

AHJUDE UURING PROJEKTI ECOHOUSING RAAMES

Mart Hovi EMÜ, Andres Menind EMÜ, Külli Hovi EMÜ, Argo Ladva EMÜ, Annes Andresson, OÜ Ahjutarve

Annotatsioon

Projekti Ecohousing EMÜ partnerid koos ekspertidega uurisid taastuenergia juurutamise raames tahkekütuse ahjude olukorda Lõuna-Eestis ning katsetasid 12 ahju. Tulemused näitavad, et kuigi kolle, lõõristik ja akumuleeriv osa peaksid funktsioneerima tervikuna siis mõnel uemal kütteseadmel esineb konstruktsioonilisi vigu. Sellest tulenevalt on suitsugaas kõrge temperatuuriga, mis põhjustab kasuteguri langemist ja tuleohtu. Lihtne suitsugaasitermomeeter lõõri viimases osas võimaldab kütmise ajal jälgida ahju tööd, reguleerida materjalibilanssi ning seeläbi tõsta ahju kasutegurit.

Märksõnad: Ecohousing, kasutegur, termograafia, pottahi, moodulahi, tellisahi, küttepuu

Sissejuhatus

Soomes TTS instituudi eestvedamisel käivitati 2011. aasta mais EÜ rahastatud INTERREG IVA sarjas „Ecohousing” projekt, milles partneriteks on uurimisasutused Soomest, Eestist ja Lätist. Projektil on kaks põhisuunda: uurida biomassi ja päikeseenergiat kasutavaid kombinüsteeme ja taastuvaid kütuseid ning suurendada kodumajapidamiste tõhusamat energiakasutust alates kodumasinat kuni hoonete piirete soojapidavuseni.

Eesti Maaülikooli ülesandeks on taastuvkütuste uurimine ja katsetamine ja nende sobivuse analüüs ning katlalabori sisustamine kursuste ja õppepäevade läbiviimiseks. Lisaks varustame projekti kodulehte õppe- ja nõuandematerjalidega ning osaleme pilootprojektina internetikeskkonnas toimiva energiatõhusat ja ökoloogilist majapidamist propageeriva nõustamissüsteemi käivitamises. Samuti kogume ning valmistame ette materjale väljaantava käsiraamatu tarbeks, mille koostavad Läti partnerid Balti Keskkonna Foorumist. Projekti käigus on Maaülikoolis toodetud ja partnerite abil katsetatud mitmeid taastuvkütuse- ja jäätmebrikette. Sisustatud on katlalabor, mis peatselt installeeritakse lõplikult, et täita plaanitud ülesandeid. Plaanis on avatud töötoad ja kursused kõigile soovijatele nii õppeasutuse siseselt kui ka väljapoole.

Soomes, Eestis ja Lätis tehakse turuuring, milliseid väikemajapidamisse sobivaid bioenergiat kasutavaid katlaid ja koldeid on müügil ja kasutuses.

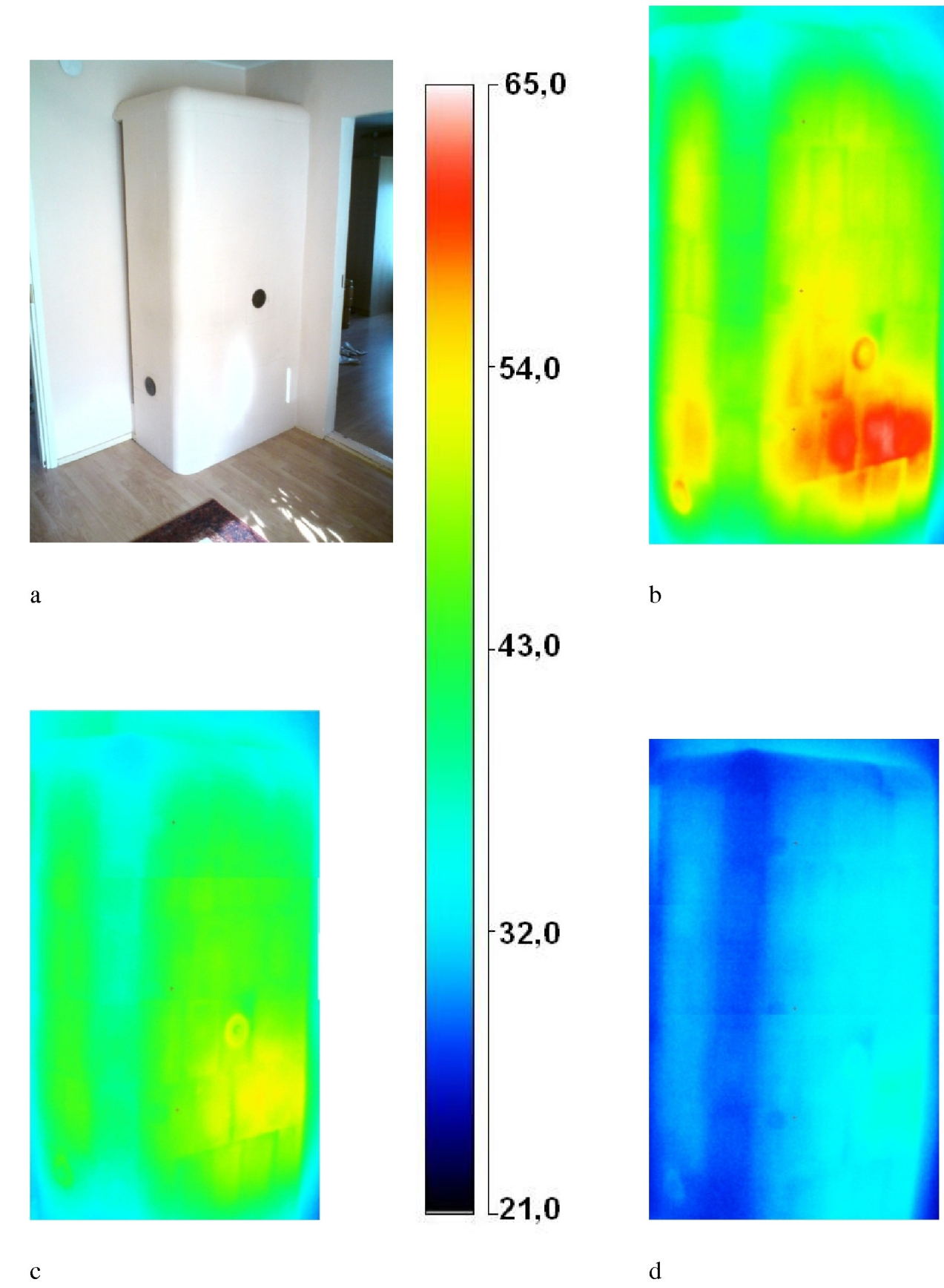
Klassikaliste ahjude uuring

Kuna väikemajapidamises on ahi tihti põhiline kütteseade, oleme projekti käesolevas faasis keskendunud juba valmishetatud ahjude seisundi hindamisele, ehitatavate ahjude tehniliste parameetrite optimeerimisele ning Euroopa standardi EN 15544 juurutamisele Eestis. Projekti raames oleme tegelenud ahjude termograafia ja efektiivsuse mõõtmisega ning koostanud ekspert-hinnanguid.

Koostöös praktikute ja ekspertidega oleme jõudnud järeldusele, et meil levinud ahjudel esineb puudujärke kolde ja lõõride konstruktsioonis. Kolde mõõdud peaksid lähtuma põlemisarvutusest ja lõõristiku konstruktsioon soojuslevi teooriast. Seni on aga kolde mõõdud tuletatud põhiliselt ahju ukse suuruselt ning lõõristiku lahendus ehituslikust mugavusest ja tõmbe vajadusest. Hästi toimiva kolde saamiseks peaksime lähtuma arvutuslikust kütusekogusest. Küttepuu vajab põlemiseks ruumi ja aega, sest põleb pika leegiga. Ülearu avar kolle vähendab aga kiirgussoojuse ülekannet kolde seintele, sest kiirgussoojuse ülekande intensiivsus on pöördvõrdeline kauguse ruuduga.

Suitsugaasid, mis väljuvad koldest mööda lõõre, annavad oma soojust edasi lõõri seintele. Seega peavad lõõride pikkused ja nende ristlõige vastama tekkinud suitsugaaside kogusele. Lõõride sisepindade siledus ja sujuvad üleminekud lõõride vahel kindlustavad suitsugaaside kiiruse ca 1,2-2,0 m/s. Mida pikem on suitsugaaside teekond, seda rohkem soojust kantakse ajahükkus üle suitsulõõri seintele ja seda suurem on kütteseadme kasutegur. Siin on kõige enam konstruktsioonilisi mõõdalaskmisi: domineerima kipuvad paralleelsed ja lühikesed lõõrid. Neid on meistril lihtsam ehitada ja seni ei olnud ka arvutusmetoodikat, mis võimaldaks leida suitsugaaside optimaalse teekonna pikkuse ahjus.

Euroopa ahjustandard EN 15544 näeb ette, et kasutegur oleks keskmiselt vähemalt 78%. Kõrge temperatuur koldes - vähemalt 700 kraadi ja korstnasse suunatud suitsugaaside temperatuur ca 200 kraadi kindlustab peale kõrge kasuteguri veel kütuse puhta põlemise ja selle, et väljuvates suitsugaasides olev CO, NO₂, põlemata orgaanika ja lenduuhk on EL poolt kehtestatud normide piirides. Kui ahjul on kütmise ajal kõrge kasutegur, peab soojus eralduma ahju pinnalt piisava võimsusega etteantud aja jooksul. Seega ahju välispind (kest) peab sooja ruumi üle kandma ühtlaselt ja vajaliku võimsusega. Vastasel juhul ei jätku külmema ilma korral soojusest kätava ruumi kütmiseks.



Joonis 1. Ahju termograafia a – ahju üldvaade, millest tehti termofotod; b – 4 tundi pärast sulgemist; c – 8 tundi pärast siibri sulgemist; d – 21 tundi pärast siibri sulgemist.
Figure 1. Owen thermography a –the Picture of the general view of the oven; b- 4 hours after shutting down; c – 8 hours after shutting down; d- 21 hours after shutting down;

Kütteperioodil katsetasid artikli autorid Tartus ja mujal Lõuna-Eestis mitmeid erineva konstruktsiooniga ahje, tuvastamaks tüüpilisi konstruktsioonivigu. Põhiliselt olid vaatluse all erineva vanusega pott- ja tellisahjud. Uuritud 12-st ahjust vanima on ehitatud 1940. aastal pottseppmeister Hermann ning uusima 2010. aastal pottseppmeister Koppel. Uuritud ahjudel oli nii pikki kui ka lühikesi lõõristikke ja lisaks eelmainitud klassikalistele ahjudele uuriti ka ühte lühikesi lõõristiku ja uude konstruktsiooniga moodulahju. Ahju peaks kütma sisemise ukse suletud asendis ja täielikult avatud välimise uksega. See tagab kiire põlemise.

Lõuna-Eestis, katsetatud seitsme ahju termograafilise uuringu kohta võib lähemalt lugeda lõputööst (Ladva 2012) Alljärgnevalt on toodud näide ühest sellisest mõõtmisest.

Ahi nr 7 (joonis 1a) on valminud 1953. aastal. See on ebestandardse kujuga potikivi ahi. Ahi asub hästi soojustatud maja teisel korrusel ja kütab kokku ligikaudu 45 m² põrandapinda. Ahju pandi korraga umbes 10 kg puid. Mõõtmise ajal oli välistemperatuur 0 °C. Toa temperatuur puude süütamise hetkel oli 21 °C

Joonisel 1b on näha soojuspilt 4 tundi peale ahju siibri sulgemist. Ahju temperatuur on suurim kolde kõrgusel, kus see on tõusnud 65 °C-ni. Külje temperatuur ulatub üle 50 °C. Nurgad on soojenenud 43 - 47 °C-ni. Toa temperatuur on tõusnud 1 kraadi võrra ning pildistamise hetkel oli toas sooja 22 °C.

Joonisel 1c on näha ahju temperatuuri muutumine 8 tundi peale ahju siibri sulgemist. Ahju pinna temperatuur on jätkuvalt suurim kolde taga, 52 °C. Ahju külje temperatuur ulatub 45 °C-ni. Nurdade temperatuur on ligikaudu 40°C. Toa temperatuur oli 23 °C

Jooniselt 1d on näha, et ahju pinna temperatuur on ligikaudu 32 °C. Nurdade temperatuur on umbes 25 - 30 °C. Sellel pildil on ahju siibri sulgemisest möödunud 21 tundi. Toa temperatuur oli 22 °C.

Moodulahju katsetus

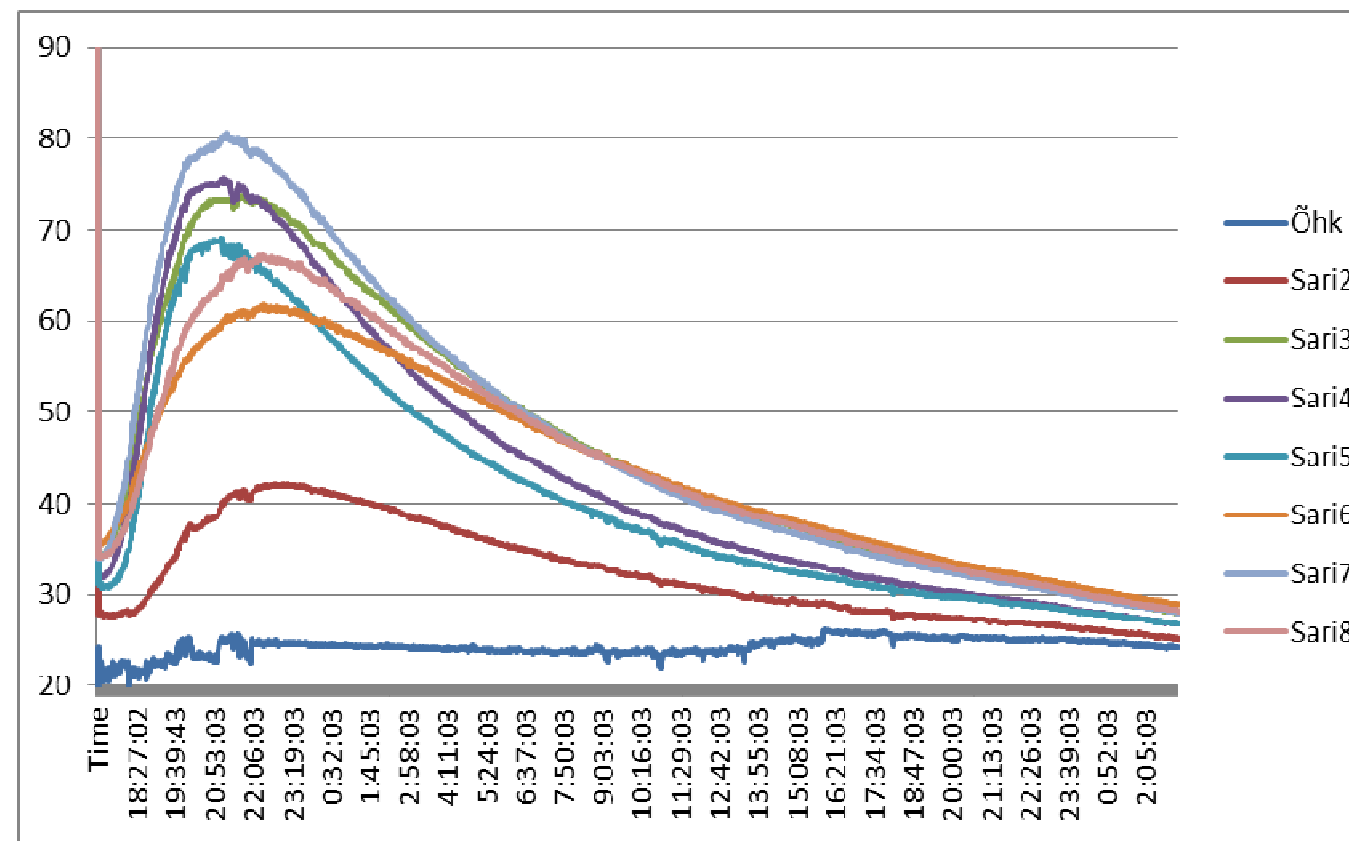
Moodulahju võrdlemiseks klassikaliste ahjudega tegid artikli autorid läbi detailse analüüsi, et anda ka soovitusi ahju konstruktsiooni edasiseks täiustamiseks. Kirjeldatud töövõtteid rakendati suuremal või vähemal määral ka eelpool mainitud klassikaliste ahjude katsetamisel.

Uuritud moodulahi (Joonis 2.) on valminud käesoleva sajandi alguses. Ahi koosneb spetsiaal-moodulitest, mis moodustavad kolde ja lõõristiku. Selle ümber on kest, mis tagab soojust ühtlase ülekande ruumi. Ahju pind on kaetud keraamiliste plaatidega. Vastavalt standardile tuleb jagada kogu ahju pind võrseteks elementideks ja mõõta keskmisi temperatuure kuni ahju täieliku jahtumiseni. Saadud tulemustest saab arvutada ahju väljundvõimsuse ja ruumi antud energia.



Joonis 2 Moodulahju pinnatemperatuuride mõõtmise üldvaade
Figure 2 Surface temperatures measurements of modular oven

Kütusena kasutatud 14 kg kase halupuidu keskmiseks niiskuseks oli mõõdetud W_i=15,2%, millest järelduvalt on kütteväärtus 15543 kJ/kg (Lepa jt., 2001) ehk 4,32 kW·h. Seega kulutati ahju kütmisel 217,6 MJ energiat. Lähtudes Wagneri võrrandist (Ebler 2004) leitakse ahju kasutegur otsesel meetodil. Lihtsustusena on arvutustes kasutatud temperatuuri mõõtmisi ahju tagakülje keskel seitsmest punktist (vt. joonis 3). Andmetöötlustest nähtub, et ahju kasuteguri keskvärtus oli 78%. Ahjule tehti ka termograafiline analüüs, nagu on kirjeldatud eelnevas osas.



Joonis 3 Ahju pinnatemperatuuride mõõtmistulemused vaatlusperioodil
Figure 3 Measurements results of surface temperatures

Järeldused klassikaliste ahjude mõõtmistulemustest

Mida pikem on lõõristik, seda madalam on lahkuva suitsugaasi temperatuur, mis tõstab ahju kasutegurit. Lühikesi lõõriga ahjudel väljuvad suitsugaasid aga temperatuuriga isegi üle 400 °C. Ideaalne oleks temperatuuri ca 200 °C. Ka alla 350 °C võib lugeda olukorda rahuldavaks. Liiga madalatel temperatuuridel võib omakorda ahju kütmise erinevatel etappidel tekkida suitsugaasi kastepunkt. Suitsugaasi koostise analüüsile tuginedes võib väita, et põlemiskeemia oli kõigil vaadeldud ahjudel korras.

Järeldused moodulahju mõõtmistulemustest

Uuritud moodulahju lõõristik on avar ja lühike, mistõttu on raskendatud soojusvahetus. Kolde konstruktsioon ja sellest tulenev põlemisprotsess on gaasialüüsile tuginedes hea. Ahju pind soojeneb pärast kütmist ühtlaselt ja annab soojust kätavale ruumile üle 18 tunni jooksul. Ahi vajaks kitsamaid ja pikemaid lõõre, mis on konstruktsiooniliselt raskesti saavutatav.

Kaks rööbiti kulgevat lõõri ahju külgedel võivad tekitada küll piisava küttepinna, kuid suitsugaasi teekond on napp ja efektiivset soojusvahetust on raske korraldada. Tulemuseks võib olla ebapiisav soojusvahetus. See avaldub põlemisgaaside lubamatult kõrges temperatuuris korstnas. Täpsema tulemuse saamiseks on vajalikud täiendavad mõõtmised.



Joonis 4 Suitsugaasi termomeeter paigutatud läbi tahmatopsi
Figure 4 Flue-gas thermometer in soot hatch

Ahju igapäevane kasutaja saaks reaajas informatsiooni ahju siibritagusele tahmaluugile monteeritud suitsugaasitermomeetritl nagu on kujutatud joonisel 4 . Sellise pidevalt jälgitava näidiku põhjal on ahju kasutajal võimalik kujundada optimaalseid ja säästlikke kütmisvõtteid.

Kokkuvõte

Uuring näitab, et tänapäeval on pottseppadel suund ehitada paksema seinaga ahje, sest need püsivad kauem soojad. Seega peab neid harvem kütma. Pakseseinaliste ahjude ehitamine eeldab aga, et maja oleks hästi soojustatud kuna paksuseinaste ahjude temperatuur ei tõuse nii kõrgele ja seega ruumi antav soojusenergia jaguneb pikema aja peale. Halvema soojustusega majade puhul võib paksuseinalise ahju võimsus jääda liiga väikseks ja külmemate ilmade korral ei suuda see tuba ära kütta. Siin on kõige enam etteheited just telliskiviahjude ehitajatele. Selline arusaam tuli meile Soomest ja nemad võtsid selle üle Venemaalt. Euroopa ei ehitata telliskiviahjusid. Senikaua kui puuduvad reaalsed mõõtmistulemused on raske objektiivselt põhjendada ühe või teise konstruktsiooni eeliseid ning eksiarvamustel põhinevaid seisukohti ümber lükata.

Viimasesse tahmatopsi tuleks paigaldada statsionaarne suitsugaasi termomeeter. Lühikesi lõõriga ahjude suitsugaasi lahustumistemperatuur korstnasse on liiga kõrge, mis tähendab suurt soojuskadu, kuid võib põhjustada ka tuleohtu. Seega peaks ahju projekteerimisel leidma võimaluse piisava soojusvahetuspinna loomiseks lõõristikus. Seda sätestab ka vastav standard EN 15544. Mida öelda ahju kohta kui kolde temperatuur on 700 kraadi ja suitsugaasid siibri taga on 450 kraadi. Sellise ahju kasutegur on 35 %. See on küttepuude raiskamise masin!

Kasutatud kirjandus

Ebler, G., “Fachkunde für Hafner, aebyhpt”, Wien, 2004
Ladva, A. Ahjude termograafiline vaatlus eksperthinnangu eesmärgil bak. töö EMÜ 2012
Lepa, J., Jürjenson, K., Normak, A., Hovi, M Kütused soojusenergia tootmiseks EPMÜ 2001
Ecohousing – projekti koduleht : <http://www.ecohousing-project.eu> Saadaval 29.09.2012
EXAMINATION OF OVENS FOR PROJECT ECOHOUSING

Mart Hovi, Andres Menind, Külli Hovi, Argo Ladva, Annes Andresson

Partners from EMU of Project Ecohousing and external experts examined the deployment of renewable energy within the solid fuel ovens in southern Estonia. 12 ovens were tested. The results show that the fireplace, piping and accumulative part should function compatibly. However, sometimes it is not so. Constructional errors occur for some newer heating devices. As a result, the temperature of flue gas is high which causes heat-loss and inflammability. Simple smoke thermometer can help in the observation of the behaviour of the equipment.



EUROPEAN UNION
EUROPEAN REGIONAL DEVELOPMENT FUND
INVESTING IN YOUR FUTURE

Eestis enamlevinud salvestavad kohtkütteseadmed

Pottkiviahi – liht- või glasuuritud ahjupottidest pottsepa poolt ehitatud salvestav ahi. Sõltuvalt ahju suuruselt salvestab selline ahi sooja 8 – 24 tunniks, võimsus 2,7 – 11 kW, maksimaalne kütuse kogus ühekordsel kütmisel kuni 40 kg, salvestusmass 75-100 kg 1 kg küttepuu kohta, ahju iga- inimiga. Ahi eraldab sooja 70 % kiirgussoojusega, 25 % liikuva õhu abil, 5 % ülekande teel. Kasutegur kuni 85 %. Suure klaasuksega ahju koos 2 siibriga kutsutakse meil kaminahjuks, see termin on levinud Eestis ja Soomes Pottkiviahi on kasutusel peamiselt põhikütte allikana.

Õhkkütteahi – pottsepa poolt ehitatud või firma poolt valmistatud metallahi ,mille soojuslik võimsus on 4-12 kW, soojus kandub ruumi põhiliselt õhu liikumise teel ja osaliselt kiirguse teel. Salvestussoojust jätkub 0,5-4 tundi. Kütuse max kogus 15 kg. Õhkkütteahi on kasutusel peamiselt lisakütte allikana, ahi eraldab sooja varsti peale kütmise algust.

Lahtine kamin – kütteseadete mitte suletava kolde avaga, salvestusvõime minimaalne, kasutegur max 15 %. Kolde ava kuni 1 m2, Kamina ava sügavuse suhe ava kõrgusesse 2/3. Kasutatakse sageli dekoratiivsetel eesmärkidel. Korraliku kamina ehitus vajab head oskajat meistrit.

Kaminahi – suure klaasuksega ja metallkestaga ümbritsetud kütteseadete, mille sees on keraamiline vooder ahju salvestusvõime on 1 tund. Võimsus kuni 13 kW, max puidu kogus 2,5-4 kg. Ahi on tüüpiline õhkkütte seade, kõrge välispinna temperatuuriga, kasutatakse lisakütte allikana.

Küttekamin – kütteseadete, mille sees on malmist või terasest südamik ja mida ümbritseb ahjupottidest või šamotist väliskest. Salvestusvõime 6 tundi, võimsus 4-8 kW, max kütuse kogus 4-8 kg, sooja eraldus põhiliselt õhu liikumise teel. Kasutatakse põhiliselt lisaküttena.

Bullerjani tüüpi ahi – õhkkütte ahi sobib töökotta, garaaži ,suvilasse. Kasutegur max 75 %, sooja salvestusvõime puudub. Vajab eraldi soojustatud korstent ja hoolsat, asjatundliku kütjat

Voolukivi (tulikivi) ahi – soomlaste poolt välja töötatud kütteseadete. Looduslik voolukivi omab samasugust salvestusvõimet kui keraamika, soojusjuhtivus on 4 kuni 7 korda suurem kui keraamilisel kivil. Võrreldes pottkivi ahjuga jahtub kiiremini. Ahju võimsus 1,8-3 kW, kaal 1,1- 2,5 t.

Soomes kasutatakse ahju suurema ruumi lisakütte allikana.

Hüpokaust tüüpi ahi - kaasaegne salvestusahi. Eestis vähe levinunud. Ahju keraamiline südamik kannab kiirgussoojuse keraamilisele välis-kestale, mis võib paikneda südamikust kuni 40 cm kaugusel. Sellega saame suurendada ahju välispinda ja ahju võimsust. Salvestvõime 8-12 tundi, võimsus 4-10 kW, max puidu kogus 7-25 kg, salvestusmass 50 kg küttepuu kg kohta. Kasutatakse mitme ruumi üheaegseks kütmiseks.



Käesoleva sajandi algusest levima hakanud kütteseadmed

- a) Erikonstruktsiooniga kamin, mis on kokku ehitatud ahjuga
- b) Pliit sooja müüriga, mis on levinud kööktubades
- c) Soodsa hinna tõttu levinud tellisahi. Esineb probleeme

Erinevate kütuste võrdlus

Kostenvergleich verschiedene Brennstoffen

Kütus Brennstoff	Kütteväärtus kWh Heizwert	Hind Eurodes Preis	Kütteseadme kasutegur % Wirukngsgrad	10 kWh hind	Hoiuruum Lagerraum	CO2 kg/ kWh
Kütteõli Heizöl	10 kWh/l 12 kWh/kg	0.95 eurot/l	93	1.022 eurot	1	0,26
Maagaas Erdgas	10 kWh/m3 15,4 kWh/kg	0.5369 eurot/m3	93	0,577	-	0,20
Vedelgaas Flüssiggas	6,4 kWh/l 12,8kWh/kg	1,134 eurot/kg	93	0.794	1,6	0,22
Kivisüsi Steinkohl	8,7 kWh/kg	0.168 eurot/kg	80	0.24	1,5	0,33
Küttepuud Holz	1650kWh/m3 20 % niiskust	40 eurot/m3	80	0.30	5,6	neutraalne
Hakkepuit Hackswchnitzel	2.8 kWh/kg 35 % niiskust	0.0175 eurot/kWh	85	0,26	12,5	neutraalne
Pelletid Pellets	4,9 kWh/kg	0.195 eurot/kg	88	0.45	3,2	neutraalne
Puidubrikett Holzbrikett	4,9 kWh/kg	0.156 eurot/kg	85	0.38	2,4	neutraalne
Torfbrikgett Turba- brikett	4,4 kWh/kg Sangu soodushind	0.105 eurot/kg	80	0.298	4	
Elekter	1,0 kWh	0.117 eurot/kWh	98	1.19	-	0,71
Kahetariifne elektter	1.0 kWh 1,0 kWh	0.1217 Tag 0.07903 Na eurot/kWh	98 98	1,2418 0.8146	- -	0,71 0,71
Kaugküte Tartus Fernheizung		64.02 eurot/MWh		0.64		

Stand Seisuga 2012, november Tartus ja Tartumaal .Bezirk Tartu



Potikivist kaminahjud klaasukse ja tuhakastiga

- a) Tüüpiline, läbi kahe toa paiknev salvestusahi järjestikuste lõõridega
- b) Suure ukse ja ehitamata jäänud tuhakastiga, mistõttu on põlemine häiritud
- c) Ühes toas paiknev kahelt küljelt soojenev, kuid liialt väikse kolde ja uksega



Restaureeritud salvestavad ahjud

- a) Antoniuse hotellis Tartus meister Margus Kook. Ahi pärineb Venemaalt
- b) 1912 aastal ehitatud salvestusahi Tartus Kastani tänaval. Renoveeris Heldur Napp
- c) Valga vene kirikus paiknev üks neljast salvestavast ahjust. Kõrgus 4,5 meetrit
- d) Antoniuse hotellis Tartus meister Margus Koogi paigaldatud kamin Venemaalt