleks ühtlane kasutati korralatiks sirget puud, mis asetati rookihhi poole tasaseks löödud küljega. Iga 2–3 jala tagant seoti korralatt roovi külge vitste abil. Kasutati umbes sõrmejämedusi toominga-, paju- või muid elastseid vitsu. Vitsad valmistati sügisel või talvel, kui puukoor oli kinni. Metsast toodud vitstel lõigati otsad teravaks ja väänati nad keerdu. Et vitsad väänamisel katki ei läheks tambiti neid eelnevalt kirvesilmaga või hautati kuumas vees. Kokku keeratud vitsad pandi 100 kaupa punti ja kui nad kevadeks liiga ära kuivasid, pandi nad enne kasutamist likku. Kui katuse katmisega jõuti harjani, siis murti vihkude otsad vaheldumisi üle harja maha ning kinnitati korralattide ja vitste abil. Sinna peale laoti roog horisontaalselt ja kinnitati harjamalkadega (nimetati ka kärbised ehk varesejalad). Harjamalkadeks kasutati kuusest või kadakast tehtud roikaid, mis olid 1–1,5 m pikad. Roigaste vahe katusel oli 40–60 cm. Hiiumaal kasutati mõnikord nii pikki roikaid, mis ulatusid räästani. Harja kinnitamiseks on kasutatud ka laaste, sindleid või laudu.

(Tihase 2007:67–72)

### 3.1.3. PILLIROOST KATUSE TULEPÜSIVUS

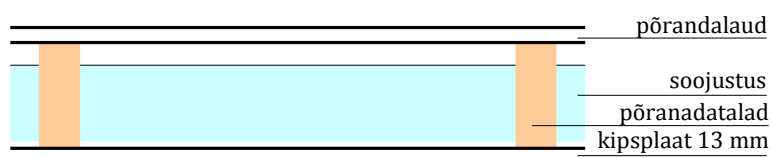
Eestis käsitletakse roogkatuste tuleohutust ehitusteabe kataloogis ET-2 0506-0676 Rookatuste tuleohutus.

Et roogkatuse süttimisel ei leviks tuli katusekattelt hoone konstruktsioonidele, tuleb saavutada elamutes vahe- ja katuslagede tulepüsivuse klass EI 30 (joonis 3.32).



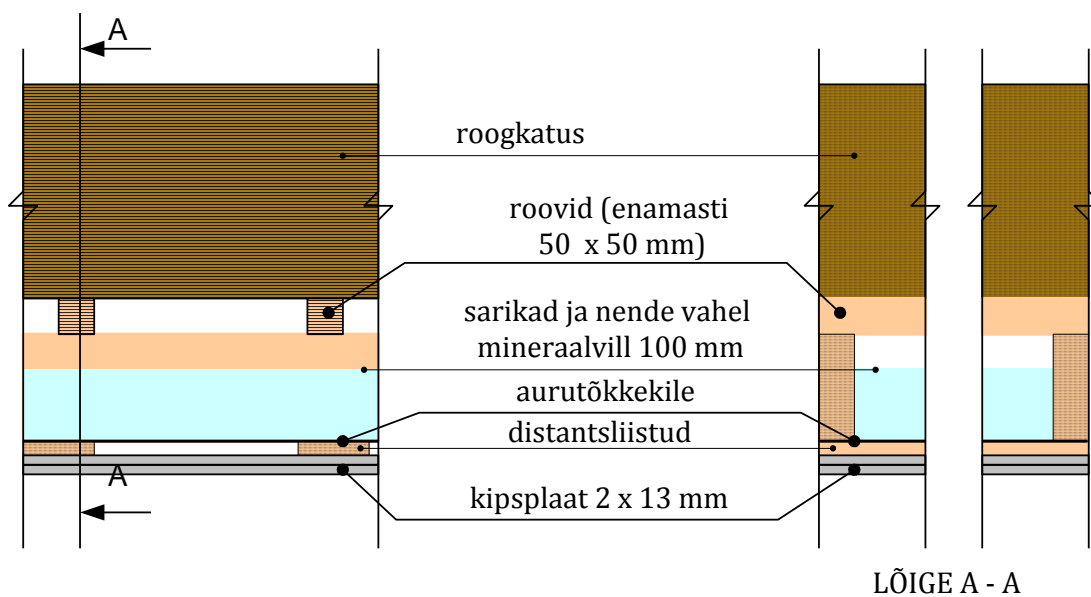
**Joonis 3.32.** a) tulepüsiv vahelagi, b) tulepüsiv katuslagi (ET 0506-0676)

Tulepüsivuse klassi EI 30 on võimalik saavutada erinevaid ehitusplaate ja isolatsioonimaterjale kasutades. Joonisel 3.33 on esitatud EI 30 tulepüsivusklassiga vahelae tarindi skeem.



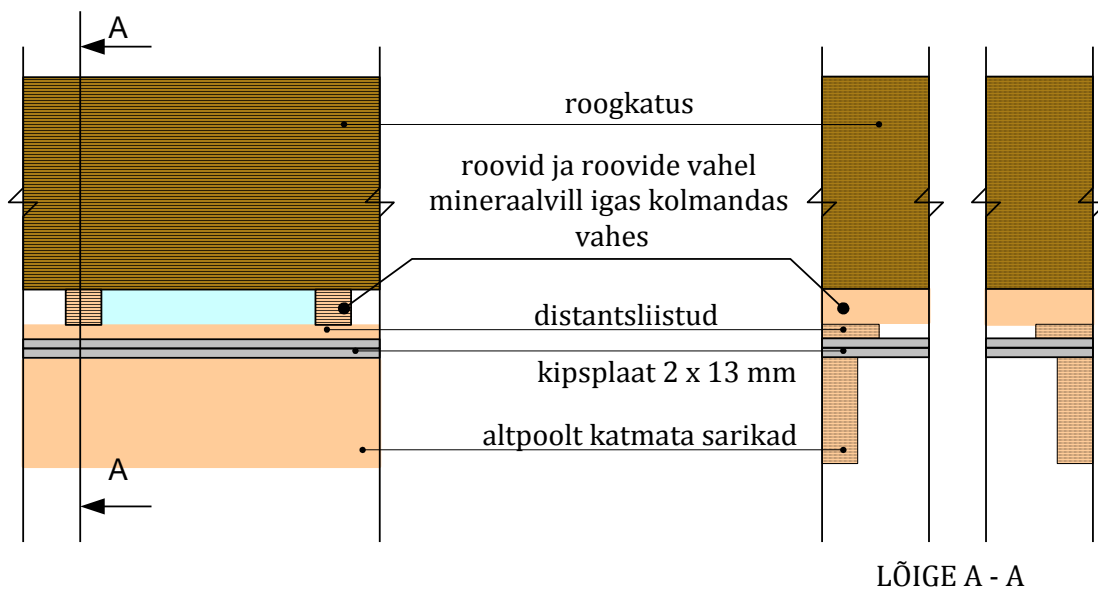
**Joonis 3.33.** Vahelae konstruktsioon (ET 0506-0676)

Tulepüsivate katuslagede mõned lahendused on toodud joonistel 3.34–3.36.



**Joonis 3.34.** Altpoolt kipsplaatidega kaitstud katuslagi (ET 0506-0676)

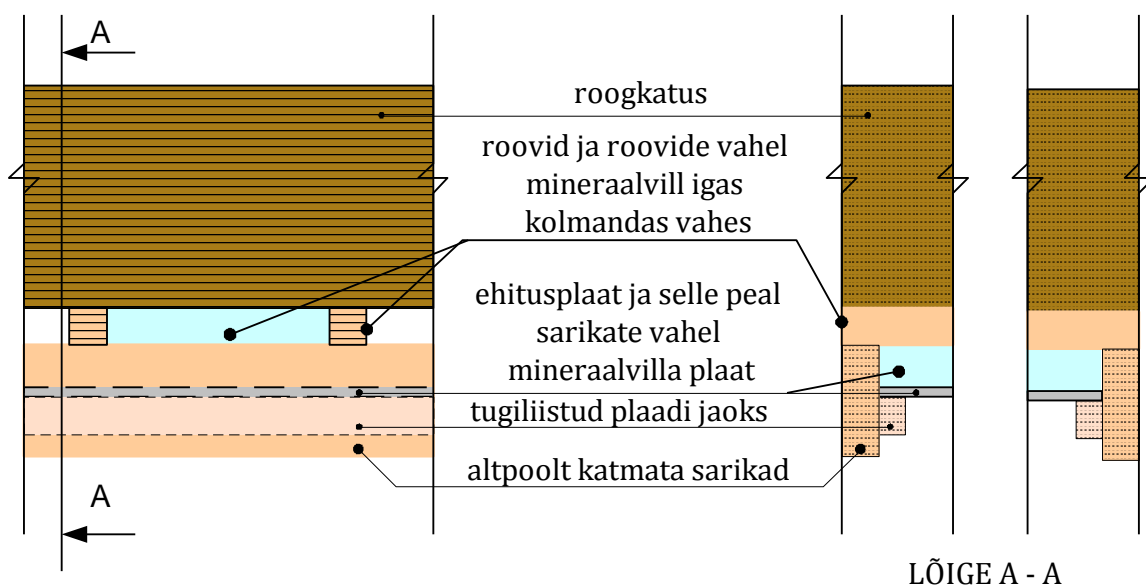




**Joonis 3.35.** Sarikate pealt kaitstud katuslagi (ET 0506-0676)

Meetodit (joonis 3.34), kus sarikad kaetakse ehitusplaatidega altpoolt, saab kasutada hoone konstruktsioonide kaitsmiseks (tuli ei levi kiiresti katuselt hoone siseruumidesse ja ehitusplaadid kaitsevad mõningal määral ka kustutusvee eest). Sarikate alla paigaldatakse sobiva sammuga distantслиistud ja nende külge kinnitatakse altpoolt tulepüsivuse klassi EI30 tagavad ehitusplaadid.

Lahendust „sarikate kohal“ (joonis 3.35) kasutatakse uue katuse ehitamisel või vana katuse täielikul renoveerimisel, mille käigus vahetatakse ka vanad roovid. Selle lahenduse kasutamine kaitseb katusekatte süttimise korral ka sarikaid, samas jääb roo väljakuivamise kiirendamiseks tuulutava vahela ruumi, sest mineraalvillaga täidetakse vaid iga kolmas roovivahe.



**Joonis 3.36.** Sarikate vahelt kaitstud katuslagi (ET 0506-0676)

Mingil määral on võimalik ka olemasolevas elamus suure töö ja hea tahtmise korral kaitsta sarikaid tule eest, paigaldades sarikate ja roovide vahele tule levikut tõkestavad materjalid. Sel juhul tuleb vähemalt iga kolmas roovivahe täita mineraalvillaga. Nende roovide alla, mille vahele villa ei paigaldata, surutakse rookihi ja roovi vahele mineraalvillariba. Katuse perimeetril täidetakse 1 m laiuselt minaraalvillaga kõik roovivahed. Sarikate vahele paigaldatakse 50 mm mineraalvilla plaadid, mis toetatakse mõõdulõigatud ehitusplaatidele. Ehitusplaadid kinnitatakse tugiliistudega. Ehitusplaatide vuugid tihendatakse (joonis 3.36).

Pilliroost tarindite tulekindlust saab suurendada ka savikrohvi kasutades. Eriti sobiv on savikrohvi paigaldada roomattidele (ka roost konstruktsioonidele).

Savikrohvi on kinnitatud tuleohutusala sertifikaat 1032/01 (väljastaja TÜV Nord Baltic OÜ, 12.04.2001). Vastavalt normile EVS 620-10: 1998 „Tuleohutus. Ehitiste ja tarindite pinnakihi. Tuleohtlikkuse määramine” kuulub savikrohvi pinnakiht paksusega 10 mm süttivus tundlikkuse/ tule leviku ja suitsutekitamise järgi kõrgeimasse klassi V1/I. Toodet saab seega kasutada hoone tuleohutuse suurendamiseks kattes tuleohtlikumad tarindid ja materjalid vähemalt 10 mm paksuse krohvikihiga. (Savikrohv... 2007)

EMÜ maaehituse osakonnas tehti 2007 aastal savikrohvi kaetud pillirooplaatide tule-tundlikkuse katse (Kuus 2007). Üks katse kestis 15 minutit. Katsetes paiknes katsekeha põleti leegi suhtes 45° nurga all (joonis 3.37). Esimese ja teise katse käigus uuriti ühelt poolt savikrohvi kaetud pillirooplaati, mille kõrte asetus oli nii pikki plaadi kallet kui ka risti kallet. Kolmandas katses uuriti mõlemalt poolt savikrohvitud pillirooplaati, kus pilliroo kõrred olid plaadi kaldega risti. Savikrohvi paksus plaatidel oli ca 5–15 mm. Süütamiseks kasutati Rothenbergeri Rofire Piezo gaasipõletit (joonis 3.37). Kasutatud gaas sisaldas 35% propaani ja 65% butaani. Katse alguses reguleeriti põleti leek stabiilseks. Katse tulemused on toodud tabelis 3.2.

**Tabel 3.2.** Katsekehade söestunud alade sügavus ja läbimõõt (Kuus 2007)

Katse kirjeldus	Katse nr	Söestunud ala sügavus mm	Söestunud ala läbimõõt mm
Vertikaalsuunaliste kõrtega rooplaat ja savikrohv ühel pool	1	37	130
	2	33	112
	3	35	120
Horisontaalsuunaliste kõrtega rooplaat ja savikrohv ühel pool	1	30	104
	2	32	112
	3	32	114
Horisontaalsuunaliste kõrtega rooplaat ja savikrohv mõlemal plaadi poolel	1	27	82
	2	25	80
	3	28	95

Katse 1 käigus rooplaat ei süttinud 15 minuti jooksul. Märgatav oli krohvikihi kerge pragunemine leegi mõjumise kohal. Viie minutise põletamise järel hakkas piki kallet paik-

nevate rookõrte ülemistest otstest nõrka suitsu tulema, mis näitas, et õhk õõnsates rookõrtes hakkas liikuma ja soodustas pilliroo söestumist. Söestumise tugevust mõjutas asjaolu, et plaadi tagumine pool oli krohvimata ja õhu juurdepääs plaadile toimus ka sealtkaudu. Pärast 15 minutit kestnud põletamist, oli katsekeha tagaküljel näha nõrgalt söestunud rooala. Katsekeha tagumine külg on joonisel 3.38.



**Joonis 3.37.** Katsekehale suunatud gaasipõleti leek (foto K. Kuus)



**Joonis 3.38.** Katsekeha 1 tagakülg pärast 15 minutit kestnud katset (foto: K. Kuus)

Kolmandas katses oli katsekeha mõlemalt poolt savikrohviga kaetud. Katse kestis 15 minutit. Katse ajal oli näha, et suitsu tekkis vähem, mis tulenes sellest, et plaat oli mõlemalt poolt krohvitud ja õhu ligipääs roole plaadi tagaküljelt oli takistatud.

Pärast katset lõigati katsekehad leegi rakendamise kohalt pooleks. Mõõdeti söestunud ala sügavus ja läbimõõt. Fotod katsekehadest on toodud joonistel 3.39 ja 3.40. Fotodel on näha ka rooplaati katva savikrohvikihi ebaühtlane paksus. Söestunud alade sügavused ja läbimõõdud on esitatud tabelis 3.2.



**Joonis 3.39.** Ühelt poolt krohvitud katsekeha ristlõige (foto: K. Kuus)



**Joonis 3.40.** Kahelt poolt krohvitud katsekeha ristlõige (foto: K. Kuus)

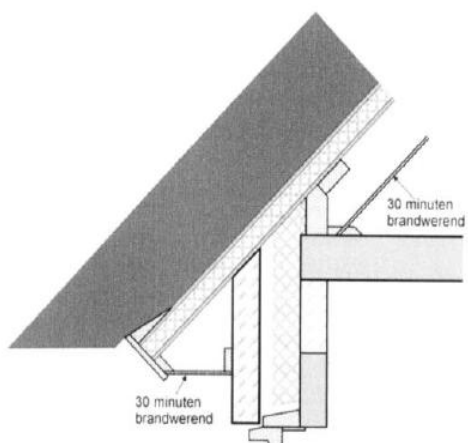


Silmaga nähtav erinevus on ühelt või kahelt poolt krohvitud rooplaatide söestunud alade sügavuse vahel (joonised 3.39 ja 3.40). Kahelt poolt krohvitud rooplaadi söestunud ala on väiksem. Kuna tavaliselt krohvitakse rooplaati kahes kihis – aluskiht ja viimistluskiht – ning kogu krohvikihi paksus on vähemalt 20 mm, siis seinas oleva pillirooplaadi tulepüsivus on tegelikult parem, kui katses saadud tulemused näitavad. Kokkuvõtteks võib öelda, et pillirooplaad tuleks seinaga paigaldada nii, et rookõrte suund on horisontaalne. Kui roogkatusega hoonetes hoitakse suure põlemiskoormusega masinaid ja materjale, peavad vahe- ja katuslaed olema tulepüsivuse klassiga EI 60 (ET–2 0506–0676).

Eestis kehtib ka EE-EP 1464 772 B1, mis on Euroopas heakskiidetud patent nr EP 1 464 772 [Int, Cl. E04D 9/00 (2006.01)]: Katusekonstruktsioon ja meetod roogkatuse katusekonstruktsiooni paigaldamiseks. Patendi omanikud on E.B. Pedersen ja C.F. Christiansen Taanist.

Meetod käsitleb roogkatuse servaalade – viilude otste, räästa ja harja kaitset kahjutule korral. Selleks kasutatakse ainult pilliroost katusekonstruktsiooni äärtesse (mis on kõige süttimisohtlikumad) paigaldatud kivivilla plaate. Sellist meetodit kasutades ei ole roogkatuse alumine pind kogu ulatuses õhutiheda materjaliga kaetud, mis tagab rookihi parema kuivamise.

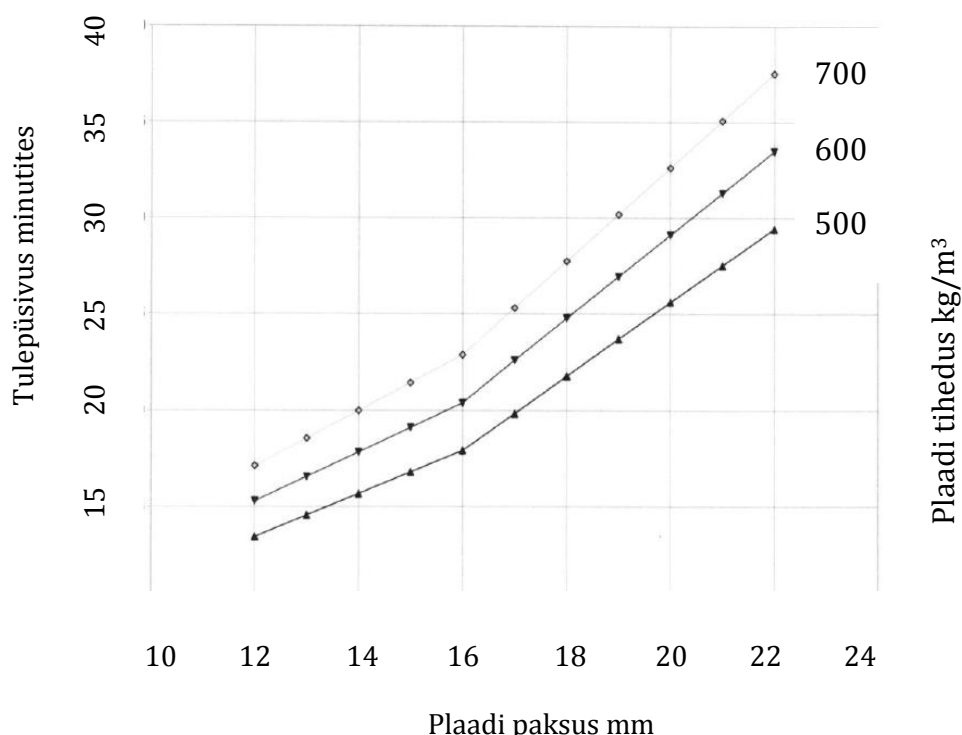
Pilliroogkatuseid ehitatakse järjest enam ja seetõttu on muutunud aktuaalseks katusekatte allpool asuvate kandekonstruktsioonide tulepüsivusega seotud probleemid. Teatud tingimustel (nt kuivaperiood) võivad roogkatused süttida võrdlemisi kergesti ning et roo põlemistemperatuur on väga kõrge ja põlemisel lendavad ka sädemed, muudab see roogkatuse ehitamise tiheasustusega alal keeruliseks (Madalik 2007). Roogkatuste tuleohutusega seonduvat ongi rohkem uuritud riikides, kus selliseid katuseid on suhteliselt palju, nagu näiteks Hollandis, Taanis ja Inglismaal. Joonisel 3.41 on esitatud veel üks võimalik roogkatuse skemaatiline lahendus, mille konstruktsioonide tulepüsivus on 30 minutit.



Katusekonstruktsiooni tulekindluse suurendamiseks on paigaldatud räästa aluse katteks katuslae ja vahelaie ning katusekonstruktsiooni vahele puitlaastplaat, mis tagab 30-minutilise tulepüsivuse. Graafikult joonisel 3.42 näeme, kuidas ehitusplaadi paksus ja tihedus mõjutavad tulepüsivust.

**Joonis 3.41.** Räästasõlme ja katusekonstruktsiooni skeem 30-minutise tulepüsivuse saavutamiseks (Brandveilige ... 2010:13)

Sarikate kaitseks on nende alla paigaldatud 30 minutise tulepüsivusklassiga puitplaat ja sama plaadiga on kaitstud ka räasta-alune.



**Joonis 3.42.** Puitlaastplaatide tulepüsivus sõltuvalt plaadi tihedusest ja paksusest (Brandveilige ... 2010:20)

Jooniselt 3.42 näeme, et 30 minutise tulepüsivuse saavutamiseks tuleb kasutada vähemalt 19 mm paksust ehitusplaati, tihedusega 700 kg/m³.

Enne roogkatuse ehitama hakkamist on soovitatav vaadata järgnevat viidet internetis, (<https://amillionminds.covide.nl/cmsfile/20494>).

Viidatud lehel on palju konstruktsiooniosade jooniseid just tuleohutust silmas pidades.

Ehitusplaatide paigaldamine aluskonstruktsioonide kaitseks otse roovitise peale tähendab aga, et katusel olev pilliroog ei kuiva enam kahele poole välja, sest altpoolt katab seda õhku mitteläbilaskev materjal.

Turu Tehnikakõrgkooli poolt korraldatud roogkatuste põletamise katse samas tõestas, et altpoolt kaitstud katusekonstruktsioon peab tulekahju ajal kauem vastu. Hoone tuleohutuse tõestamine on Soomes pilliroost katusega elamule ehitusloa saamisel oluline faktor (Lautkankare 2013).

Roogkatuste ehitamisel põletamise katseks jälgiti kõiki katuseehituse reegleid. Katuse kalle oli 45° kraadi ja katusetahu mõõdud olid 4 x 3 m. Katusetahu pikitelg oli ida-lääne suunaline (joonis 3.43).

Katuste konstruktsioonid olid:

- **katust 1:** 250 mm roogu, 12 mm vineeri, sarikad 50 x 100 mm samm 600 mm;

- **katus 2:** 250 mm roogu, roovitus 50 x 50 mm, samm 350 mm, katusesarikad 50 x 100 mm, samm 600 mm ja sarikate vahel 100 mm mineraalvilla, kõige all ehituspaber;
- **katus 3:** 250 mm roogu, roovitus 50 x 50 mm, samm 350 mm, klaaskiud kangas Sepatec sarikate peal, katusesarikad 50 x 100 mm, samm 600 mm, sarikate vahel Isover klaasvilla 100 mm, kõige all aurutõkkekile 0,2 mm.



**Joonis 3.43.** Roogkatuste ehitamine põletamise katseks Soomes (R. Lautkankare 2013)

Põletamise katse viidi läbi 07.03.2013 päeval ajal. Väljas oli 5 kraadi külma, päike paistis ja puhus suhteliselt tugev puhanguline põhjatuul. Kõik katused süüdati üheaegselt räästa keskkohast. Süütamiseks kasutati gaasipõletit.

Katse käik:

- umbes 10 minutiga oli kõigil katustel pool katusepinnast leekides;
- 13 minutiga olid katuste 2 ja 3 rooga kaetud pinnad tervenisti tules;
- 18 minuti jooksul oli täiesti maatasa põlenud katus 2;
- 24 minuti pärast hakati katust 1 kustutama. Katuse vasem pool oli selleks ajaks põlenud (joonis 3.44 b);
- 35 minuti pärast oli katus 3 maha põlenud. Klaaskiud kangas jäi terveks, ainult kahes kohas oli u 10 x 10 cm auk.

### **Tähelepanekud katuse kustutustöödel** (Lautkankare 2013)

1. Nii tuulise ilmaga nagu katsepäeval, oli kuumuskiirgus (joonis 3.44) tuulepoolses küljes 4 m kaugusel põlengust tunda isegi siis, kui leegid jäid madalaks. Sel kaugusel oli võimalik veel seista. Arvesse tuleb aga võtta, et katuse pind oli väike ja tuul oli enamasti tugev.

2. Tuul takistas kustutustööd märgatavalt. Kuigi rookiht ei põlenud väga intensiivselt ja veega suudeti tuli kohati summutada, süttis roog tuuleilide tulles uuesti.



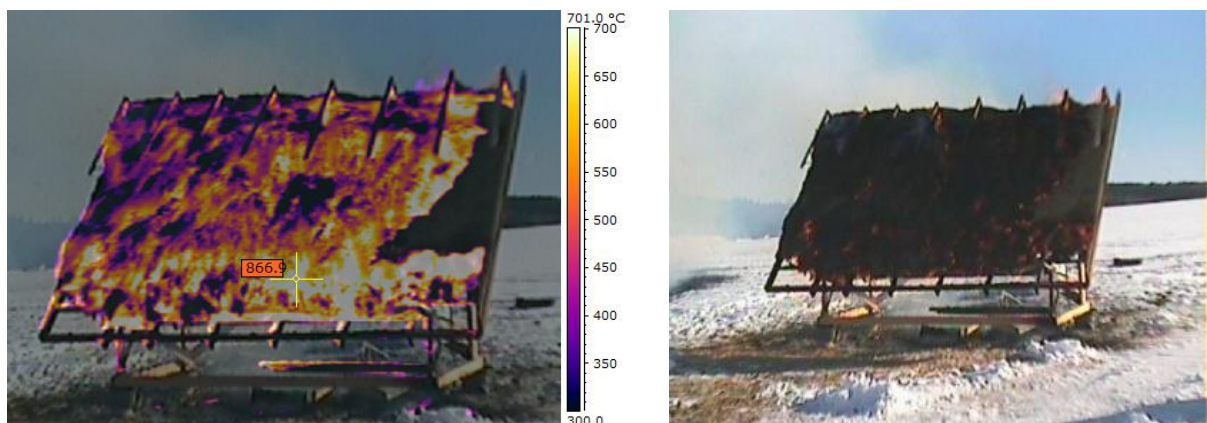
3. Kustutustööde efektiivsust silmas pidades peaksid kustutajad roo katusele pikkade harkidega maha kiskuma ja hoonest eemale lükkama. Korraldatud katse ajal põlevat roogu katusele alla ei tõmmatud, vaid konstruktsioonil lasti lõpuni põleda.

4. Kustutusvesi on suur kahjutekitaja nii tulest puutumata jäänud konstruktsioonidele kui ka hoones olevale varale. Tugeva surve all olev vesi tungib sügavale ja kastab sel moel kõik märjaks. Seetõttu oleks mõistlik lisada rookihi alla vettpeidav ja põlengut aeglustav aluskate. See võib siseruumi veekahjustustest isegi päästa.

5. Kõige kauem pidas tulele vastu Sepateci kangaga kaitstud katusekonstruktsioon.

a) Soojuskaameraga katusest 1 võetud foto, temperatuur räästapiirkonnas on ligi 1000 °C

b) Mahapõlenud katus 1



**Joonis 3.44. Põletuskatse tulemused** (fotod: R. Lautkankare)

Erinevates riikides on roogkatuste tuleohutust käsitledes pööratud tähelepanu erinevatele aspektidele.

Inglismaal Devoni krahvkonnas on roogkatuste tuleohutust käsitlevates soovituslikes kirjades, et sädemepüüdja, mida varem peeti väga vajalikuks, on osutunud pigem õnnetuste põhjustajaks, kuna ummistunud seadmest ei ole abi. Palju tuleõnnetusi põhjustavad ka elektripaigaldised. Suitsuanduri paigaldamine harja alla on Devoni krahvkonnas Inglismaal kohustuslik (devon ... 2013:12).

Väljaehitatud katusealustes eluruumides õhulekke kohtade leidmiseks soovitatakse kasutada infrapunakaamerat ja *blowerdoor* testi. Sedakaudu nähakse ära õhulekke kohad ja seega ka potentsiaalsed tule leviku kohad katusele siseruumidesse. (Brandveilige... 2010:18)

Pilliroost katustega hoonete võimaliku süttimise puhuks on Hollandis ja Taanis kehtestatud nõue, et katuse ehitamise skeem peab olema nähtaval. Kuna roogkatuse ehitamiseks on mitmeid võimalusi, siis ka selle kiiremaks lammutamiseks tulekahju ajal on välja töötatud erinevad võtted, mis sõltuvad konstruktsiooni eripäradest (Madalik 2007).

Lisaks kandekonstruktsioonide kaitsmisele tuleb mõelda ka harja ja korstnaümbruse tulekindluse suurendamisele.

Väga oluline on, et korstna- ja kaminalõõrid, mis suitsu tõttu kuumenevad, oleksid ehitatud ja isoleeritud korralikult. Telliskorstna seinad peavad olema vähemalt ühe tellise

paksused. Kui sein on poole tellise paksune, peab korstnalõõr olema kaetud lisaks kaitsva toruga. Kohas, kus korsten katust läbib ning sisenemispunktist 50 sentimeetri allapoole, peab korsten olema kaetud vähemalt 3 sentimeetri paksuse krohvikihiga või isoleeritud soojusisolatsioonimaterjaliga. Kerge metallkorsten tuleb isoleerida, nii et see ei puutuks otseselt kokku rooga. Korstna otsa tuleb paigaldada sädemepüüdja. (Madalik 2007).

Kuna Inglismaal on leitud, et hooldamata sädemepüüdja on pigem õnnetuste põhjustaja kui nende ärahoidja, siis tuleks paigaldatud sädemepüüdjat kindlasti korrapäraselt puhastada.

Inglismaal on ka märgatud, et tahkekütust kasutavad ahjud põhjustavad roogkatusega majas sageli tulekahjusid. Seal on kuni mõnisada tulekahju aastas, mis ei ole mitte sädemetest või korstna põlengust süttinud. Tulekahju süütajaks on olnud korstnas liikuv kuum õhk temperatuuriga 250 °C kuni 350 °C, mis kuumutab roogkatuse korstna kõrval süttimistemperatuurini (125 °C). Kirjeldatud olukorra vältimiseks soovitatakse ehitada kahekihilise isoleeritud metallkorstna ümber veel tellistest laotud korsten, milles jäetakse õhkvahe metall- ja kivikorstna vahele. (Changes to AD J 2010:10)

Mitte mingil juhul ei tohiks kasutada metallist moodulkorstnat ilma täiendava tuleohutust suurendava kihita.

Roogkatuste tuleohutust käsitletud uurijad (Madalik, Lautkankare, Brandveilige... jt) on üsna ühesugusel arvamusel paljude tulekaitse meetmete osas.

Kuna tule kiire leviku põhjuseks on sageli õhu ligipääs pilliroole, on mõistlik seda takistada. Selleks võib:

- 1) töödelda roogu tulekindluse suurendamiseks vastavate immutusvahenditega;
- 2) paigaldada tulepüsiv aluskate (klaaskiudriie, ehitusplaat, savi- või lubikrohv), mis oluliselt vähendab õhu juurdepääsu rookihile altpoolt ja mille tõttu tuli levib aeglasemalt ja summutatumalt;
- 3) kasutada Sepateci tuleohutussüsteemi (Rookatuste ... ET0506);
- 4) kaitsta katuse kandekonstruktsiooni serva-alasid (kuni 1 m laiuses) roovide vahele paigaldatud mineraalvillaga (Rookatuste ... ET0506), (EE-EP 1464 772 B1);
- 5) Kasutada roogkatuse sisse paigaldatud kustutussüsteemi (Brandveilige ... 2010).

Esimeseks ja kõige lihtsamaks võimaluseks on immutada valmis roogkatust spetsiaalse vedelikuga, mis vähendab katematerjali süttimise ohtu. Immutusvedelikku pritsitakse kõrgsurvepumbaga rookõrte peale ja vahele, et ta imenduks võimalikult sügavale. Selliseid immutusvedelikke toodetakse peamiselt Hollandis. Need on tervise ja keskkonna jaoks ohutud ning nad ei muuda katuse värvi. Sertifitseeritud toodete nimekirja kuuluvad näiteks K. Vaartese toodetav Pyrobreak, Qchemi Pyronova ning Magma Firestop SG - 2H. Immutus on aga suhteliselt kulukas ning iga 3–5 aasta tagant tuleb roogu uuesti töödelda, sest kaitsekiht kulub ilmastiku mõjul. Uuritud ei ole ka immutusvedelike mõju katuse eluea pikkusele. Immutusmeetodi kasutamine on levinud Hollandis, Saksamaal ja Inglismaal. Eestis on võimalik osta ja kasutada Saksamaal toodetud puidu kaitsmiseks mõeldud vahendit Holz Prof, mis kuulub samuti sertifitseeritud ainete nimekirja, on aga nt Magma Firestop'ist odavam.

Teiseks võimaluseks on ehitada katus nii, et selle süttimise korral on õhu juurdepääs katusel olevale roole altpoolt takistatud. Uuringud on näidanud, et põlemise intensiivsus on sellisel juhul palju väiksem, temperatuurid on madalamad ning on võimalik seista põlevast katusest paari meetri kaugusel, mis ei oleks võimalik siis, kui katus oleks altpoolt kaitsmata ja avatud (Madalik 2007).

Taanis on roogkatuseid altpoolt juba pikka aega kaitstud kivivilla ja tulekindlat krohvi kasutades. Lahenduse on välja töötanud Rockwool ja Danogips.

Viimastel aastatel on traditsiooniline puitroovitis asendatud OSB-plaatidega ning pilliroog kinnitatakse neile spetsiaalsete kruvidega, mille küljes on traadid rookahlude sidumiseks.

Paraku ei sobi selline meetod kasutamiseks hoonetes, kus on vaja säilitada ehitise traditsiooniline välimus (muuseumid, restaureerimisprojektid jne).

Kolmandaks võimaluseks on kaitsta hoonet Taanis kasutusele võetud niinimetatud Sepatec-meetodil. Sarikad kaetakse sel juhul pealtpoolt kangaga, mis laseb õhku altpoolt katuseroole ligi, kuid tõkestab tulekahju korral õhuliikumise. Seega ei tohiks selline ehitusmeetod katuse eluiga lühendada. Hoolikas tuleb olla klaaskiust kanga paigaldamisel. Taani tuletõrjemeeti ja Tulekaitsetehnika Instituudi korraldatud katsed on näidanud, et kui Sepateci kangaga kaitstud hoones peaks puhkema tulekahju, võivad tuletõrjujad tule kustutamiseks seista põlengust paari meetri kaugusel ja 30 minutit kestnud tulekahju järel ei ole sarikad süttinud. Kuna kangas ei ole väga kallis ning seda pole vaja ka kulumise tõttu vahetada, on see meetod immutamismeetodi või tulekindla krohvi kasutamisega võrreldes odavam (Madalik 2007).

Neljandaks soovitatakse mitmeid lahendusi, kus roovitise vahele paigaldatakse mineraalvill või kivivill, aluskonstruksiooni süttimise takistamiseks. Meetodit kirjeldatakse patendis EE-EP 1464 772 B1 ja ET 0506-0676 Rookatuste tuleohutusest.

Viiendaks kasutatakse nt Hollandis roogkatuste kaitseks Rupaco BV poolt väljatöötatud automaatset tulekustutussüsteemi. Roogkatuse sisse ehitatakse veetorustik ning pihustid ja suitsuandurid paigaldatakse kogu katuse ulatuses. Katuse süttimisel (nt korstnast lendavast sädemest või ilutulestikuraketist) süsteem rakendub ja tuli kustutatakse koheselt. (Rupaco ... 2007). Sprinkleri tulekustutussüsteem paigaldatakse enamasti ainult harjale.

Kokkuvõtteks võib öelda, et tuleohutuse seisukohast vaadates on õlg- ja roogkatused väga tuleohtlikud ning nõuavad seetõttu erilist tähelepanu ka olemasoleva hoone hooldamisel. Jälgida tuleb, et:

- pööningul ei oleks tugevat tuuletõmmet;
- pööning oleks puhas (nt kasutamata kõrred ja nende puru tuleb koristada ja sama kehtib ka kõikvõimaliku muu kolu kohta, mida sageli pööningule tassitakse);
- regulaarselt kontrollitaks korstnajalgade ja elektripaigaldise seisundit;
- pööningule oleks paigaldatud suitsuandur;
- pööningule oleks ligipääs;
- katusele paigaldatud roog oleks õisikuteta;
- korstna otsas oleks sädemepüüdja (Mätas-, ... 2013.08.12:5).



### 3.1.4. KATUSTE SAMMALDUMINE JA OHUD PILLIROOST KONSTRUKTSIOONIDES HALLITUSE TEKKEKS

Karel Lilleste, Meeli Kams EMÜ maaehituse osakond

Pillirookatuse kestvus sõltub ehitamise kvaliteedist ja katuse hooldamisest. Paljudel katustel hakkab juba mõne aasta möödudes kasvama sammal või arenema vetikad. Kui olete oma maja katuse seisundist huvitatud, siis soovitame – eemaldage katuselt sammal kohe, kui olete selle tekkimist märganud. On väga oluline, et roogkatuse oleks kogu aeg võimalikult kuiv. Sambla või vetikate tekkimine katusele näitab, et katuse pealmine pind on liiga niiske. Sammalt saab eemaldada kasutades kemikaale või katust käsitsi puhastades. Katuse puhastamine pikendab selle eluiga ja parandab ka hoone välisilmet. Käsitsi puhastades on võimalik eemaldada ainult sammalt, aga ka koorida maha juba kahjustada saanud rookiht. Allesjäänud rookiht kuivab igal juhul kiiremini ja selle hävimine liigniiskuse tõttu peatub (demossing-thatched ... 2013).

Katusel oleva pilliroo töötlemiseks erinevate kemikaalidega sammaldumise takistamiseks on välja pakutud palju variante.

Katust on võimalik pritsida erinevate segudega ja seda soovitatakse teha vähemalt kaks korda aastas, kevadel ja sügisel. Üks pakutud segudest on välja töötatud pikaajalisel katuse-eksituse meetodil. Kuivsegu on valmistatud vase baasil ja selle täpset koostist ei avaldata. Segu töötati välja lähtudes tähelepanekust, et vasktraatidelt roogkatusele kukuvad veetilgad kaitsesid roogu sammaldumise eest. Teisi soovitatud tõrjevahendeid oleks küll võimalik kodustes tingimustes ise kokku segada, aga täpne protsentuaalne koostis netiallikas puudub. Soovitatakse kasutada kas söögisoodat või siis vesinikperoksiidi (tavaliine juuksevalgendaja) ja vett. Roogkatust soovitatakse pritsida sambla tõrjeks niiske ilmaga. Vase mõju sammaldumise vähenemisele on märgatud mujalgi ja hakatud katusele kinnitama lihtsalt vaskplekist ribasid (<http://thatch.org/moss.htm>).

#### Huvitav fakt

Selworthy's Põhja-Somersetis Inglismaal asuva hoone (the National Trust Shop) roogkatusel leiti kasvamas rohkem kui 3000 erinevat taimeliiki, mis on suurim teadaolev leitud liikide arv roogkatusel üle kogu maailma. (<http://www.telegraph.co.uk/earth/earthnews/8067546/Rare-moss-in-danger-as-affluent-owners-of-thatch-houses-prefer-perfect-roofs.html>)

Hiss Reet kui väga põhjalikult roogkatuste hooldust käsitlev interneti allikas nendib samuti, et mida vähem on katusel sammalt, seda pikem on tema eluiga. Kuigi katuse sammaldumise vältimiseks on välja töötatud palju erinevate kemikaalide segusid, puuduvad nende efektiivsuse kohta teaduslikult tõestatud kinnitused. Sellele vaatamata reklaamivad tootjad oma toodangut kui parimat (Hiss Reet 2013).

Looduse seisukohast lähtudes soovitatakse kasutada neljakomponendilisi (quaternary ammonium compounds – quats) lämmastiku baasil segusid, mis pritsitakse katusele survepritsiga. Nimetatud segudes ei ole lenduvaid ühendeid. Piisav kogus on 1 l/m<sup>2</sup>. Pritsimiseks tuleb valida sobiv ilm – õhutemperatuur peaks olema 15 °C ringis ja õhk niiske. Selliste tingimuste korral on sammaltaimede kasv kõige intensiivsem ja taimed

imavad katusele pritsitud tõrjevahendi endasse. Kui ilm on pritsimise ajal liiga kuiv, tuleb katust pritsimise järel vähemalt poole tunni jooksul niiskena hoida. Kontrollida tuleb ka pritsimisanuma puhtust. Kui sellega on nt pritsitud eelnevalt seepi sisaldavat lahust, siis soovitatud segu (quats) reageerib seebi jääkidega ja kaotab oma toime. (Hiss Reet in cooperation with Henk Horlins, Vakfederatie Rietdekkers NL, [www.riet.com](http://www.riet.com))

Washington Toxic Coalisation (USA) märgib: selle asemel, et hakata katust samblast puhastama, võiks rakendada ennetavaid meetmeid. Erinevalt Inglismaast soovitatakse siin katusekatte kaitseks paigaldada vaskplekist ribad asemel tsinkplekk-ribad. Tsingitud plekiribade paigaldamine on abiks aga ainult siis, kui eelnevalt on katus samblast täiesti puhtaks saadud. Kuna tsink (niisamuti ka vask) on mürgised veeloomadele ja ka taimele, siis ei soovitata katusele valgunud vett kasutada nt aia kastmiseks või seda otse sadevete äravoolu süsteemi juhtida. Soovitatakse ka puud majast piisavalt kaugele istutada või vähemalt maja kohale ulatuvad oksad maha saagida. Katuse puhastamine orgaanikast on iseenesest mõistetav tegevus ja katusekatte kahjustamise vältimiseks soovitatakse kasutada rämpsütle eemaldamiseks puhurit, mille abil meilgi sügisel lehti koristatakse. Katusekatte seisundit tuleb hoolikalt jälgida ja samblalaikude ilmumise järel neid koheselt tõrjevahendiga pritsida. Kui katus on kord puhtaks saadud nõ „kanget keemiat“ kasutades, siis on seda hiljem võimalik puhastada nt kaaliumisoolalahust (seep) kasutades. (<http://watoxics.org/files/moss.pdf>)

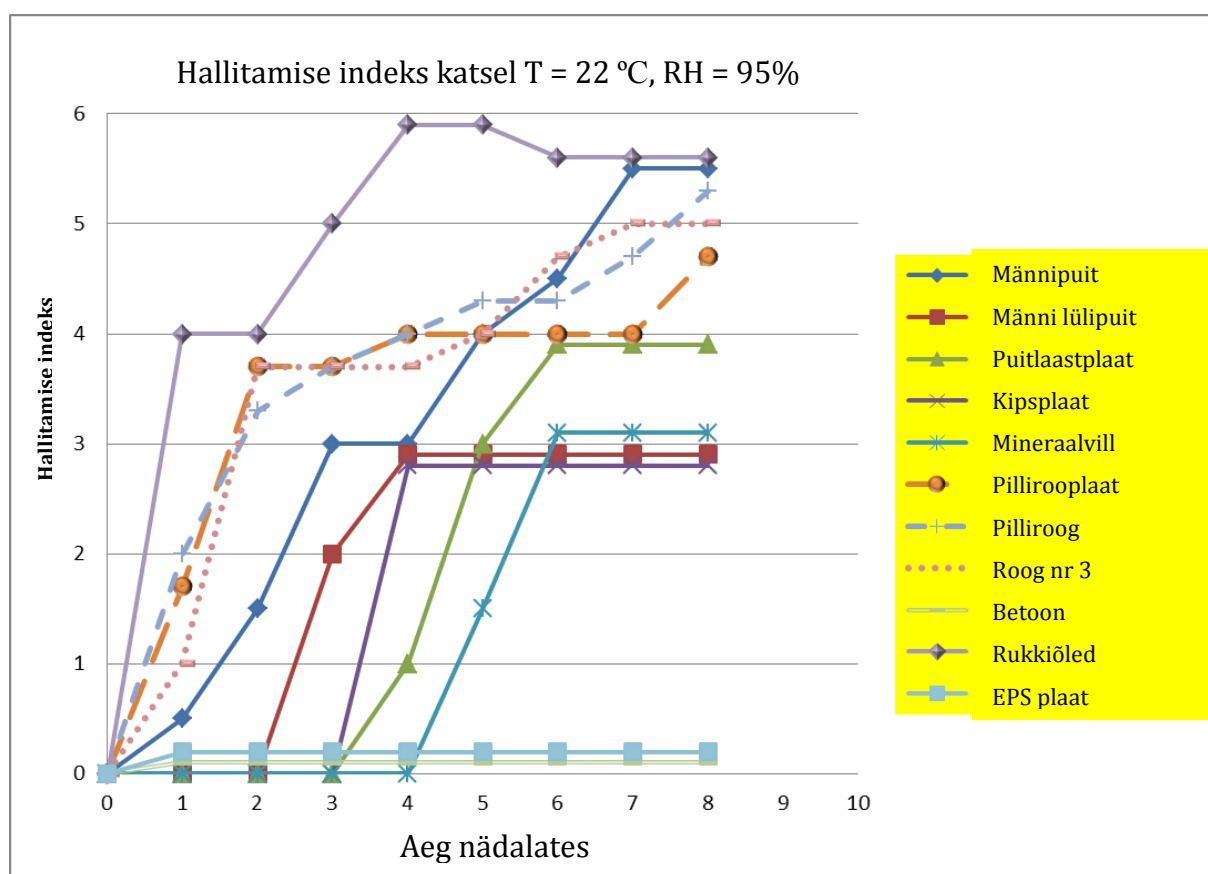
Ka Eestis uuriti roogkatuste kulumist/sammaldumist ja leiti, et põhja- ja läänesuunas orienteeritud katusetahud kuluvad kiiremini ja on ka rohkem samblaga kaetud, kui lõuna- ja idasuunda avanevad katusetahud. Kulumiskiiruse erinevus oli kohati kuni 2 mm aastas. Kogu kulumist aastate jooksul ei usaldatud täpselt hinnata, sest katusel oleva rookihi algpaksust ei olnud keegi väga täpselt mõõtnud ja omanike andmed olid lihtsalt hinnangud (K. Lilleste 2012).

Roogkatuste seisundit väljastpoolt on hinnatud ja uuritud, aga katuseroo seisundit mõjutab ka hoone sisekliima ja õhu liikumine ruumides sees. Hallitussente tekkimiseks ja kasvuks on optimaalne temperatuur 20–30 °C ja suhteline õhuniiskus substraadi läheduses 90–100 % (Pilt 2008) või ruumi siseõhus üle 60% (Seppänen, O., Seppänen M. 1998). Kuna Lääne-Eesti saartel on palju pillirookatustega elamuid ja suve ajal on mandri-inimestel soov saartel puhata ja aega veeta, siis on sealsetes taludes hakatud pööninguid suveruumideks ringi ehitama. Seoses pööningute kasutuselevõttuga uurisid Eesti Maaülikooli maaehituse osakonna töötajad pillirookatusega kaetud elamute pööningute temperatuuri- ja niiskuse režiimi. Töö eesmärk oli välja selgitada, kas õhu liikumise vähenemine räästapilude ja unkaaukude sulgemise tõttu muudab pööninguõhu sedavõrd niiskeks ja soojaks, et tekib soodne keskkond hallitussente arenguks. Katse käigus mõõdeti kaheksa talu pööningutel temperatuuri ja suhtelist õhuniiskust ning võeti ka pööningupoolsest katusest pillirooproovid, milles määrati veesisaldus.

Võrreldes mõõdetud temperatuure ja õhu niiskusesisaldust enne ja pärast räästapilude ja unkaaukude sulgemist pööningutel leiti, et isegi suvel, kui keskmised temperatuurid väljas olid kõrged, ei muutunud pööninguõhk nii soojaks ja niiskeks, et oleks tekkinud oht pilliroo hallitamiseks. Hallituse tekkinud ohtu ei esinenud ka talvel, kui pööningutel üldiselt oli jahe. Roo veesisaldus oli vahemikus 8,6–14,9%. Hallitussente ja bakterite

arenguks soodne keskkond tekib siis, kui orgaanilise aine veesisaldus ületab 20% (Hiss Reet 2013.06.15.). Seega võib kinnitada, et Eesti kliimaoludes ei ole roogkatuse aluse ruumi pidev tuulutamine hädavajalik (K. Lilleste 2013).

Soomes on materjalide hallitamise teemaga tegeletud juba pikemat aega (Viitanen 1996, 2004). Cofreen projekti raames korraldati Turu Rakenduskõrgkoolis katse selleks, et võrrelda erinevate ehitusmaterjalide, sealhulgas ka pilliroo, hallituskindlust. Katse käigus hoiti ehitusmaterjale (ka naturaalseid) kliimakambris, kus temperatuur oli 22 °C ja õhu niiskusesisaldus oli RH = 90–95%. Katse kestis kokku 8 nädalat ja kord nädalas võeti katsekehad kliimakambrist välja ja hinnati nende pinnale tekkinud hallitusekihi olemasolu 7 palli süsteemis. Hinne 0 tähendas hallituse puudumist ja hinne 6 tähendas, et katsekeha pind oli vähemalt 90% ulatuses hallitusega kaetud. Katse tulemused on esitatud joonisel 3.45 ja mõnede materjalide näidised, mida hinnati visuaalselt hallitamise indeksi määramiseks, kas läbi mikroskoobi või palja silmaga, on joonisel 3.46.

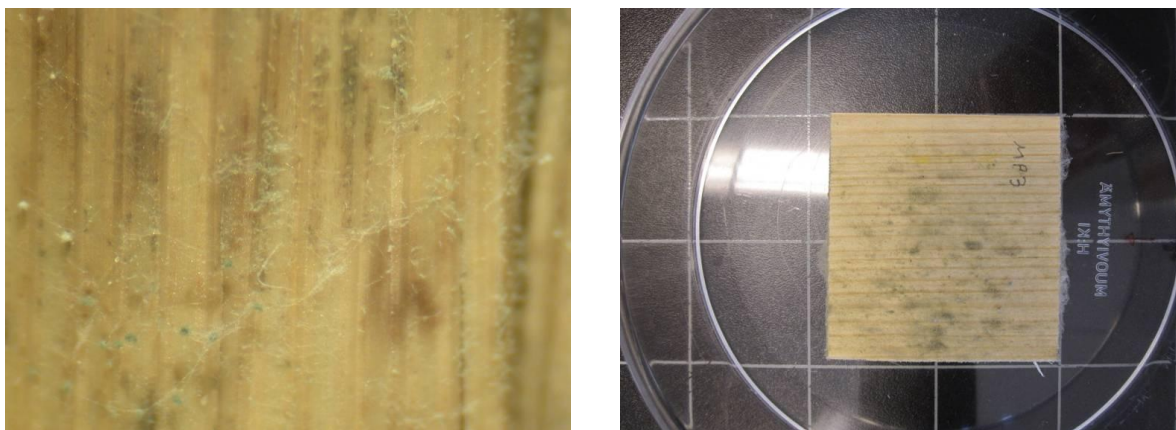


**Joonis 3.45.** Erinevate materjalide hallitamise indeksite muutus 8 nädalase katse jooksul (Lautkankare 2013)

Nagu üldiselt teada ja jooniselt 3.45 ka näha, on betoon ja EPS plaat hallitamiskindlad materjalid. Samas ei olnud vahet, missuguse pilliroost katsekehaga oli tegemist, nii ekstreemsetes tingimustes nagu katse ajal esinesid, hakkasid need kõik tugevasti hallitama. Rohkem kui pilliroog hallitasid männipuit ning rukkiõled ja veidike vähem hallitas puitlaastplaat. Kommentaariks tuleb lisada, et tavaoludes võivad sellised niiskustingimused



esineda kas lühiajaliselt (duši kasutamise järel) või siis, kui hoones on olnud veevarii või piire on valesti ehitatud (Lautkankare 2013).



**Joonis 3.46.** Vasemal on männipuidul näha olev hallitus pildistatuna läbi mikroskoobi, paremal palja silmaga nähtav hallitusekiht pillirooplaadist katsekehal (fotod: R. Lautkankare)

Hallituse tekke tingimusi on püütud ka matemaatiliselt modelleerida, ikka selleks, et paremini ennustada materjalide käitumist konstruktsioonides (T. Ojanen *et al* 2011). Katsetatud on kindlate omadustega tööstuslike materjalidega, aga ka puiduga ja tulemused on olnud täiuslikkusest kaugel. Läbiviidud katsete tulemusena on nenditud tõsiasja, et pikem kuiva ja külma periood peatab enamasti hallituse kasvu, aga mõnikord ei peata (Lähdesmäki *et al* 2011). Üks ja seesama materjal hallitab labori katses teisiti kui konstruktsioonis. Tuleb aru saada, et hallitus on elus organism ja kõik mudelid, mis püüavad tema käitumist ennustada on suurel määral lihtsustused (Johansson *et al* 2011).



**Joonis 3.47.** Õrn hallitusekiht hiljuti pillirooseinale paigaldatud savikrohvil (foto: J. Miljan)

Pilliroost seinale paigaldatud savikrohvist sisseviskekihile tekib enamasti niiskuse mõjul õrn hallitusekiht. Sellest ei maksa lasta end kohutada. Pärast kuivamist hallitus kaob ja pinna ülekrohvimise järel jääb sein puhtaks.

### 3.2. PILLIROOG SEINAMATERJALIKS

Jaani Miljan, Eesti Maaülikool maaehituse osakond

#### 3.2.1. PILLIROOPLAADID JA -MATID

Eestis hakati pillirooplaati tootma 1930. aastatel (Veski 1938). Tootmise innustuseks oli asjaolu, et 1800. aastate alguses ehitatud hoonete krohvitud seintes oli krohvimatina kasutatud pilliroog hästi säilinud ja hoidis krohvi tugevasti paigal.

Ajaloolased on leidnud Tallinna vanalinna majade renoveerimisel sajanditevanuseid pilliroost krohvi alusmatte nii puitseintelt kui -lagedelt. Korralikult lubikrohviga kaetuna on neid säilinud koguni keskajast, sealjuures ajahambast kahjustamata. (Sepp 2005).

A. Veski kirjutab: „Nüüd on osutunud võimalikuks aastaid kestnud katsetuste põhjal erilise pressi abil valmistada pilliroost isoleerplaate (roliiti), mis on soojusisoleerimise omadustelt peaaegu samaväärsed meile kalli raha eest sisse veetavate isoleerplaatidega.“ Rooplaati valmistati tollal 1–3 tolli paksusena ja selle tehnilised näitajad olid: mahumass 200–250 kg/m<sup>3</sup>, soojajuhtivus  $\lambda = 0,06-0,07$  kcal/mh °C, mahumuutus – puudub, kõdunemispüsiv, ajutine survetugevus 12–13 kg/cm<sup>2</sup> (Veski 1938).

Roliiti kasutati edukalt ka 1950–60. aastatel individuaalelamute välisseinte soojustamiseks. Seinte välispinnale naelutatud plaadid kaeti tavaliselt mitme sentimeetri paksuse lubikrohvi kihiga.

Rooplaati (austerlase Bergeri poolt leiutatud masinaga) ehk nn berger plaati toodeti Soomes Porvoos aastatel 1938–1944. Plaadi reklaamimiseks kirjutati: „Plaat on valmistatud jäätunud merelt lõigatud kuivast pilliroost. Rookõrred surutakse tugevasti üksteise vastu ja õmmeldakse traadiga kokku nii, et moodustub tihe ja jäik paneel. Plaatide isolatsiooniomadused (nii soojus- kui heliisolatsioon) on suurepärased ja neid võib kasutada nii puit-, tellis- kui ka kiviseintega hoonete soojustamiseks. Materjal kõlbab ka anumate (boilerite) isoleerimiseks“. (Häkkinen 2007:64)

Kõik eeltoodu sobib pillirooplaatide omaduste kirjeldamiseks ka tänapäeval.

Rooplaati ehk roliiti saab valmistada ka käsitsi sidumisraami kasutades (joonis 3.48).



**Joonis 3.48.** Sidumisraam rooplaatide ja -mattide valmistamiseks käsitsi (fotod: vasemal M. Miljan ja paremal S. Sooster)

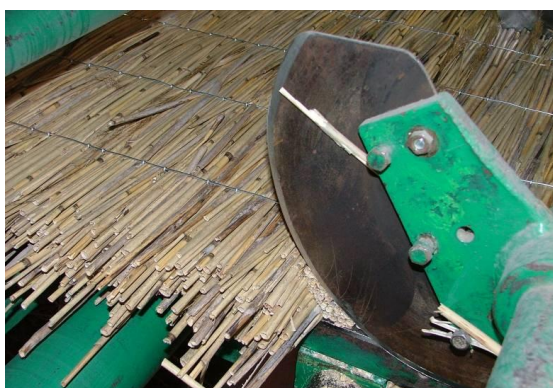


Selleks valitakse välja ühtlase paksusega pikemad rookõrred, mis surutakse üksteise kõrvale. Kui raamivahe saab täis, siis pingutatakse raami puud pitsituskruididega kokku. Plaat seotakse ühendades mõlemal pool plaati olevad tsingitud traadid samast materjalist aasadega. Plaadi servad lõigatakse sirgeks saega.

Berger plaatide tegemisel kasutatakse jooksvat lindil liikuvate rookõrte kokkusurumiseks mehhaanilist pressi (joonis 3.49). Kõrred on laotatud risti liikuva lindiga ja lõigatakse ühepikkuseks paralleelselt lindiga töötavate nugadega (joonis 3.50).



**Joonis 3.49.** Berger plaate valmistav masin (foto: J. Miljan)



**Joonis 3.50.** Berger plaadi servade lõikamine (foto: M. Miljan)

Berger plaat on jäigem, kui käsitsi seotud plaat. Plaadi paksus on 2,5 ja 5 cm ja laius 60 cm, tavapärase pikkuse on 2 m. Valmistada saab erineva pikkusega plaate vastavalt tellija soovile.



2012. aastal osteti Hiiumaale rooplaatide valmistamiseks Hiinas toodetud masin (joonis 3.51), mis võimaldab roogu paremini ära kasutada ja teha samuti nii pikka plaati, kui tellija soovib ning muuta ka plaadi tihedust ja paksust. Plaadi muud mõõdud on: laius 98 cm ja paksus 2,5–6,5 cm. Masina tootlikkus on ca 60 m<sup>2</sup> rooplaati tööpäevas.



**Joonis 3.51.** Hiinas toodetud rooplaatide tegemise masin. Näha on tihedamalt seotud ots ja plaadi lõikamiseks mõeldud ketassaag (foto: M. Miljan)

Plaadi ühel pool on rookõrred plaadi pikiservaga risti ja teisel pool paiknevad kõrred pikiserva suhtes nii diagonaalselt kui kohati ka paralleelselt. Plaat nõelutakse kokku plastmassnõoriga. Servades on nõör tihedamalt ja plaadi keskel hõredamalt. Plaati alustades või lõpetades on sidumine tihedam, et otsad hargnema ei hakkaks (joonis 3.51). Joonistel 3.52 ja 3.53 on näha toodetud plaadid ja masina koosteliin.

Pilliroost saab valmistada nii hõredaid kui ka tihedaid plaate. Krohvimatis (hõre plaat) asetsevad pillirookõrred paralleelselt 0,5–1 cm vahedega ja seotakse peenikese tsingitud traadiga kokku nii, et moodustub pillirookõrre paksune kangas, mis kinnitatakse krohvitava seina külge klambrite või haaknaeltega. Hõreda pilliroomati tänapäevased mõõdud on 1,6 x 6,5 m ja ühe rulli suurus on u 10,4 m<sup>2</sup>. Krohvides jäävad pillirookõrred sisseviskekihile omamoodi armatuuriks, mis seob krohvi tugevasti seina külge.



**Joonis 3.52.** Valmis rooplaadid laos (foto: J. Miljan)



**Joonis 3.53.** Hiina päritolu masina koostamislaud (foto: J. Miljan)

Tihe pillirooplaat sobib siseviimistlusekski (joonis 3.54). Selles on rookõrred sageli ka looduslikest materjalidest nõõriga – nt kanepi-, sisali- või mõnest muust taimekiust valmistatud – tihedalt üksteise kõrvale seotud.



**Joonis 3.54.** Pillirooplaatidega kaetud räästatsoon elamu pööningul. Näha on ka roogkatuse alune pind (foto: K. Lilleste)

Pilliroomatt seinal või laes ei ole mitte ainult dekoratiivne, vaid annab ruumi piiretele ka hea helipidavuse. Praegu valmistatakse Eestis erinevate tootjate poolt nii pilliroomatte kui ka -plaate üsna suures valikus ja müüakse ka Ungarist toodud pillirooplaate. Pilliroost plaadi või mati eeliseks on mõõtude stabiilsus, mis ei sõltu ei õhu temperatuuri



ega -niiskuse muutustest. Tihe roogmatt on hinnatud aiataramaterjal ja sobib ka rõdu-piireteks ning aknaluukideks.

Mõnel pool on pillirootara kasutatud ka müratõkke seinaks.

Leedus tehtud helipidavuse katses võrreldi erinevalt töödeldud roogu, nii hakitud, kui ka kokkupressitud terveid kõrsi. Varieeriti ka katsekehade paksuste ja helisagedustega. Võrdlusmaterjaliks oli teravilja põhk, mis pressiti pakiks tervetest kõrtest. Uuringu tulemusena selgus, et helisagedusel vahemikus 50 – 1353 Hz, osutus kõige helipidavamaks roomatt tihedusega 125 kg/m<sup>3</sup> ja paksusega 200 mm. Kõrre suund oli risti heliallika suunaga. (Deveikyte S. *et al* 2012).

### 3.2.2. PILLIROOST SEINAD



Pilliroog on hea soojus- ja heliisolatsioonimaterjal, sellepärast on otstarbekas teha välisseina maht – soojust isoleeriv osa – pilliroost ja kandev karkass puidust. Pilliroost seina tegemiseks on mitmeid mooduseid.

Üks võimalustest on paigaldada lahtine pilliroog seina vertikaalselt (joonis 3.55). Seina karkass tehakse puidust, kusjuures postid asuvad seina sise- ja välistasapinnas. Nende vahele paigaldatakse pilliroog ja selle hoidmiseks karkassi vahel lüüakse puitpostide külge sise- ja välisseina laud horisontaalselt. Pilliroog tihendatakse koormarihmade abil ja kinnitatakse plastiklintidega postide külge. Kõrvaloleval joonisel on näha karkassipost ja selle külge kinnitatud laud (joonisel ülaserivas), mis on kaetud metallist raabitsvõrguga parema krohvimitulemuse saamiseks.

Käesoleva kirjutise 4. osast selgub aga, et vertikaalselt paigaldatud pilliroog ei ole otstarbekas seina ehitamise seisukohast. Pilliroogu on raske tihendada ja seetõttu jääb piirde soojustakistus väikeseks.

#### **Joonis 3.55.** Lahtise vertikaalselt paigaldatud pillirooga täidetud sõrestiksein

Teiseks võimaluseks on ehitada lahtiselt ja horisontaalselt paigaldatud pilliroost sein. Pilliroog asetatakse ühtlase kihina horisontaalselt karkassipostide vahele (joonis 3.56). Roog tihendatakse kihtide kaupa koormarihmude kasutades ja iga koormamise lõpus fikseeritakse horisontaalsete plastikribadega karkassipostide külge (joonised 3.57 ja 3.58). Plastiklint takistab ka karkassipostide kaardumist järgmise pillirookihi kokkupressimise ajal. Seina sise- ja välispinda karkassipostide vahele jääv vahe täidetakse 5 cm paksuse pillirooplaadiga. Plaadi mõõdud on karkassipostide vahe mõõtudest veidike suuremad



nii, et plaati tuleb postide vahele suruda. Seejärel seotakse pillirooplaadid läbi seina omavahel kokku traadi või plastiknööriga.



**Joonis 3.56.** Lahtine pilliroog horisontaalselt karkassipostide vahel (foto: J. Miljan)



**Joonis 3.57.** Pilliroovihkude esimese kihi kokku pressimine koormarihmu kasutades (foto: J. Miljan)



**Joonis 3.58.** Kokku pressitud pilliroo kinnitamine plastiklintidega karkassipostide külge (foto: J. Miljan)



**Joonis 3.59.** Seinapaneelide karkassi väljanõtkumise takistamiseks kasutatakse meister Knut Kleis pressimise ajal pitsituskruvisid (foto: J. Miljan)

Kolmandaks seinatüübiks on paneelsein, mis ehitatakse puidust raamide sisse. Pilliroog paigaldatakse horisontaalselt ja pressitakse kihtide kaupa kokku laudade vahele. Laudade väljanõtkumise takistamiseks pressimise ajal kasutatakse pitsituskruvisid (joonis 3.59). Ka paneelseinas fikseeritakse seejärel roog laudade vahele plastiklintide abil, mis jäävad laudkarkassi väljakaardumist takistama. Kui järjekordne kiht pilliroogu on piisavalt tihedaks pressitud, siis tõstetakse pitsituskruvid kõrgemale ja alustatakse järgmise kihi paigaldamise ja pressimisega. Seinapaneelid viimistletakse ja lõigatakse mõõtu saega (joonis 3.60). Valmistatud seinapaneelid tõstetakse karkassipostide vahele kahes või enamis kihis ja paigaldatakse nii, et ei tekiks külmasildu. Paneelid kinnitatakse omavahel ja karkassipostide külge. Paneelseinte valmistamise eeliseks on, et paneele saab ette



valmis teha ja soovitud ajal sein monteerida. Katsemaja ehitusel, osas 4 kirjeldatud sein VS-3, ongi valmistatud suurtest paneelidest, mida kulus katseseina jaoks neli tükki. Soomes propageerib Hartwig Reuter pilliroost tehtud väiksemate seinapaneelide kasutamist, mis on jäigemad, aga mille valmistamiseks kulub rohkem puitu.

Neljandaks seinatüübiks on pilliroopakkidest sein. Karkassipostide vahele paigaldatakse valmispressitud pilliroopakid kas ühe või enama kihina. Pakkide mõõdud ja karkassipostide samm peavad omavahel sobima. Pakiridasid pressitakse samuti koormarihmade abil tihedamaks ja fikseeritakse plastiklintidega postide külge. Postide vahele jäävad püstised tühimikud täidetakse lahtise vertikaalse pillirooga nii tihedalt kui võimalik.



**Joonis 3.60.** Seinapaneeli valmistamine maas ja mõõtulõikamine (foto: J. Miljan)

Enne pilliroost sein krohvimist jäigastatakse seinad diagonaalsete metalllintidega (joonis 3.61).



**Joonis 3.61.** Võrguga kaetud seinapuitosad ja metall-lintidega jäigastatud sein enne krohvimist (foto: J. Miljan)

Pilliroost ehitatud seinad kaetakse tavaliselt savi- või lubikrohviga (joonis 3.62). Selleks, et krohv paremini seinas püsiks, lüüakse sein välispinda jäävad puitdetailid üle võrguga, mis aitab krohvikihiti paremini siduda. Võrguks võib kasutada kitsast hõredat pilliroomatti, džuudi kangast, plastikvõrku või metallist raabitsvõrgu riba. Sein krohvatakse seejärel vähemalt kolm korda. Kõige pealmist krohvikihiti võib töödelda erinevate vii-



mistlussegudega, mis tagavad seina ilusama väljanägemise ja krohvikihi parema püsivuse. Kasutada võib näiteks vesiklaasi või tselluloosi baasil tehtud lahuseid.



Viiendaks pillirooga soojustatud seinatüübiks on hakkpillirooga täidetud puitkarkass. Karkassi sise- ja välispinda lüüakse laudis või paigaldatakse ehitusplaat ja nende vahe täidetakse hakitud pillirooga.

Pilliroo jääke saab kasutada savi-pilliroo kergplokkide valmistamiseks ja seinte ladumiseks valmistehtud plokkidest. Savi-pilliroo kergseina saab ehitada ka raketise sisse. Kuna kergplokkidest ehitatud ja ka valatud kergseina survetugevus ei ole kandevõime seisukohast piisav, siis kasutatakse selliseid seinu valdavalt soojustuseks, kas kandvale seinale lisaks või kandva karkassi vahel.

**Joonis 3.62.** Esimese kihi savikrohviga kaetud pilliroost sein (foto: J. Miljan)



Pilliroost piirete ehitamisel tuleb silmas pidada asjaolu, et vahel sajab ka vihma. Sellepärast on vaja krohvimise ootel olevad valmis konstruktsioonid kindlasti katta kiledega või presendiga (joonis 3.63) ja ehitavate osade kaitseks peab kogu aeg käepärast olema kate.

**Joonis 3. 63.** Presendiga kaetud seiniosa ja karkassena jäigastamiseks diagonaalselt paigaldatud metallilindid (foto: J. Miljan)



## 4. PILLIROOST PIIRETEGA KATSEMAJA EHTAMINE, MATERJALI- JA AJAKULU

Matis Miljan, Martti-Jaan Miljan, EMÜ maaehituse osakond

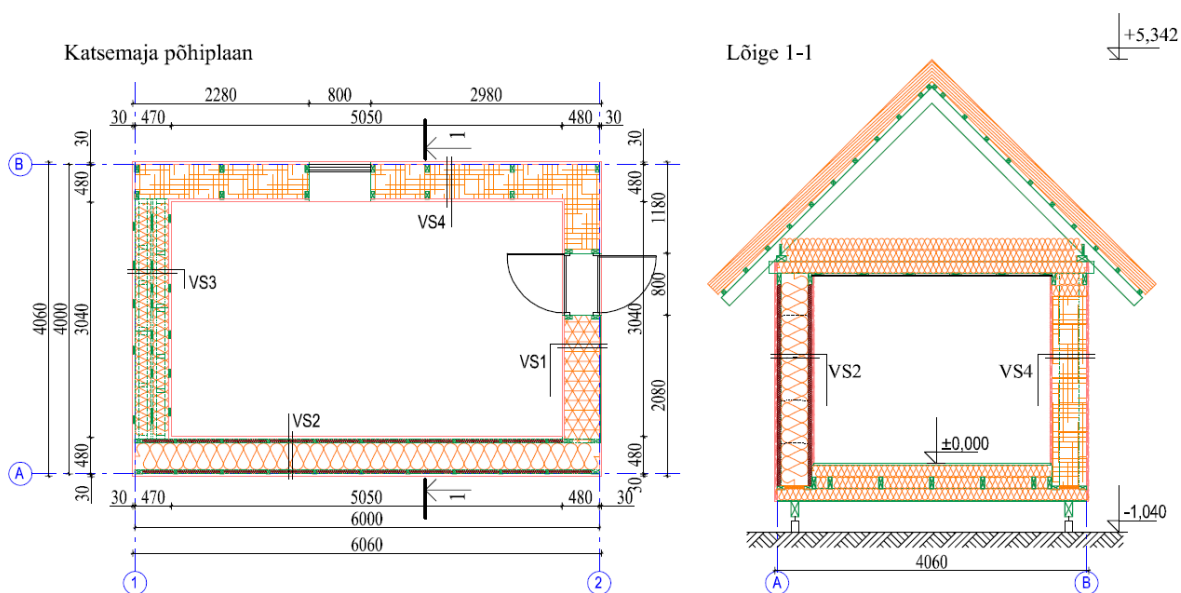
Pilliroost seinte ehitamiseks kuluvate materjalide ja aja määramiseks ning piirete soojuslähivuse mõõtmiseks realselt olemasolevas hoones ehitati 2010. aasta varasügisel Emajõe ürgoru nõlvale EMÜ Metsamaja taha katsemaja (joonis 4.1), mille kõik piirded olid 450 mm paksud ja täidetud pillirooga. Katsemaja on puidust karkassiga kergseinte-ga hoone, mille vundamendiks on raudbetoonist kohtvaiad. Katus on kaetud pooles ula-



Joonis 4.1. Katsemaja

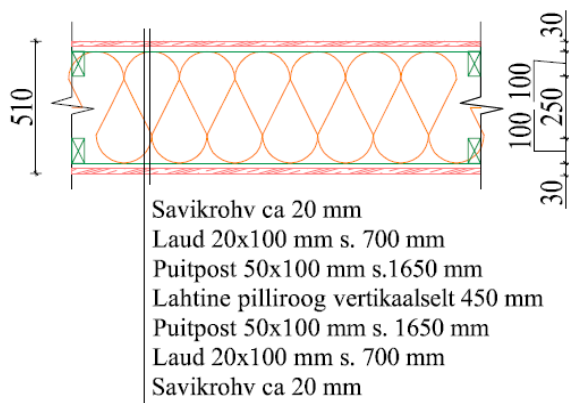
tuses pillirooga ja pooles ulatuses laastudega. Vahelagi on soojustatud lahtise pillirooga ja kaetud pealt tuuletõkkekangaga. Põrand on ehitatud puittallade alla kinnitatud vineerplaadile. Maja materjalid pärinevad osalt Tartu lähiümbruse ettevõtjatel: pilliroog osteti osahingult Järveroog, savi on toodud Joosu karjäärist ja võetud katsemaja lähedasest süvendist, katuselaastud tarniti osahingust Lutike Laast. Katsemaja ehitamisest võtsid osa mõned maaehituse osakonna töötajad ja üliõpilased ning ettevõtted OÜ Saviukumaja ja MTÜ Savikodu. Katsemaja plaan ja lõige on toodud joonisel 4.2, kus on näidatud ka erineva konstruktsiooniga välisseinte, VS-1 kuni VS-4, asukohad. Seinte ristlõiked on toodud joonistel 4.3 a–d ning fotod ehitatud seintest on joonistel 4.4 a–d.

tuses pillirooga ja pooles ulatuses laastudega. Vahelagi on soojustatud lahtise pillirooga ja kaetud pealt tuuletõkkekangaga. Põrand on ehitatud puittallade alla kinnitatud vineerplaadile. Maja materjalid pärinevad osalt Tartu lähiümbruse ettevõtjatel: pilliroog osteti osahingult Järveroog, savi on toodud Joosu karjäärist ja võetud katsemaja lähedasest süvendist, katuselaastud tarniti osahingust Lutike Laast. Katsemaja ehitamisest võtsid osa mõned maaehituse osakonna

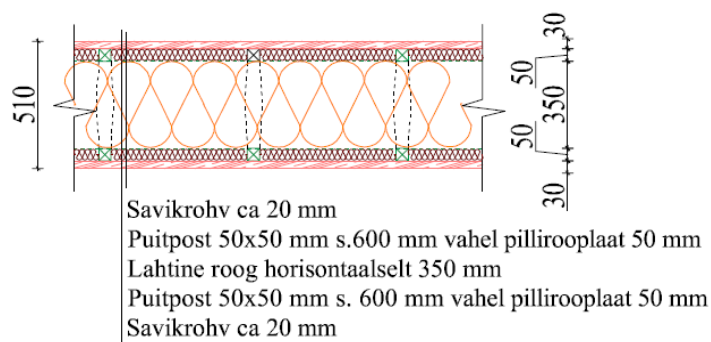


Joonis 4.2. Katsemaja plaan ja lõige (M-J. Miljan 2012)

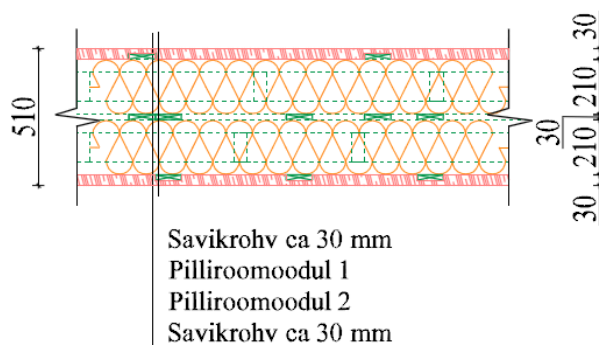
a) VS-1 vertikaalpilliroosein



b) VS-2 horisontaalpilliroosein



c) VS-3 pilliroopaneelsein



d) VS-4 pilliroopakisein



**Joonis 4.3.** Katsemaja seinte konstruktsioonid (M-J. Miljan 2012)

**Sein VS-1** (joonised 4.2. a ja 4.3. a) on vertikaalpilliroosein, mille kandvaks konstruktsiooniks on puitpostid ristlõikega 50 x 100 mm ja sammuga 1600 mm. Postide vahel on horisontaallaudad ristlõikega 20 x 100 mm ning sammuga 700 mm. Soojustuseks on lahtine vertikaalselt paigaldatud pilliroog, mis pressiti kokku koormarihmadega ning fikseeriti plastiklintidega. Seina pinnad on kaetud seest ja väljast savikrohviga.

**Sein VS-2** (joonised 4.2. b ja 4.3. b) on horisontaalpilliroosein. Kandvaks konstruktsiooniks on puitpostid ristlõikega 50 x 50 mm ning sammuga 600 mm. Soojustusena on postide vahel lahtine horisontaalselt paigaldatud pilliroog, mida pressiti iga 500–600 mm paigalduskihi tagant koormarihmadega ning fikseeriti karkassipostide vahele tõmmatud plastiklintidega. Postidevahelised lindid tõkestavad ka postide väljanõtkumist. Lisaks lahtisele pilliroole on seina välis- ja sisepinnal karkassipostide vahel pillirooplaadid pakusega 50 mm. Seina pinnad on seest ja väljast kaetud savikrohviga.

**Sein VS-3** (joonised 4.2. c ja 4.3. c) on pilliroopaneelsein. Sein koosneb kahest kõrvuti olevast ja omavahel kinnitatud pilliroopaneelist. Paneelideks on puitkarkassist raamid, kuhu on soojustuseks pandud kokku pressitud horisontaalne pilliroog. Raam koosneb kahest üleval ja kahest all asuvast elemendist, mis on omavahel ühendatud laudadega. Pilliroog pressiti raamis kokku koormarihmadega ning fikseeriti seinte välispindades olevate laudade vahele plastiklintidega. Paneelide vahele jääv 30 mm paksune laudade vahe on täidetud lahtise pillirooga. Seinapinnad on kaetud seest ja väljast savikrohviga.

**Sein VS-4** (joonised 4.2 d ja 4.3 d) on pilliroopakisein. Kandvaks konstruktsiooniks on puitpostid ristlõikega 50 x 100 mm ning sammuga 1100 mm. Soojustusena on postide vahel pilliroopakid. Pakiridu pressiti iga kolmanda rea järel koormarihmadega ning fik-

seeriti plastiklintidega. Pakkidevahelised tühimikud ja vahed karkassipostide kõrval täideti lahtise pillirooga. Seinapinnad kaeti seest ja väljast savikrohviga.

a) VS-1 vertikaalpilliroosein



b) VS-2 horisontaalpilliroosein



c) VS-3 pilliroopaneelsein



d) VS-4 pilliroopakisein

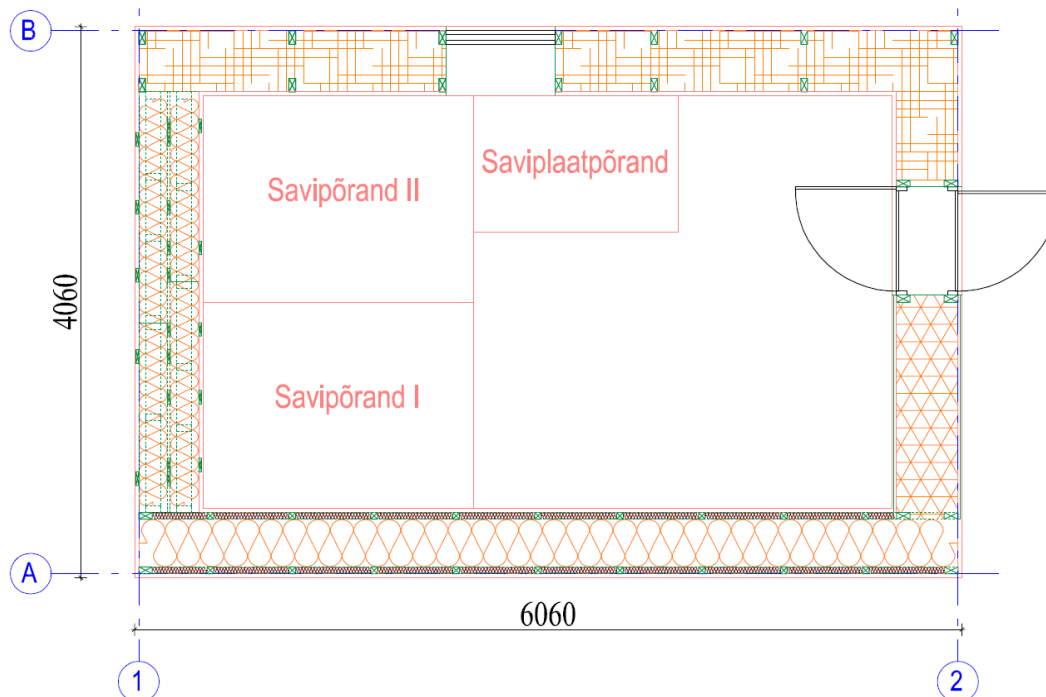


#### Joonis 4.4. Katsemaja seinte ehitamine (fotod: J. Miljan)

Katsemajasse ehitati ka pilliroopakide ja lahtise pillirooga soojustatud ning saviga kaetud põrandad, mille asukohad on näidatud joonisel 4.5. Ehitatud põrandate konstruktsioonid on joonisel 4.6, detail katsemaja ehituselt on joonisel 4.7 ja saviplaatpõranda tegemine joonisel 4.8.

**Savipõrand I.** Esialgselt savipiimaga töödeldud roopakidele paigaldati 50 mm kiht kohaliku savipinnase ja pika rookiu segu. Seejärel põrand tihendati ja siluti kelluga. Pärast mõnepäevast kuivamist paigaldati eelmise kihi peale kiht (50 mm) kohalikku savipinnast segatuna lühikeste rookiududega. Kuna kuivamisel tekkinud praod olid küllaltki suured, töödeldi põrandat enne lõplikku viimistlemist ja täideti tekkinud praod, kasutades punast savi, mis oli segatud linaluuga. Peale selle kihi kuivamist paigaldati viimistluskiht, mis oli kokku segatud savist ja erinevatest materjalidest.





**Joonis 4.5.** Katsepõrandate asukohad maja plaanil (M-J. Miljan 2012)

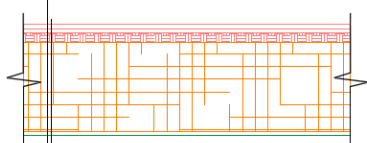
**Savipõrand II.** Esialgselt savipiimaga töödeldud pilliroopakkidele kanti peale kiht kohalikku savi, mis tihendati puidust tambiga. Kuna ainult tampides polnud võimalik savikihti ühtlaseks saada, kasutati ka selle kihi tasandamiseks kellut. Pärast tambitud savikihi kuivamist kanti põrandale kiht kohalikku savipinnast segatuna lühikese rookiuga ning seejärel kiht sinist savi segatuna lühikese rookiuga, millele järgnesid viimistluskihid. Kõik kihid kuivasid enne järgmise kihi paigaldamist mõne aja.

Savipõrandate I ja II viimistlemiseks kasutati punase ja sinise pottseпасavi pulbrit segatuna erinevate naket parandavate materjalidega. Lõppviimistluse käigus kanti savikihile veepidavuse, kulumis- ja külmumiskindluse parandamiseks linaõli ja karnauba vaha kiht.

**Saviplaatpõrand.** Põrandatalade vahele paigaldati lahtise roo kiht paksusega 450 mm. Lahtine roog tihendati ja kaeti pealt 25 mm laudisega, millele kanti kõigepealt ca 50 mm paksune kohaliku savi kiht ja seejärel tasanduseks veel pottsepa sinisavipulbrist segatud 50 mm paksune kiht. Põletamata saviplaatide paigaldamiseks kasutati plaadisegu.

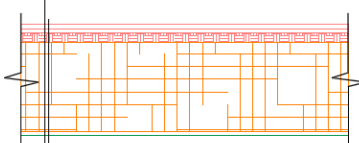
a) savipõrand I

- Linaõli
- Viimistluskiht
- Linaluukiuga punane savi 20mm
- Lühikese rookiuga kohalik savi 20mm
- Pika rookiuga kohalik savi 50mm
- Savipiim
- Pilliroopakk 450mm
- Vincer



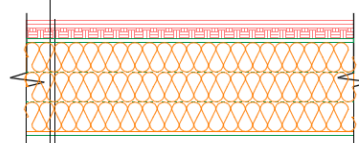
b) savipõrand II

- Linaõli
- Viimistluskiht
- Lühikese rookiuga sinisavi 20mm
- Lühikese rookiuga kohalik savi 20mm
- Kohalik savi tihendatuna 50mm
- Savipiim
- Pilliroopakk 450mm
- Vincer



c) saviplaatpõrand

- Põletamata saviplaat
- Plaadisegu
- Pottsepa sinisavipulbrist kiht 50mm
- Laudis 25mm
- Talade vahel lahtine pilliroog 450mm
- Vincer



**Joonis 4.6.** Uuritud põrandate konstruktsioonid (M-J. Miljan, 2012)



**Joonis 4.7.** Koormarihmadega kokkupressitud roo kinnitamine karkassiposti külge (foto: J. Miljan)



**Joonis 4.8.** Saviplaatpõranda ehitus (foto: J. Miljan)

Hoone ehitust alustades oleks vaja teada, mis see maksma läheb ja kui kaua aega selleks kulub. Nende teadmiste hankimiseks peeti materjalide kulu ja töö tegemise aja arvestust. Materjalide kogused kokku igale seinale ja vastava seina 1 m<sup>2</sup> kohta on toodud tabelis 4.1.

**Tabel 4.1.** Katsemaja välisseinte ehitamiseks kulunud materjalide kogused kokku ja seina ühe ruutmeetri kohta (Miljan, M. *et al* 2012)

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

Seinte ehitamiseks kulunud materjalide kogused määrati ühiku täpsusega. Koguste määramisel ei arvestatud ehitamisel tekkinud kadusid. Tabelis 4.2 on loetletud tegevused, millele kulunud aega mõõdeti ja mida aluseks võttes arvutati ajakulu 1 m<sup>2</sup> seina valmistamiseks.

**Tabel 4.2.** Tehtud tööd ja nende tegemiseks kulunud aeg (Miljan, M. *et al* 2012)

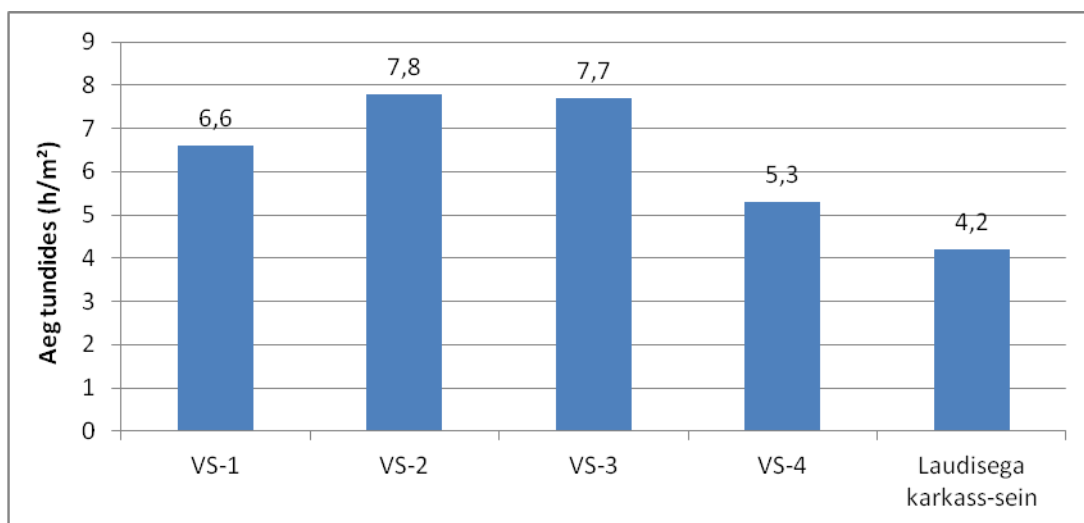
Tegevus objektil	Seinte ehitamiseks kulunud aeg tundides							
	VS - 1		VS - 2		VS - 3		VS - 4	
	Kokku	1 m <sup>2</sup>	Kokku	1 m <sup>2</sup>	Kokku	1 m <sup>2</sup>	Kokku	1 m <sup>2</sup>
Puitkarkassi ehitamine	4,0	0,9	15,1	0,9			16,8	0,9
Karkassi täitmine pillirooga ja selle kinnitamine	12,0	2,7	51,0	3,0				
Pillirooplaatide paigaldus			15,0	0,9				
Pilliroopakide paigaldamine							26,0	1,4
Pilliroopaneelide 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
Kulutatud töötunnid kokku		6,6		7,8		7,7		5,3

Tabelist 4.1 näeme, et erineva konstruktsiooniga seinte ühe ruutmeetri viimistlemiseks kulus savikrohvi enam-vähem sama palju. Krohvikulud olid kõige väiksemad seinal VS-1, kus lauad seinas krohviti ainult *ca* 10–20 mm paksuse krohvikihiga. Vertikaalselt seina paigaldatud rookahlude kulu oli kõige väiksem seina VS-1 ühe ruutmeetri ehitamiseks (14,4 kahlu), sest vertikaalset roogu oli keeruline tihendada. Paneelseina VS-3 paigaldati horisontaalselt 20 rookahlu seina ühe ruutmeetri kohta. Paneelseina ehitamiseks kulus ka kõige rohkem puitmaterjali. Seega on mõnevõrra üllatav, et selle seina ehitamisel tööajakulud ei olnudki kõige suuremad. Horisontaalselt paigaldatud rooga seina – VS-2 – suudeti pressida 16,1 rookahlu 1 m<sup>2</sup> seinapinna kohta. Paneelseina rooga täitmisel oli kahlude kinnitamine paneeli külge ilmselt lihtsam, kui roo kinnitamine seina karkassipostide külge.

Tabelist 4.2 näeme, et katsemaja ehitamisel kulus kõige vähem aega pilliroo pakkidest 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/m<sup>2</sup>. Töömahukuselt järgmine sein oli VS-3, samuti horisontaalselt paigaldatud pillirooga soojustatud paneelsein, kus tööajakulu kokku oli 7,7 h/m<sup>2</sup>. Tööaega tööoperatsioonide lõikes kulus kõige rohkem karkassipostide vaheliste tühimike täitmiseks ja savikrohvimiseks.



Tööaja kulu pilliroost seinte ehitamiseks võrreldi tavalise puitkarkass-seina ehitamiseks kulunud tööajaga (Kukka 2009) (joonis 4.9).



**Joonis 4.9.** Tööaja kulu erinevate karkass-seinte ehitamiseks

Siinkohal peab nentima tõsiasja, et pilliroost soojustusega kergseinte ehitamine on tööajamahukam kui mineraalvillast soojustusega ja kahelt poolt laudisega kaetud karkass-seina ehitamine. Samas on kasutatud materjalide transpordile kulutatud vähem aega ja raha ning naturaalsete materjalide energiasisaldus on väiksem, kui tööstuslikel toodetel. Seega võime öelda, et looduslikest materjalidest ehitamisel on meie ökoloogiline jalajälg looduses väiksem.



Roogkatuste ehitamine on Eestis taas ausse tõusnud

## 5. PILLIROOG SOOJUSTUSMATERJALIKS

### 5.1. MATERJALIDE SOOJUSLÄBIVUSEST

Jaan Miljan, EMÜ maaehituse osakond

Soojustusmaterjalide headusest rääkides mõeldakse selle all enamasti materjali soojuserijuhtivust. Kui erinevad materjalid on piirdes koos, siis räägitakse piirde soojuslähivusest või selle soojustakistusest. Soojuserijuhtivuse väärtuseks on  $\lambda$  ja selle mõõtühikuks  $W/mK$ . Kuna Kelvini ja Celsiuse kraadid on võrdsed, siis Kelvini kraadi kasutamine mõõtühikus on määratud normidega. Materjalikihi soojustakistus  $R$  (valem 5.1) on võrdne materjalikihi paksuse  $d$  ja soojuserijuhtivuse  $\lambda$  suhtega ehk siis:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (m^2K/W) \quad (5.1)$$

Piirde kogu soojustakistuse arvutamisel tuleb arvesse võtta piirde kõigi kihtide soojustakistuste summa, millele tuleb lisada veel piirde välispinna ja sisepinna soojustakistuse väärtused. Arvutamine toimub valemi 5.2 järgi.

$$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (m^2K/W) \quad (5.2)$$

kus:

$R_t$  – piirde kogu soojustakistus,

$R_1 \dots R_n$  – piirde erinevate kihtide soojustakistused,

$n$  – piirde materjalikihtide arv

$R_{si}$  – piirde sisekihi soojustakistus,

$R_{se}$  – piirde väliskihi soojustakistus.

Piirde sise- ja väliskihi soojustakistuse väärtused on antud tabelis 5.1 ja soojustakistuse suurus sõltub soojusvoolu suunast.

**Tabel 5.1.** Piirde sise- ja välispinna soojustakistus

Sisepinna soojustakistus			Välispinna soojustakistus		
Soojusvoolu suund					
Hor.	Üles	Alla	Hor.	Üles	Alla
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Piirde soojuslähivus  $U$  (valem 5.3) on soojustakistuse pöördväärtus ehk

$$U = \frac{1}{R} \quad (W/m^2K) \quad (5.3)$$

Kuna pilliroog on tuult läbilaskev materjal, siis tema soojustakistust mõjutab päris palju ka tuule tugevus. Loomulikult mõjutavad piirde soojuslähivust veel paljud tegurid, kuid põhiline on siiski materjali soojuserijuhtivus.

Selgituseks võiks veel lisada, et mida suurem on soojustakistus, seda soojapidavam on piire. Soojuslähivusega on asi vastupidi, mida väiksem see on, seda parem.

Eesti Vabariigis on elamutele kehtestatud energiatõhususe miinimumnõuded, mida on pidevalt muudetud ja viimastes 2013. aasta jaanuarist kehtima hakanud nõuetes on öeldud, et elamute välispiirete valikul võib esmase lähenemisena lähtuda järgmistest väärtustest:

- 1) välisseinte soojusläbivus  $U$  peaks olema vahemikus 0,12–0,22 W/m<sup>2</sup>K;
  - 2) katuste ja põrandate soojusläbivus  $U$  peaks olema vahemikus 0,1–0,15 W/m<sup>2</sup>K.
- (Energiaatõhususe miinimumnõuded 2013).

Eelmised energiaatõhususe miinimumnõuded, mis kehtisid 2007. aastast andsid vastavad soojusläbivuse väärtused  $U_{\text{välisseinad}} = 0,2\text{--}0,25$  W/m<sup>2</sup>K ja

$U_{\text{laed ja põrandad}} = 0,15\text{--}0,2$  W/m<sup>2</sup>K (RT I 2007). Siit näeme, et nii seinte kui ka lagede ja põrandate soojusläbivuse väärtust on nõuetes vähendatud, mis tähendab, et majad tuleb ehitada veelgi soojapidavamad.

Kuna soojuserijuhtivuse väärtus on tihedalt seotud materjali temperatuuri, mahumassi ja veesisaldusega, siis tabelis 5.2 on toodud mõned kuiva materjali mahumassid (ehk tihedus) kg/m<sup>3</sup> ja soojuserijuhtivuse väärtused. Tabelis 5.3 toodud soojuserijuhtivuse väärtuste kohta on öeldud, et enamasti on tegemist ametlikult kinnitamata andmetega, läbilõikega kirjandusest kogutud uuemast informatsioonist. Suured tähed andmete kõrval tähendavad kohta või uurimisasutust, kust teave on pärit: C - CIBSE UK, Y – Ital.

**Tabel 5.2.** Mõnede materjalide soojuserijuhtivus sõltuvalt materjali tihedusest

Materjali nimetus	Materjali tihedus (kg/m <sup>3</sup> )	Kuiva materjali soojuserijuhtivus $\lambda$ (W/mK)
Õhk	1,2	0,023
Lumi (kohev)	80-200	0,1-0,2
Lumi (tihe)	200-800	0,5-1,8
Tellis	1600-1900	0,6-0,7
Puit	550-800	0,14-0,17
Betoon	2300-2500	2,0
Poorbetoon	1000-1300	0,35-0,5
Pinnas (kuivast niiskeni)	1600-1700	0,3-2,0
Puitlaastplaat	350-700	0,1-0,2
Kipsplaat	800-1400	0,23-0,30
PUR pritsevaht	30-150	0,025-0,035
Aknaklaas	2500	0,8
Graniit	3000	3,5
Saviliiv	1780	0,9
Teras	7800	52
Mineraalvillad keskmiselt	35-200	0,04

(Engineeringtoolbox 2013.12.08.)



**Tabel 5.3.** Mõnede naturaalsete soojustusmaterjalide soojuseri juhtivuse väärtused

Materjali nimetus	Andmete allikas	Materjali tihedus (kg/m <sup>3</sup> )	Kuiva materjali soojuseri juhtivus $\lambda$ (W/mK)
Saepuru	C	145	0,08
Saepuruplaat	C	550	0,10
Puit	**	550-800	0,14-0,17
Pressitud õled	*	350	0,12
Pilliroo matt	Y	250	0,05
Pilliroo katus	C	270	0,09
Pressitud õled	Y	175	0,05
Õlgkatus	C	240	0,07
Pressitud õled	C	350	0,12
Korgiplaat	C	160	0,045
Linaluu hake lahtiselt	C	240	0,044

(esru ... 2013.12.08.:34-71)

\* Katsetingimused

 $\rho$  300 – 40 F

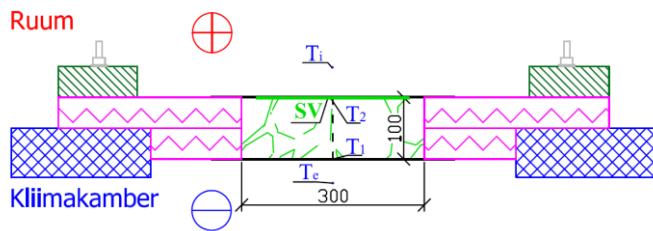
\*\* Määratud paljudes erinevates kohtades erinevatele puiduliikidele (esru ... 2013.12.08.:63).

## 5.2. PILLIROO SOOJUSERI JUHTIVUS

Martti-Jaan Miljan, Jaan Miljan, EMÜ maaehituse osakond

Pillirooplaadi soojuseri juhtivust määrati 2013. aastal Soomes VTT-s kuuma plaadi meetodil ja saadi keskmiseks soojuseri juhtivuseks  $\lambda = 0,055$  W/mK kuiva materjali korral (Lautkankare 2013, *test report number VTT-S-01338-12*). See tähendab, et pillirooplaadi soojuseri juhtivus on vaid 20% kehvem, kui tööstuslikel soojusisolatsioonimaterjalidel keskmiselt, mille  $\lambda = 0,04$  W/mK (tabel 5.1).

Eesti Maaülikooli maaehituse osakonnas uuriti samuti pilliroo soojuseri juhtivust. Katsed tehti 18 erineva soojustusmaterjaliga, mille hulgas olid ka pilliroomultš ja pilliroomatt. Katse läbiviimiseks kasutati kliimakambrit, katseseina elementi, andmesalvestajat, soojusvooplaate ja kuut termopaari ning erinevaid soojusisolatsioonimaterjale. Soojuseri juhtivuse määramiseks paigaldati kliimakambri ukseavasse katseseina element. See koosnes kahest kokkuliimitud 50 mm vahtpolüstüreenplaadist (joonis 5.1), mille sisse oli lõigatud avaus suurusega 300 x 300 mm ja mis täideti uuritava materjaliga. Joonisel 5.2 on näha üks uuritav materjal – pillirooplaat. Kliimakambri poolt suleti avaus jäiga 2 mm paksuse plaadiga, kasutades silikooni ja veekindlat teipi. Ruumipoolne jäik 2 mm plaat kinnitati veekindla teibiga ja toestati lisaks kahe punkttoega. Soojusvoogu mõõdeti soojusvooplaadiga ja temperatuuri termopaaridega. Mõõteseadmete asukohtad on näidatud joonisel 5.1.



**Joonis 5.1.** Mõõteseadmete paigutus ja katseseina elemendi skeem (M-J. Miljani joonis)

**Joonis 5.2.** Pillirooplaad katseelemendis (foto: J. Miljan)

Katseelemendi joonisel 5.1 on näidatud: SV – soojusvooplaadi ja temperatuuriandurite  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_i$  ja  $T_e$  asukohad. Kuna soojuseri juhtivuse üheks oluliseks iseloomustajaks on materjali tihedus, siis leiti see vastavalt EVS-EN 1602:1999 nõuetele. Seejärel määrati katseseinas olnud katsekehade soojuseri juhtivuse näitaja  $\lambda$  (Tabel 5.4).

Katse tegemiseks ei kasutatud soojuseri juhtivuse määramise standardiseeritud meetodikat. Katse tehti ekspluatatsiooni olukorrale lähemates tingimustes, kui kuuma plaadi katse, aga leitud soojuseri juhtivuse näitajad on materjalide lõikes võrreldavad ja annavad sellistena ülevaate nende soojapidavatest omadustest.

**Tabel 5.4.** Katses olnud mõnede materjalide soojuseri juhtivuse ja tiheduse väärtused (Miljan M-J. *et al* 2012 a)

Materjal ja selle	EPS	Isover puistevill	kanepikiud	hõõvli-laast	pilliroo-multš	lina-luu	pilliroo-plaad	sae-puru	termo-liit
tihedus $\text{kg/m}^3$	17	50	38	69	76	109	118,6	197	254
erisoojus-juhtivus $\lambda$ (W/mK)	0,038	0,039	0,079	0,047	0,074	0,050	0,070	0,062	0,066

Tabelist 5.4 näeme, et pilliroo multši soojuseri juhtivus on  $\lambda = 0,074$  W/mK. See väärtus langeb üsna hästi kokku Leedus määratud pillirookõrte soojuseri juhtivuse väärtusega, mis oli  $\lambda < 0,08$  W/mK tihedusel  $76,5 \text{ kg/m}^3$  (Veljeliene *et al* 2011).

Samast tabelist näeme ka, et tehismaterjalide soojuseri juhtivus on väiksem, kui looduslikel materjalidel, erinevused ei ole aga märkimisväärselt suured.

### 5.3. PILLIROOGA SOOJUSTATUD SEINAFRAGMENTIDE SOOJUSLÄBIVUS

Martti-Jaan Miljan, Jaan Miljan, EMÜ maaehituse osakond

Kuna üldiselt on teada, et materjalide soojuseri juhtivus olemasolevas piirdes on tavaliselt suurem stabiilsete katsetingimuste korral määratud soojuseri juhtivusest, siis tehti

EMÜ maaehituse osakonnas katse mittestatsionaarses olukorras. Pillirooga soojustatud seinafragmentide soojuslähivuse määramiseks tegelikkuses eemaldati maaehituse osakonna ehituskonstruksioonide laboris aknad koos raamidega ja ehitati aknaavadesse katseseinad. Katseseina fragmente oli neli ja kaks neist soojustati pillirooga. Esimesse aknaavasse paigaldati hoone sein välis- ja sisepinda vertikaalsed lauad ja nende vahele horisontaalne pilliroog, kihi paksusega 450 mm. Roogu tihendati nii külgedelt kui pealt. Sein kaeti seest ja väljast umbes 50 mm paksuse savikrohviga. Teise aknaavasse ehitati sein 450 mm paksustest pilliroopakidest ja selle kõrvale võrdluseks sein põhupakkidest. Pakid tõmmati täiendavalt kokku plastiklintidega. Seinte välis- ja sisepind kaeti 50 mm paksuse savikrohviga. Ehitamise ajal paigaldati seinte sisse temperatuuri ja niiskuse mõõtmiseks andurid. Sein läbiva soojusvoo mõõtmiseks kleebiti tihedalt vastu sein sisepinda soojusvoogu mõõtev plaat. Kõik lugemid fikseeriti 15-minutise intervalliga andmesalvestajas Almemo.

Mõõtmisseadmete lugemite alusel arvutati piirde soojuslähivus  $U$  [ $W/m^2K$ ].

Katseperiood kestis 2009. a detsembrist kuni 2011. a maini. Mõõtmised viidi läbi mittestatsionaarses olukorras, mis tähendab, et välistemperatuurid muutusid ajas pidevalt ning seetõttu muutus ka soojusvoo suurus läbi sein. Ühel pool sein oli stabiilse kliimaga siseruum ja teisel pool muutuvad välised ilmastikuolud.

Lahtise horisontaalse pillirooga soojustatud seinafragmenti soojuslähivuseks mõõdeti  $U = 0,145 W/m^2K$  ja 450 mm paksuste ja savikrohviga kaetud pilliroopakidega soojustatud seinafragmenti soojuslähivus oli  $U = 0,148 W/m^2K$ . Põhupakkidega soojustatud sein soojuslähivus oli suurem, kui pilliroopakidega soojustatud seinal,  $U = 0,182 W/m^2K$ . (Miljan M-J. *et al* 2012 b)

Katsetulemuste põhjal võib öelda, et pilliroog konkureerib oma soojustusomaduste poolest tööstuslike isolatsioonimaterjalidega ja seda on võimalik edukalt praktikas kasutada. Kohalikke looduslikke materjale kasutades tuleb küll arvestada paksemate soojustuse kihtidega, kuid materjali väiksema primaarenergia sisalduse tõttu säästame keskkonda ja kasvuhoonegaaside emissioon on väiksem.

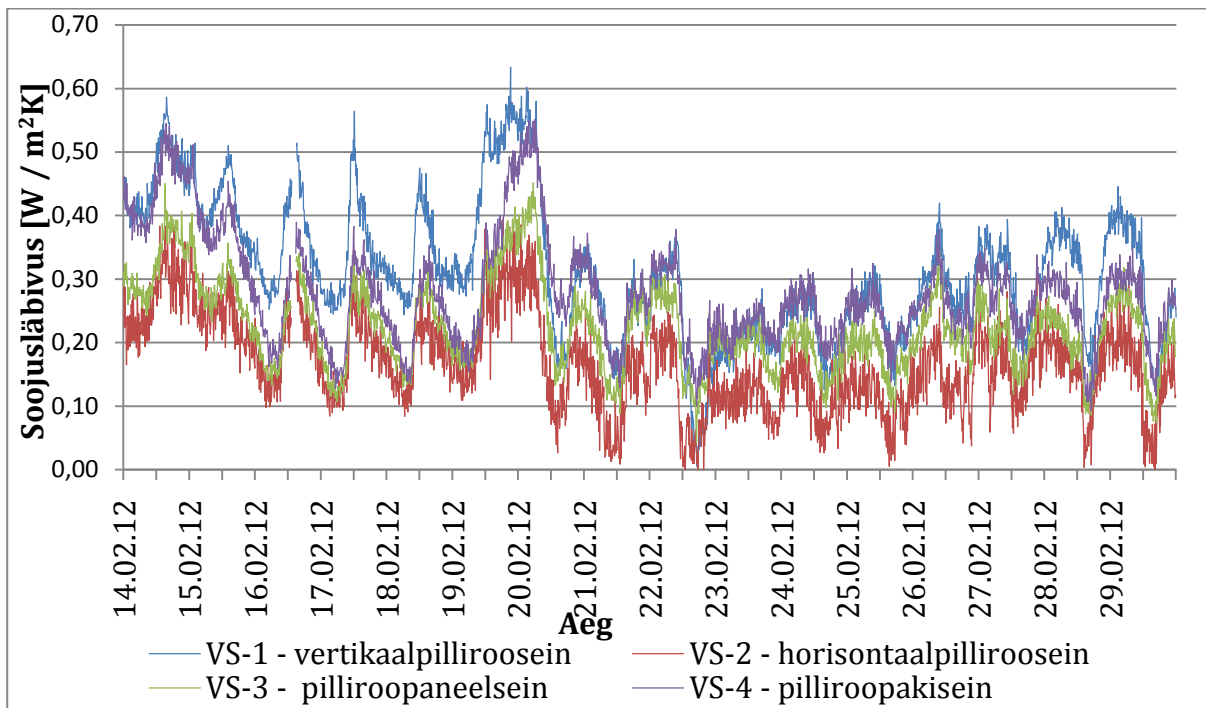
#### **5.4. PILLIROOGA SOOJUSTATUD PIIRETE SOOJUSLÄBIVUS KATSEMAJAS**

Martti-Jaan Miljan, Matis Miljan, EMÜ maaehituse osakond

Järgmine etapp pilliroo sobivuse hindamisel soojustusmaterjalina oli mõõta roost piirete soojuslähivust reaalselt olemasolevas hoones – katsemajas. Soojustusomadustest parema ülevaate saamiseks kasutati erinevaid seinakonstruksioone, mida on täpsemalt kirjeldatud katsemaja ehitust käsitlevas osas 4. Lühidalt: seinte võrdlemiseks ehitati kõik neli sein 450 mm paksud, soojustati pillirooga ja krohviti saviga mõlemalt poolt.

Katse toimus pidevalt muutuvates välistingimustes ja seetõttu muutus ka soojusvoo suurus läbi piirde. Soojusvoogu mõõdeti soojusvoo plaadiga ja andmed salvestati andmelugejasse Almemo iga 15 minuti tagant kogu katseperioodi jooksul. Seinte soojuslähivuse mõõtmine toimus aastatel 2010–2012 ja üks stabiilsetest perioodidest oli 2012. aasta veebruari teises pooles. Soojuslähivuse muutused ajas on näha graafikul joonisel 5.3.

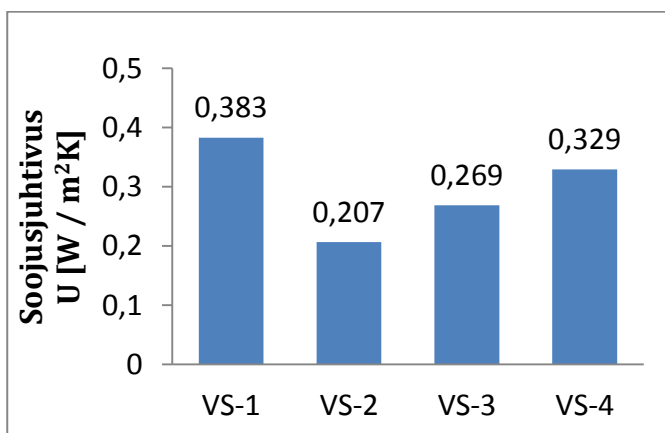




**Joonis 5.3.** Erinevate katseseinte soojusläbivuse muutused ajas (2012. a veebruari II pool) (Miljan, M-J. *et al* 2012 c)

Arvutatud keskmised soojusläbivuse väärtused on esitatud tulpdigrammina joonisel 5.4.

Katsemaja välisseinte soojusläbivuse uurimistulemusena selgus, et väiksem soojusläbivus oli horisontaalselt paigaldatud pillirooga seinal ja ka paneelseinal, kus pilliroog oli samuti horisontaalselt. Vertikaalse pilliroo seina paigaldamine osutus tehniliselt kõige keerukamaks ja ka soojusläbivus oli sellel seinal kõige suurem  $U = 0,383 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Energiatõhususe nõudeid (RT I 2007) täitis katsetatud seintest ainult horisontaalse pillirooga soojustatud sein VS-2, mille  $U = 0,207 \text{ W/m}^2\text{K}$ .



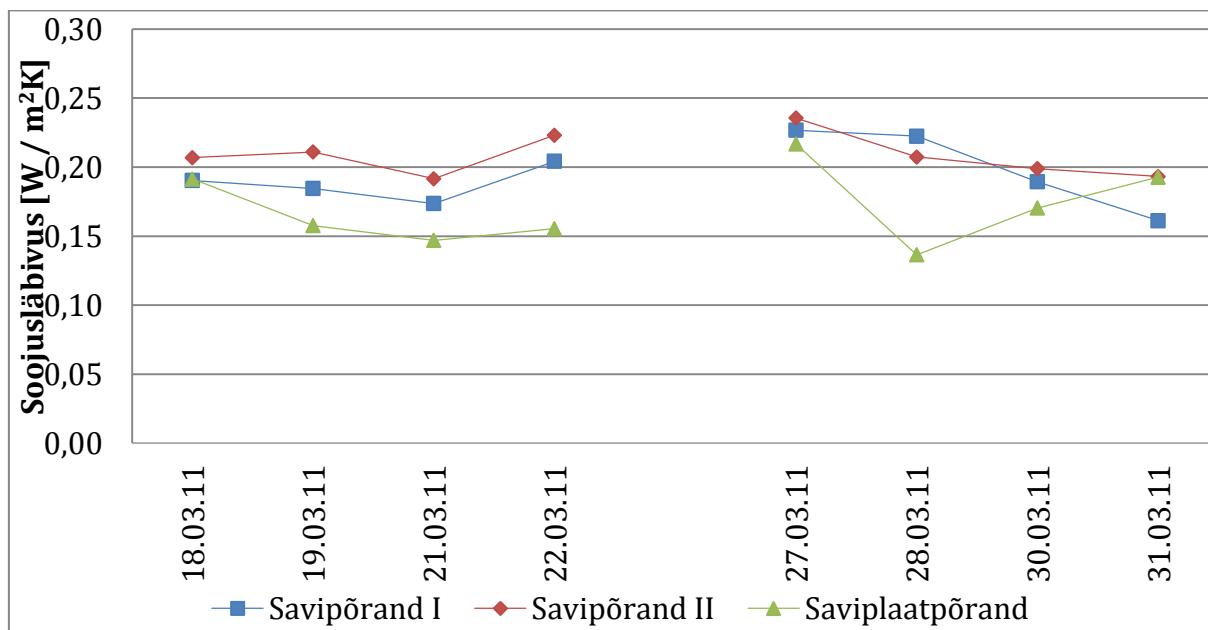
**Joonis 5.4.** Katsemaja seinte soojusläbivuse näitajad (veebruari II pool 2012. a) (Miljan, M-J. *et al* 2012 c)



**Joonis 5.5.** Seina läbivat soojusvoogu mõõtev varjestatud soojusvooplaat (foto: M-J. Miljan)

Kuna kõik seinad on sama paksu pillirookihiga soojustatud võib väita, et erinevused seinte soojuslähivuses on tingitud ehitamise tehnoloogiast. Seinal VS-1, kus pilliroog on vertikaalselt puitkarkassi vahel, võib suurem soojuslähivus olla põhjustatud ka sellest, et pillirookõrte vahelised püstised tühimikud võimaldavad õhu liikumist seina sees ja nii toimub selles seinas soojuse ülekandumine ka suurema konvektsiooni teel. Vertikaalselt paigaldatud pilliroogu ei suudetud ka piisavalt tihendada ja selle seina ühe ruutmeetri ehitamiseks kulus roogu kõige vähem (tabel 4.1). Selge vahe soojuslähivuse näitajates ilmneb vertikaalselt ja horisontaalselt paigaldatud pilliroo vahel. Pilliroo kasutamist käsitlevas artiklis (Wegerer, P., Bednar, T. 2011), milles kirjeldatakse seina soojustamist seestpoolt ja pilliroomati kasutamist krohvialusena, on toodud välja tootjapoolne nõue, paigaldada pilliroomatt nii, et kõrre suund oleks horisontaalne. Nõuet ei olnud kahjuks põhjendatud.

Põrandaid lähivat soojusvoogu mõõdeti soojusvoo plaadiga ajavahemikul 17.03.2011–03.04.2011. Stabiilsemad perioodid olid kuupäevadel 18.03.11–22.03.11 ja 27.03.11–31.03.11 ning nende põhjal leiti põrandate keskmised soojuslähivuse väärtused, mis on esitatud joonisel 5.6.



**Joonis 5.6.** Katsemaja põrandate keskmine soojuslähivus päevade kaupa (Miljan M.-J. et al 2012 b)

Savipõranda I keskmiseks soojuslähivuseks mõõdeti 0,197 W/m²K, savipõrandal II oli vastav näitaja 0,211 W/m²K ja saviplaatpõrandal 0,173 W/m²K. Kuna EVS 2013 järgi on põranda nõutud U arv  $\leq 0,15$  W/m²K, siis kõik katsetatud põrandad ei rahuldanud energiatõhususe miinimumnõuetes soovitatud suurust. 450 mm pillirookihiga soojustatud põrandate soojuslähivus oli väiksem kui seintel. Soojapidavaimaks osutus horisontaalse lahtise rooga soojustatud põrand.

## 5.5. PILLIROOKATUSE SOOJUSLÄBIVUS

Karel Lilleste, Meeli Kams, EMÜ maaehituse osakond



**Joonis 5.7.** Roogkatusega elamu, kus viidi läbi katusekatte soojuslähivuse uuringud (foto: K. Lilleste)

Eesti Maaülikooli maaehituse osakonnas mõõdeti soojusvoo plaati kasutades roogkatust läbiva soojusvoo suurust ja temperatuure erinevate katusekihtide vahel ning seejärel arvutati pilliroo soojuserijuhtivus katuse konstruktsioonis. U. Vigeli magistritööst selgus, et pilliroo soojuserijuhtivus soojustatud ja tuuletõkkekillega kaitstud katuslaes oli  $\lambda = 0,11 \text{ W/mK}$  (Vigel 2012).

K. Lilleste poolt koostatud aruandes (2013 b) arvutati pilliroost katusekatte soojuserijuhtivus võttes arvesse nii konduktsiooni kui ka konvektsiooni teel ülekanduvat soojust.

Pilliroost katusekatte soojuserijuhtivuseks (tuule mõju arvestades) saadi  $\lambda = 0,18 \text{ W/mK}$  (K. Lilleste 2013 b). Arvutustel võeti aluseks teisel katsel kütteperioodil Tartus asuva elamu ilma lumeta katusel soojusvooplaadiga mõõdetud katust läbinud soojusvoo suurus ja selle alusel arvutatud pilliroo soojuserijuhtivus  $\lambda = 0,098 \text{ W/mK}$  (Lilleste 2013 a). Võeti arvesse keskmine mõõdetud tuule kiirus, mis oli 4,5 m/s ning tuule suund, mis oli katuse ristiteljega 29° nurga all. Mõõdeti ka läbi katuse liikunud õhu maht. Nagu toodud andmetest näeme, suurenes pilliroo soojuserijuhtivus tuule tõttu märgatavalt, seega oleks mõistlik paigaldada roogkatuse alla aluskate.

## 5.6. PILLIROO-SAVI KERGPLOKID JA NENDE OMADUSED

Kristina Akermann, EMÜ maaehituse osakond

Roojääkide täielikumaks kasutamiseks on võimalik roogu segada saviga ja valmistada kergsaviplokke (joonised 5.8 ja 5.9). Meil omal ajal ehitatud savihooned on vastu pidanud tänase päevani, kui katus on olnud terve. Seega võib väita, et savihooned kestab kaua. Massiivsavist hoonete puuduseks on olnud seinte vähene soojapidavus. Selle paranda-



miseks on juba endistel aegadel segatud savi sisse soojustakistust suurendavaid materjale, enamasti õlgi.

Eesti Maaülikoolis tehti katsed pilliroo-savi kergplokkidega Interreg IV A projektide ProNatMat ja Cofreen raames.



**Joonis 5.8.** Savist kergplokkide valmistamiseks kasutatud materjalid alates vasakult: roohake, linaluu, hõövlilaast ja savi (fotod: K. Akermann)



Pilliroost ja savist valmistati erineva tihedusega katsekehad, mille survetugevust ja soojuserijuhtivust mõõdeti. Survetugevuse mõõtmisel kasutati standardis EVS-EN 826:1999 kirjeldatud meetodikat ja katsed tehti katsemasinaga П-125.

**Joonis 5.9.** Pilliroo-savi kergplokkide valmistamine (fotod: K. Karja)

Soojuserijuhtivuse katse tehti kliimakambris Feutron 3007-5, kasutades soojusvoo mõõtmise plaati, temperatuuriandureid ja andmesalvestajat Almemo. Saadud tulemused on esitatud tabelis 5.5. (Plokkide soojuserijuhtivuse määras M-J. Miljan)

Materjali tihedus määrati eraldi kõigi katsetatud plokkide jaoks. Kuna looduslikest materjalidest tehtud katsekehade puhul on raske katsematerjali ühetaolisust saavutada, on valmistatud katsekehade tihedus isegi materjali sama mahulise koostise korral erinev, mida näeme tabelist 5.5, kus on eraldi välja toodud väärtused: tihedus 1\* ja tihedus 2. Tabelist 5.5 ilmneb, et survetugevus on halvim katsekehal CRB-3, kus savi ja pilliroo-hakke suhe oli 1:4-le, parem aga plokkides, kus pilliroole oli lisatud ka linaluud. Tõenäoliselt linaluu peenemad osakesed (võrreldes roohakke suuremate ja libedamate tükkidega) kleepusid savi külge tugevamini ja seetõttu oli ka ploki survetugevus suurem.

**Tabel 5.5.** Pilliroo-savi kergplokkide soojuseri juhtivus ja survetugevus sõltuvalt ploki tihedusest (Akermann, K. *et al* 2012)

Ploki tähis	Koostisosade mahuline osakaal; savi, pilliroog, linaluu	Tihedus 1* kg/m <sup>3</sup>	Survetugevus N/mm <sup>2</sup>	Tihedus 2 kg/m <sup>3</sup>	Erisoojusjuhtivus 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

Tihedus 1\* määrati survetugevuse katsekehadel ja tihedus 2 määrati soojuseri juhtivuse mõõtmise katsekehadel.

Tabelist 5.5 näeme, et erineva mahulise koostisega plokkide survetugevuse väärtused on väga erinevad, varieerudes 0,3–0,5 N/mm<sup>2</sup>. Soojuseri juhtivuse 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. Kergsavipllokkide kasutamisel tuleb kindlasti silmas pidada, et poorne materjal ei ole õhutihe, mistõttu neid kasutades tuleb seinaga õhutihedus tagada muul viisil, nt krohvides.

Pilliroogu on kergplokkide valmistamiseks kokku segatud lisaks savile ka mõnede teiste sidematerjalidega. T. Toivoneni katsete tulemused, mille käigus uuriti savi, kipsi ja tsemendi baasil valmistatud roolisandiga kergplokkide soojustehnilisi näitajaid, on toodud tabelis 5.6.

**Tabel 5.6.** Roost kergplokkide soojustehnilised näitajad (Toivonen 2006)

Materjali nimetus ja selle omadused	Soojuseri juhtivus $\lambda$ (W/mK)	Piirde paksus mm, kui $U = 0,025$ W/m <sup>2</sup> K	Materjali tihedus (kg/m <sup>3</sup> )
Roo-kips kergplokk	0,069±0,01	262	431
Roo-tsement kergplokk	0,055±0,01	209	441
Roo-savi kergplokk	0,110±0,01	418	550

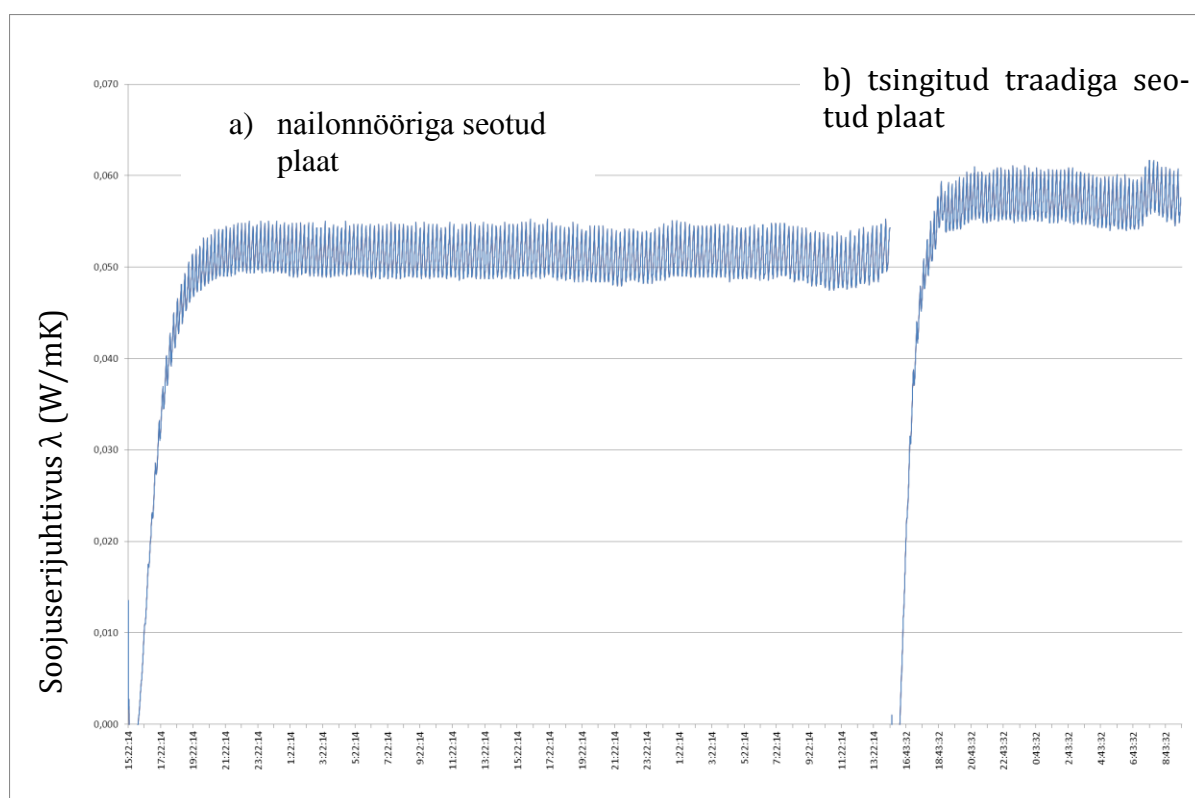
Katse läbiviimiseks roog tükeldati. Sideainena kasutati kipsi, tsemendi ja savi. Roo-tsement- ja roo-kips kergplokkide valmistamisel kasutati plastifikaatorit Parmix. Katsetulemuste põhjal osutusid roo-kips- ja roo-tsement kergplokkid eriti headeks soojusisoleatsioonimaterjalideks.

Kui nüüd võrrelda tabelites 5.5 ja 5.6 toodud tulemusi, siis tabelis 5.5 on kergplokk CRB-4 tihedusega 561 kg/m<sup>3</sup> ja  $\lambda = 0,124$  W/mK, tabelis 5.6 on roo-savi kergploki tihedus 550 kg/m<sup>3</sup> ja  $\lambda = 0,110$  W/mK. Võrreldes roo-savi kergplokkide teiste sideainete baasil valmistatud plokkidega näeme, et võrdselt soojapidava seina ehitamiseks peab pilliroo-savi plokkidest sein olema paksem, kui teisi sideaineid kasutades.

## 5.7. PILLIROOPLAATIDE SOOJUSERIJUHTIVUS

M-J. Miljan, EMÜ maaehituse osakond

Eestis toodetakse tööstuslikult ehk masinatega praegu kahte tüüpi pillirooplaate. Berger plaate, mis on kokku seotud tsingitud traadiga ja rooplaate, mis on läbiõmmeldud nailonniidiga. Plaatide soojuserijuhtivus määrati kliimakambri katses ja tulemused on esitatud joonisel 5.10. Jooniselt on näha, et nailonnööriga seotud plaatide soojuserijuhtivuse näitaja keskvärtus on  $\lambda \approx 0,05118$  WmK, mis on üle 10% parem, kui traadiga seotud plaatidel, mille soojuserijuhtivuse keskvärtus  $\lambda \approx 0,05697$  WmK (EMÜ Ekspertiisiakt 2012).



Joonis 5.10. Masinaga toodetud pillirooplaatide soojuserijuhtivus (M-J. Miljan)

## 5.8. PILLIROOST TOODETE ENERGIAMAHHUKUS

M. Miljan, J. Miljan, EMÜ maaehituse osakond

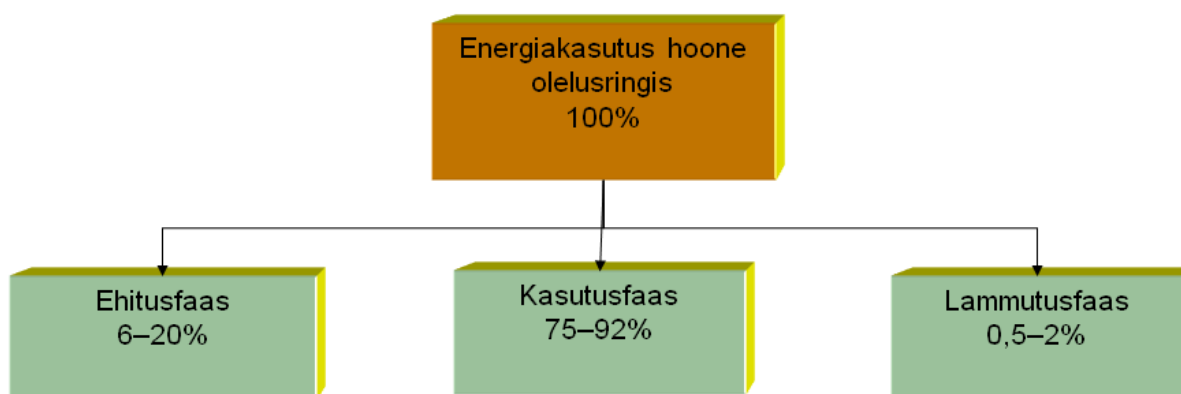
Elu säilimise nimel tulevikus mõtleb inimkond üha enam säästlikumale tarbimisele (ja seda kõigis eluvaldkondades). Eesmärgiks on tagada jätkusuutlik elu Maal, st et inimesed ei tarbiks rohkem ressursse, kui maakera suudab toota ja jäätmeid vastu võtta. Iga inimese elutegevuse jaoks vajaliku maa pindala suurust nimetatakse ökoloogiliseks jala-



jäljeks. Looduse võimet seda koormust vastu võtta nimetatakse eluslooduse kandevõimeks. Neid mõlemaid suurusid arvutatakse globaalhektarites inimese kohta aastas (gha/in.a). Üks globaalhektar on tingühik, mis vastab maakera bioloogilise tootlikkusega hektarile (ökotalajalg, Wikipedia 2013). Ökoloogilise jalajälje suurus mõjutab nii otseselt tarbitavat energiat (valgustus, küte, soe vesi jne) kui ka kaudne energia, mida läheb vaja toodete valmistamiseks.

Ehitussektor on üks suuremaid energia kasutajaid. Praegu kehtivates hoonete energiatõhususe miinimumnõuetes määratakse hoone piirete energiatõhususarv, mis iseloomustab hoone kompleksset energiakasutust. Energiatõhususarvu piirväärtusi ei tohi ehitatavate või oluliselt rekonstrueeritavate hoonete puhul ületada. Hoone kasutusfaasis tarbitakse aga ainult osa energiast mugava sisekliima ja olme kindlustamiseks.

Norra teadlane Björn Berge on toonud oma raamatus „Ökoloogilised ehitusmaterjalid“ protsentuaalse energiakulu hoone olelusringi erinevates faasides (joonis 5.11).



**Joonis 5.11.** Energiakasutuse jagunemine hoone olelusringi faaside vahel (Berge 2009)

Kasutusfaasis (arvutustes võetakse elumaja kasutusajaks 30 aastat ja tootmishoonetele 20 aastat) kuluv energia moodustab küll üldistest energiakuludest suurima osa, aga kuni 20% kogu energiakulust jäetakse praegu tähelepanu alt välja. Ei arvestata ehitusmaterjalide tootmisele, ehitamisele, remondile ja hoone lammutamisele kulutatavat energiat.

Ehitusfaasis kuluva energiakoguse arvutamisel arvestatakse ehitusmaterjalides sisalduvat energiahulka mitmel meetodil. Kõige täpsem neist on nn protsessianalüüsi meetod, milles uuritakse protsesside energiakulu üksikhaaval ja kõik energiatarbijad proovitakse võimalikult täpselt arvesse võtta. Meetodi keerukus seisneb valikutes: mida jätta arvestamata energiamahukuse arvutamisel. Näiteks kas võtta arvesse tootmiskoha valgustusele ja kütmisele kulunud energiat või töstuki sõitmisel kulunud kütusekogust või mitte. Kirjeldatud meetod on väga töömahukas ja probleemiks võib olla usaldusväärse info kättesaamine tehastest ja tootjatelt, sest paljud ei soovi ärielistel kaalutlustel oma kulusid avalikustada. Kokkuvõtteks võib öelda, et see meetod on aeganõudev ja seetõttu ka kallis. Oluliselt lihtsam ja üldistav on sisend-väljund-meetod, kus energiakulu arvutatakse statistika andmete põhjal. Palju kasutatakse kombineeritud meetodit, kus arvutustes võetakse aluseks mõlema meetodi head pooled.

Sõltumata kasutatavast arvutusmeetodist peame määrama aja, mille jooksul tootmisprotsessides kulutatud energia arvesse võtta. Materjalide energiamahukust saab ajalises mastaabis hinnata kolmel meetodil:

1. Hällist-hauani (*cradle to grave*) meetodil arvutatakse hoone ehitamiseks kasutatavate materjalide energiasaldus kaevandamishetkest kuni utiliseerimiseni. Sel juhul püütakse arvesse võtta kogu kulunud energia alates toorme hankimisest kuni tootmise, turustamise, transpordi, materjalide paigaldamise ja hoone lammutamiseni, arvestades lisaks ka hoone eksploatatsiooni käigus kulutatud remondimaterjalide energiamahukust. Selline meetod on väga täpne, kuid keeruline, tömahukas ja kallid.
2. Hällist-väravani (*cradle to gate*) meetodil arvestatakse materjali saamiseks kulutatud energiat samamoodi nagu eelmisel juhul, aga ainult kuni tehast väljaviimiseni. Sel moel leitud energiasaldust on lihtne kasutada kui ehitusobjektid asuvad tehast erineval kaugusel.
3. Hällist-platsile (*cradle to site*) meetodit kasutades liidetakse eelmise meetodiga arvatud energiasaldusele juurde konkreetse kohani transpordiks kulutatud energiakogus.

Ehitusmaterjalide energiamahukuse arvutamisega tegelevad paljud uurimisasutused, aga ka tootmisettevõtted, kus arvutatakse toote ühiku valmistamiseks (kg, m<sup>3</sup> vm) kulutatud energiahulka. Suur ehitusmaterjalide energiamahukuse andmebaas on koostatud Suurbritannias Bathi Ülikoolis. Selles andmekogus on nii tootjate endi kui ka uurimisasutuste jt poolt arvatud energiamahukuse väärtused. Materjalide energiasaldus on saadud kogu tootmisprotsessi analüüsimisel ja kronometreerimisel ning energiakulude mõõtmisel. Energiakulu väljendatakse põhiliselt kWh/kg või MJ/kg (1 kWh = 3,6 MJ). Näited mõningate ehitusmaterjalide energiamahukuse kohta on toodud tabelis 5.7.

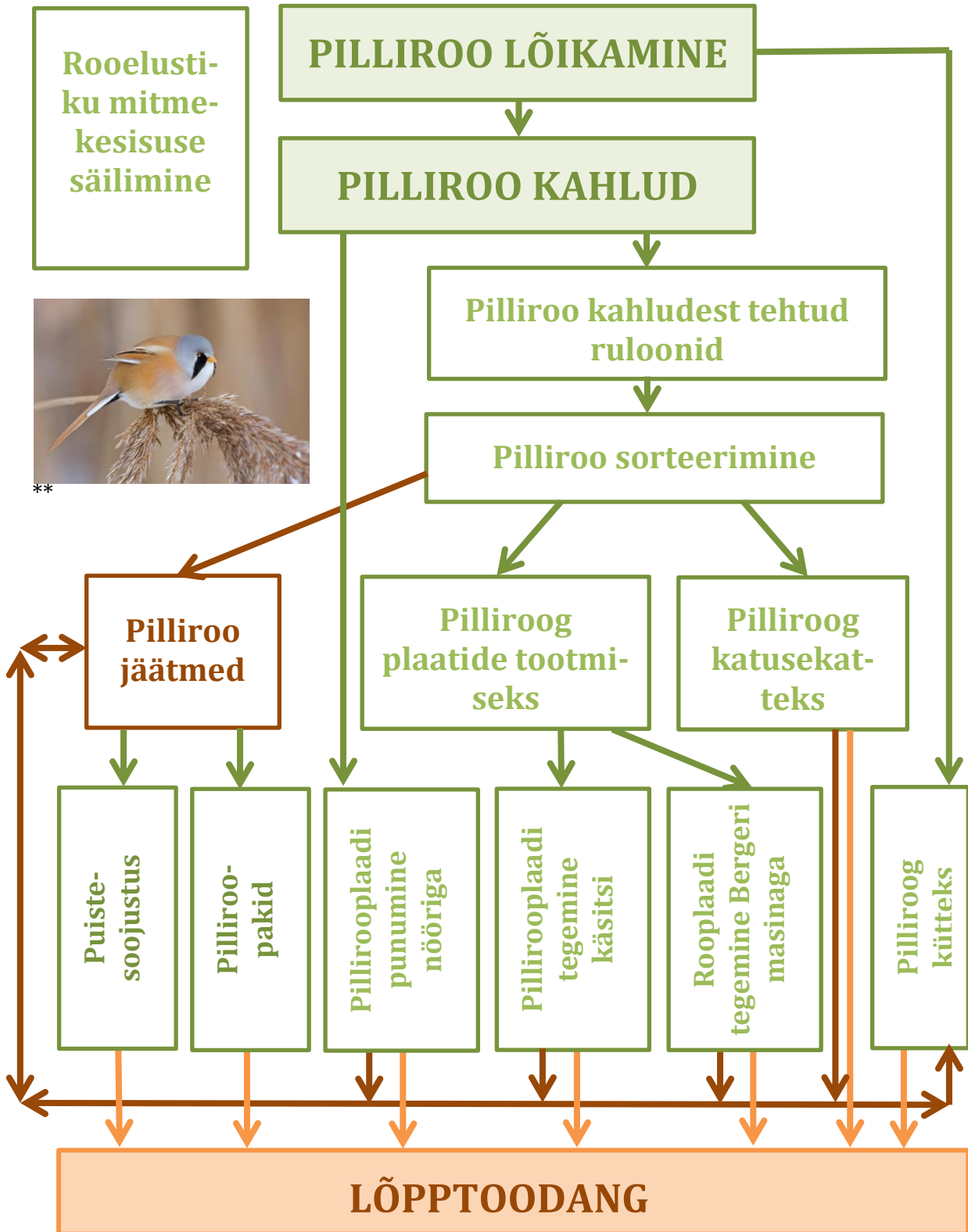
**Tabel 5.7.** Mõningate ehitusmaterjalide energiasaldus erinevate allikate põhjal

Materjal	Energiasaldus, MJ/kg				Min ja max kW/h
	Ülikoolide uuringud		Tootjate andmed		
	Bath*	Victoria		Teabeallikas	
Klaasvill	28	32,1	43	Isover	7,8–11,9
Kivivill	16,8	–	14,4/17,3	Paroc/Rockwool	4,3–4,8
Betoon	0,82	1,5	0,85	Soome tootjad	0,2–0,4
Polüpropüleenöör	80,5	–	–	–	22,4
Terastraat ja -lint	35	–	–	–	9,7
Ehituspuit	7,4	3	4,3	Soome saeveskid	0,8–2,1
Vahtpolüstürool				ThermiSol	12,5–
	88,6	44,3	85,7	Rootsi	14,6
Diislikütus MJ/l		–	35,86	Wikipedia	9,96

\*Bathi Ülikooli andmebaas

[http://opus.bath.ac.uk/12382/1/Hammond %26 Jones Embodied energy %26 carbon Proc ICE-Energy 2008 161\(2\) 87-98.pdf](http://opus.bath.ac.uk/12382/1/Hammond%26JonesEmbodiedenergy%26carbonProcICE-Energy2008161(2)87-98.pdf)

Selleks, et välja selgitada pilliroo kui ehitusmaterjali saamiseks tehtavad tööd ja kulutatav energia, küsitleti Eestis roogu koristavate ettevõtete juhte ja kronometreeriti tööprotsesside kestust. Pilliroo varumisest, pilliroost toote saamisest ning kasutamisest annab ülevaate joonisel 5.12 toodud skeem.



Joonis 5.12. Pilliroo varumise ja kasutamise plokskeem

\*\*Roohabekas (foto: <http://www.hullumaja.com/?pg=main&i=336586>)



Küsitlusest selgus, et on küll mõningad erinevused tööde tegemisel, aga kokkulangevused materjali- ja ajakulu võrreldes on väga suured. Põhiline erinevus on terasplekklindi kasutamises, kuna osa tootjaid ei paki koristamise ajal kahlusid ruloonidesse ja selle võrra kulub neil pakkelinti vähem. Hiljem muidugi kulub rohkem aega laadimistöõdele.

Roost toote saamiseks arvesse võetud tööoperatsioonid (kõik andmed on võetud võrreldavaks, st 8 tunni jooksul tehtud kulutused ühe rookahlu saamiseks):

- 1) kombaini sõit koristusalale, koristamine (kahlude sidumine) ja sõit tagasi;
- 2) kahlude pakkimine ruloonidesse (kui pakitakse);
- 3) roo laadimine lõikuslalal ja transport sorteerimiskohta;
- 4) sorteerimine;
- 5) katusekatteks kasutatava roo uuesti kahludesse sidumine ja ruloonide tegemine transpordi hõlbustamiseks;
- 6) pilliroo kasutamine kohe rooplaadi valmistamiseks.

Küsitluse ja kronometreeritud andmete põhjal arvutati rookahlu tootmiseks kulunud aeg ja materjalid. Ühe katusekatteks sobiva kahlu tootmiseks kulutati 0,03 l diiselkütust, 2,45 – 3 minutit aega, 2,25 m plastiknööri ja 0,24–0,5 m terasplekklinti. Kokku maksimaalselt 4,51 MJ ehk 1,25 kWh katuse katmiseks sobiva pillirookahlu kohta.

Peab loomulikult märkima, et pilliroo kui looduses kasvava taime saagikus on varieeruv nii aastati kui ka lõikealade kaupa. Sama võib öelda saagi kvaliteedi kohta – mõnel aastal võib kõrre sein olla väga tugev ja paks, siis on rookahl ka raskem, mõnel aastal on kõrs õhukese seinaga ja rookahl kergem. Öeldut arvesse võttes on igati loomulik, et ka rookahlu kaal varieerub 3,5–4 kg piires. 1 m<sup>3</sup> plaadiks pressitud materjali kaal võib olla aga veelgi suurema erinevusega, kõikudes vahemikus 100–175 kg/m<sup>3</sup>.

Eesti pillirookatuste tegijate andmetel kulub 1 m<sup>2</sup> katuse (paksusega 280 mm) katmiseks 10–12 kahlu, seega keskmiselt 38–44 kg materjali. Arvestades katusekatte ruutmeetri tootmiseks kulunud energiahulka nõ tehase väravas saame, et 1 m<sup>2</sup> pilliroost katusekatte materjali energiamahukuseks on 36–46 MJ/kg ehk 10,0–12,8 kWh/kg.

**Tabel 5.8.** Katusekattematerjalide energiasisaldus (\*Bathi Ülikooli andmebaas)

Toote nimi Ja mõõtühik	Energiasisaldus			
	MJ/kg	MJ/m <sup>2</sup>	kWh/kg	kWh/m <sup>2</sup>
Terasplekk*	–	80,2	–	22,4
Betoonkivi*	–	96,9–103,5	–	26,8–28,8
Roogkatus	1–1,4	36–46	0,28–0,39	10–12,8

Nagu tabelist 5.8 näha, on roogkatuse ühe ruutmeetri energiamahukus poole väiksem, kui terasplekk-katusel ja pisut väiksem kui kivikatusel. Siin peab aga meenutama, et

roogkatuse soojuslähivus on palju väiksem kui plekk- või kivikatusel. Sama soojapidava katuse saamiseks peab plekki või kivi kasutades lisama katuse alla soojustusmaterjali kihi.

Lähtudes pillirookahlu energiamahukusest arvatati ka erinevate pillirooplaatide energiamahukus. Saadud andmed on toodud tabelis 5.9.

**Tabel 5.9.** Rootoodete energiasisaldus

Toote nimi ja mõõtühik	Energiasisaldus			
	MJ/kg	MJ/m <sup>2</sup>	kWh/kg	kWh/m <sup>2</sup>
Lahtine roog*	0,47–0,54	–	0,13–0,15	–
Rookahlud	1,1–1,5	–	0,3–0,4	–
Rooplaat, käsitsi valmistatud**	1,7–2,0	6,4	0,47–0,53	1,8
Rooplaat, õhem, kootud pp*** nööri	1,3	4,6	0,36	1,3
Rooplaat, paksem, kootud pp*** nööri	1,7	9	0,47	2,5

\*lahtise roo all mõeldakse koristusala serva toodud rookahlusid, mida ruloonidesse ei pakitagi, vaid veetakse kahludena lattu ja kas sorteeritakse seal katuse katmiseks mõeldud kahludesse või rooplaadi valmistamiseks ilma uuesti sidumata.

\*\*käsitsi valmistatud plaadi paksus 5 cm.

\*\*\*pp – polüpropüleen nööri; plaadi paksused: õhem plaat 2,5 cm, paksem plaat 6,5 cm.

Selleks, et saada ettekujutust erinevate konstruktsioonide energiamahukusest arvatati erinevatest materjalidest ühesuguse soojuslähivusega seinte ühes ruutmeetris materjal sisalduvat energiahulka (tabelid 5.10 ja 5.11).

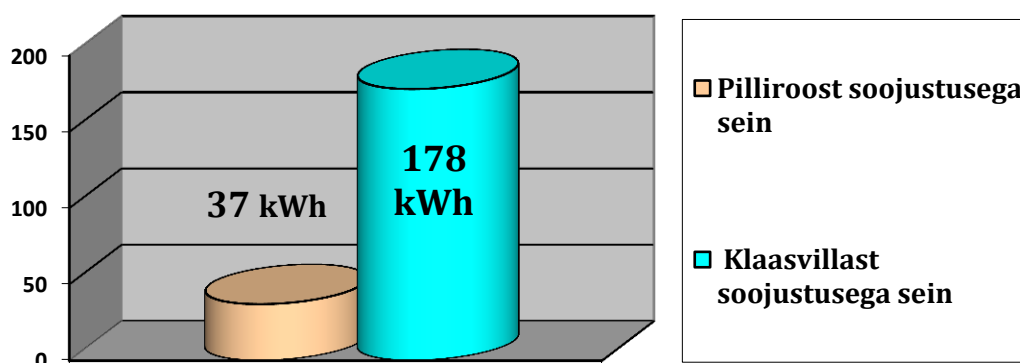
**Tabel 5.10.** Pilliroost soojustusega puitsõrestikseina ühe ruutmeetri energiamahukus ( $U = 0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

Materjal	Tihedus kg/m <sup>3</sup>	Ristlõige või paksus cm	Kaal kg	Energiamahukus kWh sein	
				1 kg kohta	1 m <sup>2</sup> kohta
Puitsõrestik	450	15 x 15	10,12	1,45	14,76
Savikrohv	1700	2 x 5	170,0	0,024	4,08
Pilliroog (kahludes)	170	70	119,0	0,14	16,66
Polüpropüleenööri			0,063	22,40	1,40
Kokku					36,90

**Tabel 5.11.** Klaasvillast soojustusega ja puitlaudisega sõrestikseina ühe ruutmeetri energiamahukus ( $U = 0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

Materjal	Tihedus kg/m <sup>3</sup>	Ristlõige või paksus cm	Kaal kg	Energiamahukus kWh sein	
				1 kg kohta	1 m <sup>2</sup> kohta
Puitsõrestik	450	15 x 15	11,25	1,45	16,31
Puitlaudis	450	2,5	11,25	1,45	16,31
Naelad		0,4 x 120	0,12	9,70	1,16
Klaasvill	25	30	7,5	9,85	73,88
Tuuletõke	100	3	3,0	9,85	29,55
Kipsplaat	900	2 x 1,2	21,6	1,87	40,50
Kokku					177,76

Tabelites toodud andmeid aluseks võttes joonistati tulpdiagramm väikese sooju läbivusega ( $U = 0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) seinte ehitamiseks kulunud materjalide seina ühe ruutmeetri energiamahukuse kohta (joonis 5.13).



**Joonis 5.13.** Erineva konstruktsiooniga seinte ühe ruutmeetri energiasisaldus kWh

Jooniselt 5.13 on hästi näha, kui suur on energiasääst, kui kasutada kohalikke looduslike ehitusmaterjale. Kui võtta arvesse ka materjalide tootmiskoha kaugus ja transpordikulud ehitusobjektile, siis suureneb erinevus kohalike looduslike materjalide kasuks veelgi.

Kahtlemata kulub inimtööd mittetööstuslikest materjalidest ehitades rohkem, aga inimtööjõu kulu pole antud võrdluses arvestatud.

Lõpliku hinnangu andmiseks peaks arvestama veel ehitamiseks, remondiks ja ka lammutamiseks ja utiliseerimiseks kuluvat energiat.



## 6. PILLIROOG KÜTUSEKS

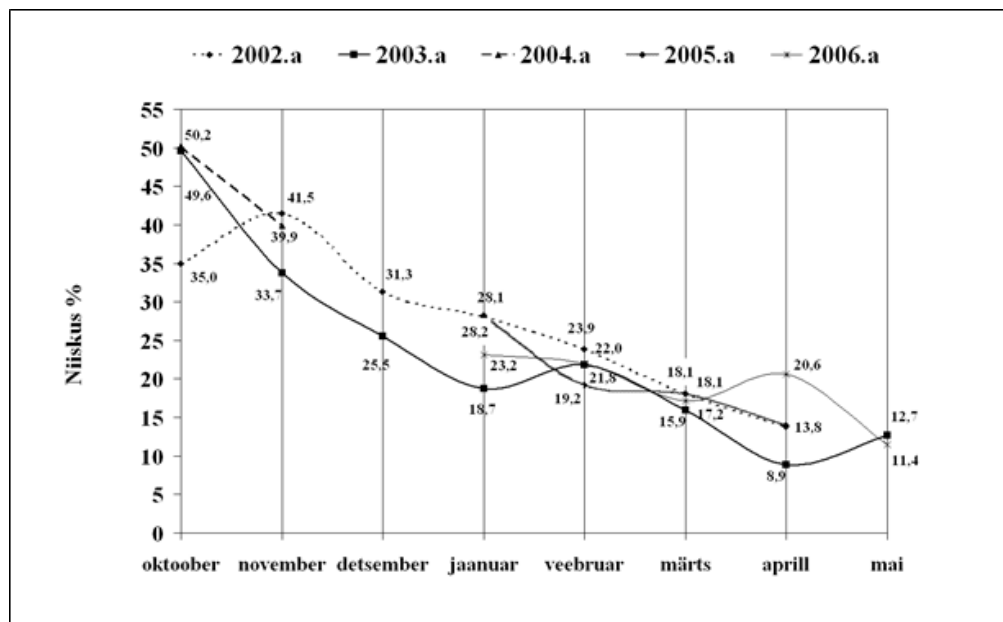
Ülo Kask, Livia Kask, TTÜ soojustehnika instituut

Biomass on üks tähtsamaid taastuvaid energiaallikaid maailmas. Üha enam suureneb vajadus kasutada biomassi energia tootmisel ning sageli toetavad seda ka valitsused oma õigusaktidega. Harilik pilliroog on samuti paljutootav bioenergia allikas (Holmberg 2009). Pilliroogu saab kasutada otsepõletamiseks tahke biokütusena, vääristada pelletiteks või brikketideks ja muundada vedelaks biokütuseks (bioetanool) ning gaasiliselt biokütuseks (sünteesiline gaas, biogaas, biometaan).

Pilliroo kui potentsiaalse kütuse omadusi on seni veel vähe uuritud. Pilliroo põletamiseks ettevalmistamise viis, põletustehnika (kollete pindade saastumine, korrosioon), põletamisrežiimid sõltuvad pilliroo omadustest, mida muudab ja mõjutab kasvukeskkond (heitmete liik ja kogused). Pilliroo põlemistehnilised omadused seega erinevad mõningal määral sõltudes kasvukohast (mererannas või järve kaldal, jõesuudmetes, märgalade heitvee puhastussüsteemides) ja kogumise sesoonsusest (kas suvel või talvel). Kõige tähtsamad põlemistehnilised omadused on: niiskus, kütteväärtus, lendaine sisaldus, tuhasus ja tuha koostis.

### Kütuse niiskus

Suur niiskus vähendab kütuse kütteväärtust, suurendab suitsugaaside kogust ja halvendab süttimist ning põlemist. Pilliroo niiskus oleneb oluliselt aastaajast (joonis 6.1), saavutades looduslikes tingimustes põletusseadmetele sobiva 18–20% niiskusesisalduse harilikult alles märtsis-aprillis, mõnel aastal aga ka varem, jaanuaris-veebruaris.



**Joonis 6.1.** Oktoobrist maini kogutud pilliroo niiskus (2002–2006) TTÜ STI-s tehtud katsetel (Kask, Ü. *et al* 2007)

Sellest järeldub, et parima kvaliteediga pilliroogu kütusena kasutamiseks saaks koguda

keskmiselt 90 päeval aastas (jaanuarist märtsini). Suvel (juuli-august) kogutud pilliroo suhteline niiskus on 56% kuni 69% (enamasti juulis). Kahe aasta (2006–2007) arvutuslik keskmine oli ~60% (TTÜ STI uurimused).

## Kütteväärtus

Pilliroo kütteväärtus on võrreldav teiste taimeliikide ja tahkete biokütuste kütteväärtusega (tabel 6.1). Pilliroo kütteväärtuse määrabki peamiselt tema niiskus, mis sõltub lõikamise ajast (talv või suvi).

Pilliroo kui kütuse orgaaniline aine (OM) koosneb nii nagu puitkütustel (Vares *et al* 2005) peamiselt süsinikust (C), hapnikust (O) ja vesinikust (H), kuid pilliroo kui igal aastal uuesti kasvava taime orgaanilise aine hapnikusisaldus on mõnevõrra suurem ja süsiniku- ning vesinikusisaldus natuke väiksem. Lämmastiku- (N), väevli- (S) ja kloorisisaldus (Cl) on talvel lõigatud pillirooproovides väiksem kui suvel lõigatud pilliroos. Väevlisisaldus puidus on tavaliselt väiksem kui 0,05% (tabel 6.2). Roo elementkoostisest sõltub ka erinevate elementide sisaldus tuhas.

**Tabel 6.1.** Hariliku pilliroo (kuivaine) kütteväärtus ja energiasisaldus võrreldes teiste kütustega (Alakangas 2000)

Kütuse (kütuse lähteaine) nimetus	Alumine kütteväärtus, MJ/kg	Energiasisaldus, MWh/t
Antratsiit	28,2	7,8
Raske kütteõli	40,6	11,3
Maagaas	33,5 MJ/m <sup>3</sup> (46,53MJ/kg)	–
Mänd	19,5	4,15 (õhkuiv)
Raiejäätmed (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%)
<b>Pilliroog</b>	<b>17,8 (talvel)</b>	<b>3,9 (niiskus 20%)</b>

**Tabel 6.2.** Pillirookütuse kuivaine elementkoostis, % (TTÜ STI)

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

## Pilliroo tuhasus ja tuha koostis

Kütuse põlemisel järele jäänud tuhk koosneb mineraalosast ja põlemata kütusest. Normaalse põlemise korral peaks viimase osatähtsus olema tühine või väga väike. Kütuste mineraalosa erinev hulk ja koostis mõjutavad oluliselt põletusseadmete konstruktsiooni, materjali ja põlemisrežiimide valikut.

Talvel varutud pilliroo tuhasus on 2,1–4,4 %, keskmiselt 3,2 %, kuid suvel lõigatud pillirool on see näitaja oluliselt suurem 4,1–6,2 %, keskmiselt 5,4 %. Pilliroo tuhasus on suurem kui näiteks puidul (kuni 2,0%, keskmiselt 0,5–0,7%), kuid põletamisel suuremates kateldes see erilisi probleeme ei põhjusta (Graneli 1984). Andmed pillirootuha keemilise koostise kohta esitatakse tabelis 6.3. Vahemik tähendab, et 14 erinevast kasvukohast võetud proovid olid kõik veidi erineva keemilise koostisega (Kask *et al* 2007).

Suvel ja talvel kogutud pilliroo tuha keemiline koostis erineb oluliselt SiO<sub>2</sub>- ja K<sub>2</sub>O- sisalduse poolest. Talvel kogutud pilliroog oleks oma tuha koostise poolest märksa parem kütus põletusseadmetes kasutamiseks. Suvel kogutud ja kuivatatud pilliroo tuhk sisaldab olulisel määral leelismetalle, mis mõjutavad nii tuha sulamist, tuhasadestise teket küttepindadele kui ka katelseadme metalli korrosiooni.

**Tabel 6.3.** Pilliroo tuha keemiline koostis % määratud temperatuuril 550 °C (TTÜ STI)

Komponent	Piirid		Keskmine	
	Talvine	Suvine	Talvine	Suvine
SiO <sub>2</sub>	65,34–85,50	25,90–48,33	77,77	37,10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,13–0,84	0,17–1,69	0,29	0,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> O	1,96–9,05	0,87–10,98	3,19	3,61
K <sub>2</sub> 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

## Tuha sulamistemperatuurid

Tuha sulamistemperatuurid sõltuvad nii selle elementkoostisest kui ka mineraalosa komponentidest. Sageli käsitletakse tuha sulamistemperatuuri sõltuvana tuha aluseliste komponentide summast või aluseliste ja happeliste komponentide suhtest. Tuha sulamistemperatuur sõltub ka katse keskkonnast: taandavas ja pooltaandavas keskkonnas on sulamistemperatuur üldjuhul madalam kui õhu oksüdeerivas keskkonnas. (Paist *et al* 2007)

Mõned talvel ja suvel kogutud pilliroo tuhaproovide sulamistemperatuurid on antud tabelis 6.4.



**Tabel 6.4.** Pillirootuha sulamistemperatuurid (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

On oluline märkida, et suvel lõigatud pilliroo tuhasta proovikeha sulas ära temperatuuril alla 1200 °C; esialgne deformeerumine toimus temperatuuridel alla 800 °C. Teisest küljest ei sulanud talvise pilliroo tuhk ühtlaselt ära isegi 1330 °C juures; ainult ühel proovil oli näha mõningast deformeerumist ~800 °C juures. Võib öelda, et keskmised suvise ja talvise pilliroo tuha sulamistemperatuurid erinevad 200 °C (Kask *et al* 2007). Talvel lõigatud pilliroo põletamisel saadud tuha leelismetallide sisaldus on oluliselt väiksem, kui suvel korjatud rool ja seetõttu on ka selle tuha sulamistemperatuur oluliselt kõrgem, mistõttu tuha paakumise ja sulamise oht on põletamisel kõrge temperatuuriga leegis väiksem, niisamuti nagu küttepindade tuhaosakestega saastumise ja restide rübustumise oht. Ka kiirendavad korrosiooni kloori- ja väävliühendid (nt pürosulfaadid), mille sisaldus on talvel koristatud pilliroos samuti väiksem (Kask *et al* 2013). Seega tuleb pilliroogu kui katlakütust tingimata varuda talvel, kui toitained ja mineraalid on akumulunud juurtesse ja lehed on langenud (Kask *et al* 2007). Järelkuivatatud suvist roogu saab põletada madala temperatuuriga koldes, aga ka mulliva või ringleva keevkihiga koldes, temperatuuril umbes 850 °C.

### Vääristatud pillirookütused (tahked, vedelad ja gaasilised)

Energia tootmiseks on olemas erinevad tehnoloogiad: osa neist on juba müügis, mõned alles katsetamisjärgus. Kui biomassist kütuseid kasutatakse roostikest eemal, tuleb põletusseadmete kasutajatel ja ka teistel tarbijatel pilliroogu materjalina tihendada või muundada, selleks et pilliroo biomassi oleks võimalik ökonoomselt suure vahemaa taha transportida. Tahket pillirookütust saab tihendada pillirookõrte tükeldamise teel (5–10 cm) lühikesteks juppideks, pakkideks või pallideks pressimise teel, pelletite ja brikkide valmistamise teel, millele võib järgneda ka kas söestamine (biosüsi) või röstimine (torrefitseerimine). Nagu varem selgitatud, sobib tahke pillirookütuse tootmiseks paremini talvel koristatud pilliroog. Ühe 400 kg ja 20% niiskusega palli primaarenergia sisaldus on umbes 1,5 MWh. Teine võimalus pilliroo energiatiheduse suurendamiseks on vedelate ja gaasiliste biokütuste tootmine, nagu nt biogaas, biometaan, sünteetiline gaas (pürolüüsi produkt), bioetanool. Neid on sobiv toota suvisest pilliroost. Talvel kogutud

pilliroost saab toota nt bioõli. Silmas tuleb pidada aga, et suvine niitmine võib kahjustada roo risoome ja aeglustada nende kasvu.

TTÜ soojustehnika instituudis saadud tulemuste põhjal on mehaaniliselt töödeldud pilliroog osutunud sobivaks kütuseks ka tavakasutusega ahjudes ja keskküttekateldes. Kütuse ja põletusseadmete käitamise optimeerimise eesmärgil oleks vaja lahendada roo muutuva kvaliteedi probleemid ja teha täiendavaid katseid. Ka hariliku pilliroo koristusajast ja asukohast sõltuvad muutuvad omadused koospõletamisel teiste biomassil põhinevate kütustega vajavad edasist uurimist.

### Pilliroopelletite ja -brikettide valmistamise seadmed

Väikeses majapidamises saab pilliroopelletite pressimiseks kasutada nt pelletipressi Agri 20, mis valmistab pelletteid läbimõõduga 8 mm ja pikkusega 8–40 mm (joonisel 6.2 vasakul). Brikettide pressimiseks on müügil näiteks Taiwan SK Machinery Co Ltd briketipress RL-50BM. Pilliroobrikettide pikkus on umbes 80 mm ja läbimõõt 50 mm (joonisel 6.2 paremal). Kvaliteetsete pelletite soovitatav tihedus on pisut üle 1100 kg/m<sup>3</sup>, 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 tavaliselt 600–650 kg/m<sup>3</sup>.

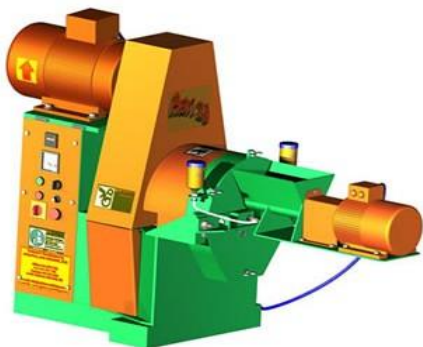


**Joonis 6.2.** Pilliroopelletid (vasakul) ja pilliroobriketid (paremal) (fotod: Ülo Kask).

Pelletipress Agri 20 (joonisel 6.3) on valmistatud Lõuna-Aafrika Vabariigis. Kahe rohtse biomassiliigi segu kasutamisel, milles 80% on alfa-alfa (*Medicago sativa*) ja 20% mais, on selle pressi tootlikkus vahemikus 150–200 kg pelletteid tunnis. Pilliroost pelletite pressimiseks peab tooraine olema kuiv (niiskusega 14–16%) ja tükeldatud väikesteks juppideks pikkusega 2–3 mm.

Masinast väljuvad pilliroobriketid ja -pelletid paisuvad jahtudes veidi ja võivad lõheneda/murenedada. Kuumad biomassist briketid ja pelletid tuleks seetõttu enne nende maha jahtumist pakkida õhukindlalt nii ruttu kui võimalik, et nad ei imaks endasse niiskust, mis toodet murendab. Pelletid on väga tihedad ja neid saab toota väiksema niiskusega (alla 10%), mis võimaldab nende põletamist väga kõrge põlemise kasuteguriga.

Pilliroopelletite ja -brikkide kütteväärtus on üle 16,5 MJ/kg (4,7–4,8 MWh/t), mis tähendab, et 2 tonni pilliroopelletiteid võrdub energiasisalduselt ca 1000 liitri kütteõliga.



**Joonis 6.3.** Pelletipress Agri 20 rohtse biomassi pressimiseks

Lihtne kuivatamise meetod nõuab 0,8 MWh soojust tonni pelletite kuivatamiseks niiskusesisalduseni 8–10%, samas võivad kaudsed meetodid 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.

## Biogaas ja bioetanool

Väga vähe on katsetulemusi pilliroo kasutamisel biogaasi ja bioetanooli tootmiseks. Talvine pilliroog on selleks liiga kuiv, mistõttu **biogaasi tootmiseks** on võimalik kasutada ainult suvist pilliroogu. Metaanibakteritele sobivate toitainete sisaldus on talvises pilliroos samuti väiksem kui suvises, mis vähendaks veelgi saadava biogaasi kogust ja metaani sisaldust selles (Komulainen *et al* 2008). Tallinna Tehnikaülikooli keemia instituudis läbi viidud eksperimentaaluuringu tulemustest selgus, et biogaasi saagis suvel lõigatud pilliroost on umbes 0,14–0,19 m<sup>3</sup>/kg (140–190 m<sup>3</sup>/t) ja biogaasi kütteväärtus on ligikaudu 6 MWh/1000 m<sup>3</sup> (Kask, avaldamata andmed). Teine uuring Soomes (Jagadabhi *et al* 2011) näitas, et kaheastmelisel anaeroobsel kääritamisel on toorest pilliroost võimalik saada metaani saagisega 0,260 ± 0,008 m<sup>3</sup>/kg, mis on võrreldav maisisilost saadava biogaasi saagisega, mis on ca 0,20–0,23 m<sup>3</sup>/kg toormaterjali kohta (Põllumajanduses... 2005).

Biogaasi tootmisjäätina tekkinud muda (kääritusjäät) saab kasutada orgaanilise väetisena. Loodusliku pilliroo koristamine suveajal võib aga tekitada probleeme võimalike negatiivsete keskkonnamõjude tõttu, sest peamiselt saavad kahjustada madalates vee kogudes kasvava pilliroo risoomid.

Lignotselluloosne biomass (sh pilliroog) on atraktiivne alternatiivmaterjal **bioetanoolkütuse** tootmiseks. Bioetanool on alkohol, värvitu vedelik, mille keemiline valem on C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH. Tänapäeval saadakse bioetanooli peamiselt suhkrupeedi, suhkruroo, maisi, odra, nisu, puitbiomassi või musta leelise kääritamise teel ja tootmiseks on tavaliselt vaja mahukaid seadmeid. Lignotselluloosne biomass on kõige rikkalikum taastuvressurss maakeral ja moodustab suure osa munitsipalsektoris, põllumajanduses, metsanduses, tööstuses ja maastikuhooldusel tekkivatest jäätmetest. Lignotselluloossete materjalide kasutamine vähendaks konflikti maakasutuses toidu- ja söodatootmise ning energia- tootmise tooraine varumise vahel. Näiteks märgaladel saab pilliroogu kasvatada (või kasvab see ise) ilma igasuguste väetiste, pestitsiidide ja energia lisamiseta.



Pilliroost vedelate biokütuste tootmise kohta on teada ainult mõned katsetulemused. Nii on Portugali ja Ungari uurimisgrupid üles näidanud koostöövalmidust eesmärgiga välja töötada säästlik tehnoloogia teise põlvkonna bioetanooli tootmiseks, mille lähteaineks oleks toiduks mittekasutatav kohalik pilliroog. Eeldatakse, et bioetanooliks muundamise protsess iseenesest ei põhjusta mingeid suuremaid probleeme ja väga suur pilliroo biomassi saagikus teeb temast pretendendi praegu kaubandusliku bioetanooli tootmiseks kasutatavate põllukultuuride potentsiaalse asendajana (Costa-Ferreira *et al* 2011). Teine uurimus, mille eesmärk oli välja selgitada glükoosisisaldus biomassis ja selle sobivus bioetanooli tootmiseks, viidi läbi Eestis. Uurimistulemused näitasid, et järve äärest kogutud harilikus pilliroos oli glükoosisisaldus üsna samasugune kui rohusilos, aga suurem kui nt päevalilles (Tutt & Olt 2011). See viib mõttele, et pilliroogu saab kasutada bioetanooli tootmiseks, aga vedelate biokütuste tootmistehnoloogiaid tuleb vastavalt kohandada.

Toorme kättesaadavus ja saagikus bioetanooli tootmiseks võivad oluliselt erineda sõltu-des aastaegadest, ilmastikutingimustest ja geograafilisest asukohast. See tekitab probleeme tooraine varumisel ja sellest tingitud hinnamuutused võivad bioetanooli tootmiskulusid palju mõjutada, sest tooraine moodustab tavaliselt rohkem kui ühe kolmandiku tootmiskuludest (Soccol *et al* 2011).

Kuid nagu anaeroobne muundamine, pole ka rohtsest biomassist bioetanooli tootmine, võrreldes teiste muundamisprotsessidega, veel toetusteta konkurentsivõimeline. Iga riik peab leidma parima majanduslikult tasuva meetodi, mil viisil biomassi ja jäätmeid bioetanooli tootmiseks kasutada. Kuid et kasutatavad toorained on väga erinevad, siis sellest tingituna on vaja lahendada palju erinevaid tehnoloogilisi probleeme. Sanchezi andmetel (Soccol C. R. *et al* 2011) võiks nt seente kasutamine biomassi (eriti lignotselluloosse materjali hüdrolüüsimisel) muundamisprotsesse tähelepanuväärselt tõhustada.

### **Pillirookütuse energiaks muundamise võimalused**

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

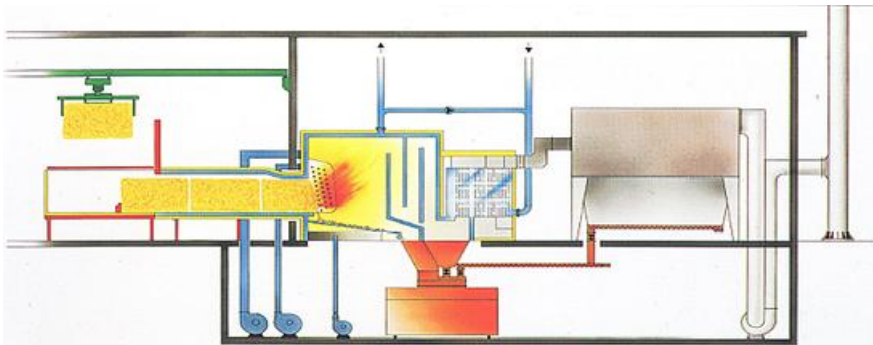
Kõige lihtsam talvise pilliroo kasutamise viis on pallide ja pakkide põletamine selleks kohaldatud kolletes (joonis 6.4). Ühe 400 kg ja 20% niiskusega palli primaarenergia sisaldus on umbes 1,5 MWh. Pilliroopallide põletamiseks on vaja seadmeid, mis sobivad põhupallide ja teiste rohtsete kütuste põletamiseks. Lihtsamate seadmete võimsus ei ületa tavaliselt 0,5–0,8 MW ja keskmine aastane kasutegur pole palju suurem kui 70%. Need seadmed on tavaliselt suhteliselt odavad.

Rohtse biomassi palle (pakke) saab kasutada ka suuremates katlamajades (koostootmisjaamades), kus nad toimetatakse koldesse vastavate etteandmiseadmete abil. Pilliroopallid põlevad ära restil allapoole liikudes või nn sigartüüpi põletites (joonis 6.5). Selle tehnoloogia kasutamisel pole vaja palle eeltöödelda, kuna pallid lähevad tervikuna koldesse.



**Joonis 6.4.** Katel heina-/põhupallide ja -pakkide põletamiseks (foto Ü. Kask)

Nende seadmete võimsus on vahemikus 4–6 MW. Teine võimalus on pallid eelnevalt hakkida ja hakkpilliroog toimetada koldesse kas tigusööturiga või sundõhuvooluga (pneumo-transport). Viimasel juhul kasutatakse kas stokkerpõletiga katlaid või keevkihtkatlaid võimsusega, mis võib ulatuda kümnete megavattideni. Sobiva suurusega tükkideks hakitud rohset biomassi saab põletada segatuna fossiilkütustega, aga ka puit-kütuse või turbaga.



**Joonis 6.5.** Võlundi “sigarpõleti” suurte pallide põletamiseks

Eestis algas pilliroo kasutamine energia tootmiseks Lihula vallas 2010.a pärast vana katlamaja rekonstrueerimist (OÜ Lihula Soojus). Vana põlevkiviõilil töötav katel asendati biomassi põletava Danstokeri katlaga (1,8 MW) eesmärgiga kasutada kohapeal rannaniidudelt niidetud heina-, põhu- ja pilliroovarusid ning puidujäätmeid (joonis 6.6).



**Joonis 6.6.** Heina ja pilliroo lintransportöör (vasakul) ja Danstokeri biomassi katel (paremal) Lihula katlamajas (foto: Ü. Kask)

Katlamaja aastane energiatoodang on 4,2 GWh, mille jooksul kasutatakse ära umbes 1000 tonni heina või pilliroogu, lisaks 200 tonni hakkpuitu. Võrreldes põlevkiviõli põletamisega, aitas uus tehnoloogia vähendada nii CO<sub>2</sub> kui ka SO<sub>2</sub> heitkoguseid 98%. Ka tarbija jaoks vähenes energia hind pärast uue katla kasutuselevõttu 2010–2011. aastal 57,71 EUR/MWh-lt 54,96 EUR/MWh-ni (lisandub käibemaks).

Üks tavaline ja majanduslikult soodne lahendus väikestes katlamajades kütteõlilt pelletite põletamisele üleminekuks on vana õliküttega katla renoveerimine, vahetades õlipõleti pelletite põletamiseks ettenähtud põleti vastu. Müügil on mitmed sobivad pelletipõletid, mis on suhteliselt lihtsad, kuid hästitoimivad seadmed ja üldiselt tekitavad ka vähem heitmeid kui parimad eramute puitkütuse katlad, milles kasutatakse puuhalde või hakkpuitu.

Üldiselt ei ole õlikatlad ette nähtud tuhka sisaldavate kütuste põletamiseks, nagu puitpelletid või eriti rohtsest biomassist pressitud pelletid. Kui siiski tahetakse olemasolevat katelt kasutada, on vaja koldepõhja (või seal asuvat tuhapani) sageli tuhast tühendada, muidu võivad katla järelküttepinnad tuhaga saastuda ja katelseadme kasutegurit vähendada.

Kõik pelletipõletite tüübid ei sobi nt rohtsest biomassist pelletite põletamiseks (TTÜ STI katsete põhjal). Rohtsest biomassist pelletite põletamise täiustatud süsteem koosneb alattoitega kausjast ringpõletist joonisel 6.7 (vasakul), mille rest pöörleb aeglaselt ja millel on kõrgtemperatuurne tsoon üles-alla liikuva kupli all (kupliga reguleeritakse kütusekihi paksust) ja turbulentsne järelopõlemistsoon kupli kohal. Tavaliselt jääb selle seadme võimsus vahemikku, mis on sobiv ühepereelamu kütmiseks (15–100 kW). Joonisel 6.7 (paremal) on näha Austrias toodetud KWB Multifire katel. Võimsust arvestades sobib see katel ka 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 neis saab kasutada erinevat liiki pelleteid.



**Joonis 6.7.** Ringpõleti (vasakul) ja KWB Multifire katel (paremal) (fotod: Ü. Kask)



## Pilliroo põletamise katsed TTÜ soojustehnika instituudi laboris

Tallinna Tehnikaülikooli soojustehnika instituudi katlalaboris on tehtud puhta pilliroo ja pilliroo ning hakkpuidu segu ja pilliroopelletite katsepõletamisi 2002 aastast alates. Katseadmeteks on olnud stokkerpõletiga 250 kW nimivõimsusega hakkpuidu põletamiseks projekteeritud katel ja 30 kW nimivõimsusega kergeõlikatel Molle, millele oli paigaldatud kas Rootsi firmas IWABO toodetud stokkerpõletit Fastighet 30 või pelletipõletit BioLine 25 (joonis 6.8).



**Joonis 6.8.** Pelletipõletit Bio Line 25 (foto: Ü. Kask)

Viimases põles pelletites sisalduv orgaaniline aine peaaegu täiesti ära (~ 98 %) joonisel 6.9 (paremal). Kui pilliroogu põletada mehaanilise tuhaarastusega puitkütuse kateldes, võivad probleemid tekkida tuha eemaldamisega katlast, sest tuha maht on oluliselt suurem, kui puitkütusega kütmisel ja tema struktuur üsna püsiv (Kask *et al* 2007). Joonisel 6.9 (vasemal) näeme stokkerpõletit restile jäänud kohevat ja mittevarisevat tuhakupja.



**Joonis 6.9.** Pilliroo jääk (tuhk) pärast katsepõletamist (vasakul) ja pelletipõletit BioLine 25 põlemisjääd (paremal) (fotod: Ü. Kask)



Pilliroo ja puitkütuse (ka freesturba) segude pooltööstuslikke katseid on TTÜ STI korraldanud ASi Kuressaare Soojus, ASi Eraküte Tartu Aardla katlamajas (selles kasutati luhahaina) ja Orissaare katlamajas Saaremaal.

### Järeldused pilliroo põletuskatses

Parim viis rohtsest biomassist (ka pilliroost) pelletite põletamiseks on teha seda stokkerpõletis, kus kütus toimetatakse ringikujulise ristlõikega põletuspeasse (nn ringpõletisse) tigusööturi abil suunaga alt üles (joonisel 6.7 vasakul). Sel juhul peaks tuhk ühtlaselt üle põleti serva koldesse varisema. Rohtse biomassi põletamiseks peab pelletipõleti rest olema liikuv ja põleti varustatud mehaanilise tuhaarastussüsteemiga. Igat liiki pelleteid saab põletada tavalistes ahjudes, kui koldesse paigaldatakse õhu juurdepääsuks spetsiaalne paljude peente aukudega tulekindlast materjalist korv.

Pilliroost brikette testiti ka tavalistes ahjudes (restita kolle). Ühel juhul pandi briketid puuhalgude peale ja teisel juhul põletati ainult pilliroost brikette. Briketid süttisid kergesti ja põlesid tugeva leegiga. Kui briketid laoti koldesse üksteise peale, siis ülemine kiht põles hästi, kuid kuna tekkinud tuhk ei varisenud kokku, vaid säilitas esialgse vormi, siis mattis see alumised kihid enda alla (ka halud, kui briketid olid nende peale laotud). Tuhakiht hakkas takistama õhu juurdepääsu alumistele brikettidele (või halgudele) ja ei võimaldanud neil korralikult ära põleda. Seetõttu tuleks kütusekuhilat põletamise käigus aegajalt segada. Pilliroobrikettide põletamine restkoldega ahjus võib anda veidi paremaid tulemusi kui umbpõhjalises koldes.

Pilliroo brikettide põletamine tavalises ahjus (ka pliidi all) on seetõttu üsna ebamugav, sest kütust tuleb sageli segada ja tuhka tekib suhteliselt suures koguses.

Pooltööstuslike katsepõletamiste tulemuste kohta võib öelda seda, et lisakütusena on pillirool turuosa nende bioenergiajaamade varustamisel, kus peamiselt kasutatakse puitkütust (kuigi mitte ainult, sest saadaval on ka mitmed heintaimed ja turvas). Siiani on takistanud pilliroo kui kohaliku bioenergiaallika laialdasemat kasutuselevõttu selles tööstusharus ettevõtjate ja korraliku koristustehnika puudumine ning asjaolu, et pilliroog on hooajaline biokütus. Pilliroo kasutamine väikestes katlamajades ja kütteseadmetes on palju perspektiivikam, eriti ehitusmaterjalide tööstuses, kus pilliroojäätmed võiks muundada kütuseks kohapeal.

Pilliroo kasutamist põletamiseks võib piirata ka transpordi kõrge hind pikemate vahemaade taha. Sel juhul on vajalik toormaterjali tihedust suurendada. (Komulainen *et al* 2008). Ka pilliroo suhteliselt suur tuhasus nõuab sobivate tehnoloogiate rakendamist.

## 7. PILLIROOG KÄSITÖOMATERJALIKS

Sirje Keskküla, EMÜ maaehituse osakond

Pilliroog kui teada-tuntud ja laialt levinud taim on aluseks mitmetele müütidele. Vanakreeka mütoloogias karistas jumal Apollon kuningas Midast, kes tema üle nalja heitis sellega, et laskis talle kasvada eesli kõrvad. Midas häbenes seda ja kandis edaspidi ainult suuri turbaneid ja kübaraid. Mõne aja pärast aga kasvasid kuninga juuksed nii pikaks, et neid tuli lõigata. Midas oli sunnitud mütsi ära võtma ja juuksur nägi tema pikki kõrvu. Juuksur pidi surma ähvardusel vanduma, et ta ei räägi kuninga kõrvadest kellelegi. Saladuse hoidmine osutus aga tema jaoks liiga raskeks. Lõpuks ei saanud ta teisiti, kui kaevatas jõe kaldale augu ja sosistas sinna sisse: "Kuningas Midasel on eeslikõrvad!" Seejärel ajas ta augu kinni ja saladus teda enam ei vaevanud. Järgmisel kevadel kasvas august välja pilliroog ja kui tuul seda liigutas, siis kohises pilliroog kuuldavalt: "Kuningas Midasel on eeslikõrvad." Nii sai kogu rahvas kuninga kõrvadest teada.

Piiblis mainitakse pilliroogu samuti. Moosese ema pani kolmekuu vanuse Moosese pilliroost tehtud tõrvatud ja vaiguga tihendatud korvi ja viis selle Niiluse jõe äärde kõrkjatesse, kust vaarao tütar korvi leidis, poisile halastas ja ta üles kasvatas (2 Mo. 2:3–6). Väidetavasti olevat Noa laev tehtud goferipuust ning seest ja väljast tõrvatud (1Mo 6:14). Mis puu on goferipuu, seda pole täpsemalt selgitatud, kuid heebrea keeles nimetatakse korvi, milles Mooses Niiluse kaldale pandi sama sõna kasutades ning seetõttu oleks alust oletada, et ka Noa laev oli valmistatud pilliroost. (Wikipedia 2013)

Vanas Egiptuses valmistati pilliroost stiiluseid, millega kirjutati kas papüürusele tinti kasutades või kraabiti pehmele savitahvlile piltkirja. Seega võib väita, et pilliroog on andnud oma panuse ka inimeste haridustaseme tõusu.

Juba keskajal kasutati pilliroo õisikuid madratsite ja patjade täiteks. Samal otstarbel kasutati pööriseid aga ka veel möödunud sajandi alguses, kuivatades neid suitsusaunas, et pisiputukaid hävitada ja saada meeldivalt suitsulõhnaline padjatäide. (ProNatMat 2012)

Pilliroogu sõid kevadel vara veised ja lambad, aga nälja ajal kõlbas ta inimestelegi toiduks. Pilliroojuurikatest tegid meie kauged esivanemad jahutoitu ja oletatud on, et kesistel aastatel võis see teatud piirkondades olla isegi põhitoidus. Ning mitte ainult nälja ajal ei sööda pilliroogu. Internetist toiduretsepte otsides leiab sellise: hariliku pilliroo (*Phragmites communis*) risoomi uinuvatest pungadest puhkevad kevadel ja suvel noored nõorjad kahvaturohelised võrsed. Lõika need enne lehtimist ära ja keeda soolavees ning söö nagu sparglit. Pilliroovõrse maitset peavad gurmaanid spargli omast isegi vürtsikamaks (tervis...2013).

Tegelikult oleme meie siin põhjamaadeski jõulukroone valmistades muistse usundi edasikandjad. Pilliroost jõulukrässide kohta öeldi, et jõulude ajal lakke või mujale tuppri-putatud krässid koguvad endasse kõike negatiivset, nõ halba väge ja sellepärast tuleb krässid ja ohutised pärast jõulu ära põletada. (Linnades tehakse praegu sama jõulukuuskedega – põletatakse nad suurtes lõketes.) Halba väge endasse kogunud krässe pole mõistlik jätta aastaks kuhugi kapi peale järgmisi jõule ootama. Nad on küll sageli väga

ilusad, aga nende juures on oluline ka see, et nende meisterdamine on väärtus omaette. Nende riputiste tegemine valmistab inimestele rõõmu ja naudingut ning seda on ju hea igal aastal uuesti kogeda. (Kerge, R. 2010)

Satu Paananen on oma artiklisse käsitööst siiski leidnud pildi Soomes tehtud vanast jõulukaunistusest (joonis 7.1) (Paananen 2013:95). Arvutiajastul aga õpetatakse krässide tegemist internetis (joonis 7.2).



**Joonis 7.1.** Rookõrtest valmistatud jõulukaunistus 1920-ndast aastast (foto: E. Hagelberg)



**Joonis 7.2.** Lihtsaim jõulukroon (foto: e-õpe 2013)

Tänu isoleerivatele omadustele on roogu võimalik kasutada näiteks kuuma poti alusena, või pingi katteks (joonised 7.3 ja 7.4).



**Joonis 7.3.** Kuuma poti alus

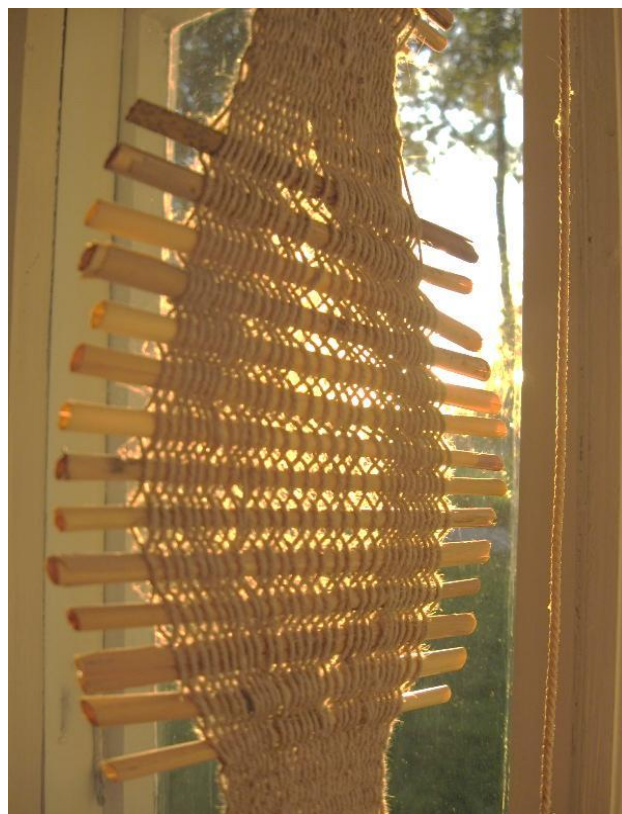
(Mõlemad fotod S. Paananen 2013)



**Joonis 7.4.** Istmekate, mis tundub soe ka külma ilmaga (foto: S. Lehti-Koivunen)



Soomlased on väga agarad igasugust käsitööd tegema ja fotosid nende tehtud põnevatest roost esemetest võib leida erinevatest kogumikest (joonised 7.5 ja 7.6).



**Joonis 7.5.** Lambivari. Valmistaja Cornelius Colliander (foto: O. Tuomela) (Paananen, S. 2013)

**Joonis 7.6.** Aknakaunistus. Valmistaja Terhi Huuskonen Kaarinast (foto: O. Tuomela)

Pilliroog kui käsitöömaterjal annab kunstimeelega osavale inimesele palju võimalusi erineva otstarbega huvitavate esemete valmistamiseks (joonised 7.7, 7.8 ja 7.12).

Kuigi roogu on punutiste tegemiseks raskem kasutada kui nt kasetohtu, on see siiski võimalik. Rookõrre sisse lõigatakse lõhe ja lükatakse seda kuuma triikrauaga pikemaks seni kuni kogu kõrs on poolitatud. Sel moel saadakse laiemad ribad ja need on punumiseks sobivamad. Ribadest on võimalik valmistada väga erinevaid tooteid.



Käekott

Pudelikatted

Kohvrike

**Joonis 7.7.** Kõik esemed on väidetavalt pilliroost (fotod: Suurbritannia netigalerii 2013)





Pilliroost punutud kauss



Roopill



Pilliroost linikud

**Joonis 7.8.** Mitmesugust käsitööd pilliroost (Ungari 2013)

Eestis Mahu rannas korraldatakse 2004 aastast alates igal aastal pilliroo festivali. Sealse tegevuste seast leiab nii mõnegi, mida pildile jäädvustada (joonis 7.9 ja 7.11).



**Joonis 7.9.** Marianne Peek Mahu roofestivalil roost sulgede tegemist õpetamas (foto: E. Kask)

Kui inimesed juba hoogu sattuvad, siis ei ole mingi probleem ka roost rõivaid valmistada. Joonisel 7.10 näha olev kolleksioon oli välja pandud Mahu roofestivali ajaks.



**Joonis 7.10.** Pilliroost rõivaste kolleksioon Mahu roofestivalil (foto: Ü. Kask)





**Joonis 7.11.** Roost esemed Mahu roofestivalilt (foto: Ü. Kask)



**Joonis 7.12.** Rookõrtest valmistatud pilt Hiinast (Hiina 2013)

Hiinas valmistatakse rookõrtest lõhna levitamiseks torukesti, mis pannakse lõhnaga täidetud anumasse. Läbi pilliroost toru kerkib lõhn kõrgemale ja levib laiemale alale. Hiina käsitöömeistrid pakuvad netis müügiks ka pilliroost tehtud pilte (joonis 7.12).

Kuulus norralane Thor Heyerdahl ehitas oma laevad bambusest ja papüürusest, Koosa külaelanikud aga ehitasid küla päeva ajal endale pilliroost paadi (joonis 7.13).



**Joonis 7.13.** Koosa küla päeva ajal 21.08.2009 pilliroost ehitatud paat (foto: <http://nagi.ee/photos/kora1/12264215/in-set/221717/>)



## KOKKUVÕTE

On siis roog rist ja viletsus või lust ja rõõm? Eks see sõltub sellest, millise mäta otsast asja peale vaadata (fotod 7.14 ja 7.15).



**Joonis 7.14.** Roohabekas rookõrrel  
(foto I. Tiitre)



**Joonis 7.15.** Sõtkas roos  
(foto R. Savisaar)

Kui üles lugeda kõik need võimalused, mida roog pakub, alates ehitus- ja lõpetades kütte- ning käsitöömaterjalina, siis tundub, et roogu võiks rohkemgi olla ja kõik kuluks ära. Tegelikuses on roostunud rannaäärte tõttu kadunud harjumuspärased merevaated ja tihedasse roopuhmikusse ei taha elama asuda ei linnud ega kalad. Sellepärast räägitakse üha rohkem roostike hooldamisest.

Tasakaalu leidmine roo kasutamise ja roostike ning nende liigirikkuse kaitse vahel on väga tähtis. Kvaliteetne elurikas roostik on mosaiikne, veesilmad ja roopuhmad vahelduvad ja roog ei ladestu paksu kihina. Rooalaid saab lihtsamini hooldada koostöös rooniitjatest ettevõtjatega. Kuigi paljud leiavad, et looduskaitse ja majanduslike eesmärkidega roovarumine kokku ei sobi, on roostike hooldamine vajalik ka sealse elustiku heaolu silmas pidades ja ühiselt tuleks leida kompromissid, mis tagaksid loodusväärtuste säilimise ja keskkonnasõbraliku toorme varumise. Hea tahte korral on see võimalik. (Lotman ja Lotman 2013)

## KIRJANDUS :

Almemo®Manual. Kõigi Almemo® mőõteriistade jaoks kuni versioonini 6.5.  
Holzkirchen, 2005 (inglise keelne)

Akermann, K., Miljan, J. 2012 Kergsaviide soojustehnilised ja mehhaanilised omadused ja nende kasutamine ehituses. EMÜ kogumik Kohalikud looduslikud ehitusmaterjalid ja nende kasutamine lk 15 - 26. Tartu

Alakangas. E., 2000. Suomessa käytättävien poltoaineiden 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 pjovimo, siekiant iš mariu pašalinti dalį biogeniniu medžiagu, galimybiu studija, Pagal sutartį su aplinkos apsaugos agentūra (In Lithuanian), 70 p

Bergholm, J. 2012. Opinnäytetyö. Rakennustekniikan koulutusohjelma. TUAS

Brandveilige rieten daken Detaillering gelijk-waardige oplossing SBR Rotterdam september 2010, 64 lk

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.

Building conservation 2013

(<http://www.buildingconservation.com/articles/longstraw/longstraw12.jpg>)

Changes to AD J 2010:10 by M. Growther Gastrec at CRE Ltd

<http://www.eminnovation.org.uk/documentview.aspx?WCI=htmGPEView&WCU=CBC=Document.STATE=DSCODE%3DEMDANEWS~pNEWSITEMID%3D10-N485~pSEARCH%3DDDS%3DLIVE~tpFW%3D3~tpFF%3D255~tpUT%3DSH%3DKZQ1063H1Q~pUDATA%3DNEWSVIEWBACK%3DARCHIVE,DOCID=D277>

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

Deveikytė, S., Mažuolis, J., Vaitiekūnas, P. 2012, Experimental Investigation into Noise Insulation of Straw and Reeds, Vilnius Gediminas Technical University ISSN 2029-2341 2012 4(5) pp 415-422

Devon 2013 <http://www.devon.gov.uk/thatching.pdf>

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

Energiatõhususe miinimumnõuded <https://www.riigiteataja.ee/akt/105092012004>

engineeringtoolbox 2013.12.08. ([http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d\\_429.html](http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html))

e-ope ... 2013 [http://www.e-ope.ee/download/euni\\_repository/file/2416/eesti%20rahvakunst.zip/julukroon.html](http://www.e-ope.ee/download/euni_repository/file/2416/eesti%20rahvakunst.zip/julukroon.html)

EP 1 464 772 [Int. Cl. E04D 9/00 (2006.01)]: Katusekonstruktsioon ja meetod rookatuse katusekonstruktsiooni paigaldamiseks

esru ... 2013.12.08.:34-71  
([http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/89/thermop\\_rep.pdf](http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/89/thermop_rep.pdf))

ET-2 0506-0676 Roogkatuste tuleohutus 2006 lk 10 Eesti ehitusteave

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

Hiina 2013 (vaadatud 12.08.2013) Pillirookõrtest kujundatud pilt  
[https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR\\_NzsbPxfoAg8sOUKCh7jmeNytF9VQV1cUqKoOkr200YNRm2Bg](https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR_NzsbPxfoAg8sOUKCh7jmeNytF9VQV1cUqKoOkr200YNRm2Bg)

Hiss Reet 2013. <http://www.hiss-reet.com/constructions-with-reed/thatching-in-practice/maintenance-thatched-roof.html>

Hiss Reet 2013. [Hiss Reet http://www.hiss-reet.com/constructions-with-reed/thatched-roof/thatched-roof-architecture/thatched-roof-design.html](http://www.hiss-reet.com/constructions-with-reed/thatched-roof/thatched-roof-architecture/thatched-roof-design.html) Source: Vakfederatie Rietdekkers,

Holmberg, R., 2009. Perspectives for R&D in Bioenergy in the Baltic States. Nordic Council of Ministers, 47 p.  
<http://www.rietdekbedrijf.be/en/services/demossing-thatched-roofs>

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.



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.

Johansson, P., Bok, G., Ekstrand-Tobin, A. Mould Growth in Attics and Crawlspace pp 891-898; Proceedings NSB Tampere 2011

Järviruoko energiakasvina. Tiedotus 210. Vesihallitus, Suomi. Helsinki, 1981. 48 lk

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.

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.

Kerge, R. 2010, Jõulud on muistne maasu püha. *Õhtuleht* 23.12.2010.

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.

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.

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

Kuus, K. 2007 Pilliroog ja selle kasutamine ehituses. Magistritöö tehnikateaduste kraadi taotlemiseks maaehituse erialal. Tartu: EMÜ 59 lk

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

Lautkankare, R. 2007, Reed construction in the Baltic Sea region. – Read Up on Reed. Turku: Vammalan Kirjanpaino OY, p 73-80

Lautkankare, R. 2013 a Guidebook of Reed Business. Determination of Thermal Conductivity of Reed in TRC of Finland pp 27-28. Tartu: EMÜ, lk 106

Lautkankare, R. 2013 b Guidebook of Reed Business. The Mold Test pp 41-44. Tartu: EMÜ, lk 106

Lautkankare, R. 2013 c Guidebook of Reed Business. The Fire Test of Thatched Roofs pp 45-48. Tartu: EMÜ, lk 106

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

Lilleste, K. 2013 a Tartu Kraavikalda 8 mõõtmistulemuste aruanne projekti Cofreen raames ja finantseerimisel (publitseerimata)

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

Lotman, K., Lotman, A. 2013. Roostike kasutamisest ja kaitsest. Kogumik Guidebook for Reed Business, Tartu EMÜ lk 105:16

Lähdesmäki, K., Salminen, K., Vinha, J., Viitanen, H., Ojanen, T., Peuhkuri, R. 2011 Mould growth on building materials in laboratory and field experiments (pp 859-866) Proceedings NSB Tampere 2011

Madalik, A., 2007 The fire safety of reed in construction. Compendium Read up on Reed pp 81-83 Vammalan Kirjanpaino OY

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

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

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

Mätas-, õlg- ja roogkatus. Ehitamine, hooldus ja parandamine, lk 5

<http://www.nokitse.ee/failid/pdf/katus.%20ehitamine%20hooldus%20ja%20parandamine.pdf>

Naturalhomes 2013 (<http://naturalhomes.org/thatch.htm>)

Ojanen, T., Peuhkuri, R., Viitanen, H., Lähdesmäki, K., Vinha, J., Salminen, K. Classification of material sensitivity – New approach for mould growing model pp 867-874 Proceedings NSB Tampere 2011

Paananen, S. 2013 Reed as Handicraft Material. Guidebook of Reed Business pp 95-97, EMÜ Tartu

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.

[Photosearch 2013](#)

[https://www.google.ee/#bav=on.2.or.r\\_cp.r\\_qf.&fp=cdbcb61e6173687c&psj=1&q=www.photosearch.com+k0591776](https://www.google.ee/#bav=on.2.or.r_cp.r_qf.&fp=cdbcb61e6173687c&psj=1&q=www.photosearch.com+k0591776)

Pilt, K. 2008. Ehituskultuuri tõstes ennetame hallitust. Keskkonnatehnika 3/08, 20-23

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

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 lk

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

Rullingo, A. 2005, Muhumaa: loodus, aeg, inimene. Tallinn: Eesti Entsüklopeediakirjastus, 367 lk

Rupaco detection systems. [<http://www.rupaco.nl>] 10.05.2007.

Savikrohv [<http://www.savikrohv.ceet.ee>] 10.05.2007 (viidatud K. Kuus)

Sepp, A. 2005 Ökoloogiline pilliroog peab vastu sajandeid. Ehitaja nr 5/ 2005

Seppänen, O, Seppänen M. Hoone sisekliima kujundamine. Tallinn: Koolibri 1998, 269 lk

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.

Suurbritannia netigalerii 2013 [http://www.etsy.com/uk/listing/123709535/2-woven-reed-mexican-folk-art-bottle?ref=sr\\_gallery\\_11&ga\\_includes%5B0%5D=tags&ga\\_search\\_query=woven+reed&ga\\_search\\_type=all&ga\\_includes%5B%5D=tags&ga\\_view\\_type=gallery](http://www.etsy.com/uk/listing/123709535/2-woven-reed-mexican-folk-art-bottle?ref=sr_gallery_11&ga_includes%5B0%5D=tags&ga_search_query=woven+reed&ga_search_type=all&ga_includes%5B%5D=tags&ga_view_type=gallery)



Sõber, S. 2013 Pillirookatuselamute pööningu soojus- ja niiskusrežiim ning õhuhuhtus. Magistritöö maaehituse erialal. Tartu: EMÜ, 90 lk

Tervis ... 2013, [http://tervis.tiismus.ee/Loodusest\\_otse\\_kooki.php](http://tervis.tiismus.ee/Loodusest_otse_kooki.php)

Thatchco 2013 (<http://www.thatchco.com/thatchpg/faq.htm>)

[Thatched roofs 2011 \(http://unkcs.org/wordpress/2011/01/07/thatched-roof-of-changeok-palace/\)](http://unkcs.org/wordpress/2011/01/07/thatched-roof-of-changeok-palace/)

Tihase, K. 2007, Eesti talurahva arhitektuur, Tallinn TTÜ kirjastus 388 lk

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

Toivonen, T. 2006 Ruokoharkko rakentamisessa. Turun Amattikorkeakoulu opinäytyö

(Tripadvisor 2013) <http://www.tripadvisor.com/ShowUserReviews-g1119912-d1407426-r167131673->

[World Heritage Shirakawago Gassho Frame Housing Community-Shirakawa mura Ono gu.html](http://www.tripadvisor.com/ShowUserReviews-g1119912-d1407426-r167131673-WorldHeritageShirakawagoGasshoFrameHousingCommunity-ShirakawamuraOnogu.html)

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

Ungari 2013 (vaadatud 08.08.2013) vilepill:

[http://www.google.ee/imgres?sa=X&biw=790&bih=464&tbnid=lrTRkpgt19pillirookortestpunutudkauss:](http://www.google.ee/imgres?sa=X&biw=790&bih=464&tbnid=lrTRkpgt19pillirookortestpunutudkauss)

[A\]2M:&imgrefurl=http://www.magyardob.hu/en/index.php&docid=2JZfNpjQw4rdpillirookortestpunutudlinik:](http://www.magyardob.hu/en/index.php&docid=2JZfNpjQw4rdpillirookortestpunutudlinik)

[M&imgurl=http://www.magyardob.hu/images/large/pic\\_054.jpg%253Fstate%253D1375939998&w=750&h=500&ei=3tcmUsk5goztBt-bgfgC&zoom=1&ved=1t:3588,r:30,s:0,i:178&iact=rc&page=4&tbnh=183&tbnw=254&start=26&ndsp=12&tx=173&ty=101](http://www.magyardob.hu/images/large/pic_054.jpg%253Fstate%253D1375939998&w=750&h=500&ei=3tcmUsk5goztBt-bgfgC&zoom=1&ved=1t:3588,r:30,s:0,i:178&iact=rc&page=4&tbnh=183&tbnw=254&start=26&ndsp=12&tx=173&ty=101)

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

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.

Wegerer, P., Bednar, T. 2011 Long-term Measurement and Hygrothermal Simulation of an Interior Insulation Consisting of Reed Panels and Clay Plaster. NSB 2011 pp 331-33

Veljeliene, J., Gailius, A., Veljelis, S., Vaitkus, S., Balciunas, G. 2011 Evaluation of Structure Influence on Thermal Conductivity of Thermal Insulating Materials from Renewable Resources. ISSN 2011 pp 1392-1320, vol 17, No 2

Vermeer ([http://www2.vermeer.com/vermeer/LA/en/N/equipment/balers/605\\_super\\_m](http://www2.vermeer.com/vermeer/LA/en/N/equipment/balers/605_super_m)) 2013

Veski, A. 1969, Individuaalelamute ehitamine. Tallinn Valgus 446 lk

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

Vigel, U. 2012. Pilliroost katusega elamu saepuru soojustusega katuslae soojus- ja niiskusrežiim. Magistritöö tehnikateaduste kraadi taotlemiseks maaehituse erialal. Tartu: EMÜ 97 lk

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

Viitanen, H. 2004. Betonin ja siihen liittyvien materiaalien homehtumisen kriittiset olosuhteet – betonin homeenkesto. VTT Rakennus- ja yhdyskuntataniikka.



Pilliroost seinte ja katusega hoone (foto: J. Miljan)





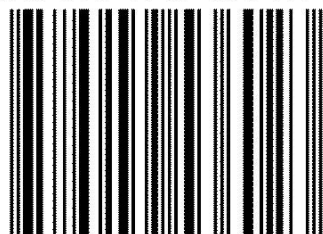
**Kristiina Kaasik: maal Põlev roostik**

**Roogu võib ka lihtsalt põletada, aga otstarbekam on seda kasutada nii nagu eespool oleval pildil.**





ISBN 978-9949-536-02-3



9 789949 536023