



Juhtumianalüüs: PILUKOLDEGA PLIIDI SOOJUSTEHNILISED KATSETUSED NING SOOJUSSALVESTI PINNA KESKMISE ENERGIAVOO MONITTOORING TAKISTUSTRAATTERMOMEETRIGA

Case Study: THE HEAT TECHNICAL EXPERIMENTS WITH SLIT FIREBOX STOVE AND THE HEAT ACCUMULATOR'S SURFACE ENERGY FLOW MONITORING WITH RESISTANCE THERMISTOR

Mart Hovi¹, Külli Hovi¹, Annes Andresson²

¹Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Fr. R. Kreutzwaldi 62, 51014 Tartu

²ÕÜ Ahjutarve, Puiestee 49B, Tartu 51008

Saabunud: 30.11.2014
Received:
Aktsepteeritud: 09.02.2015
Accepted:

Avaldatud veebis: 05.03.2015
Published online:

Vastutav autor: Mart Hovi
Corresponding author:
e-mail: mart.hovi@emu.ee

Keywords: firewood, stove, fireplace, carbon, thermoresistor, average

Link: http://agrt.emu.ee/pdf/2015_1_hovi.pdf

ABSTRACT. Local heating, especially ovens and stoves that are heated with log-wood, have been one of the most important types of heating in Estonian climatic conditions. During the second half of the 20th century, alternative types of heating were developed. For example, district and electrical heating. As the consumption of energy for heating houses has decreased, it has become relevant to use local heating options. For example, heat pumps, solar heating and solid fuel ovens and stoves could work in good collaboration. Regarding strict environmental standards, it has become important to increase the efficiency of fireboxes that use wood. During the reconstruction of heating devices, it is advisable to change the parameters of the firebox and the flue, to assure a high quality of combustion and efficient energy storage. This article is about heat technical experimentations with stoves with an Umwelt-Plus fireplace. To be more precise, it concentrates on measuring the energy of this stove with a copper thermistor, which stores the surface temperature during measurement.

© 2015 Akadeemiline Põllumajanduse Selts. Kõik õigused kaitstud. 2015 Estonian Academic Agricultural Society. All rights reserved.

Sissejuhatus

Halupuudega köetavad pliitid ja ahjud on sajandeid olnud asendamatud seadmed nii toidu valmistamisel, kui ka ruumide kütmisel. Gaas ja elekter on toonud muudatusi sellesse valdkonda, kuid tõrjuda välja halupuud kui kütust, need ei ole suutnud. Halupuudega köetavate pliitide ja ahjude juures on aga tõusnud probleemiks puidu põlemisel tekkiva heitgaasi koostis ja kogus. Euroopa Liit on kehtestanud rangemad normid pliitide, ahjude ja kaminat kasutamisel tekkinud põlemisgaaside koostisele. Pliitide kohta kehtib standard EN 12815 (EVS-EN 12815:2001). Euroopa Liidu standard on esialgu soovituslik. Selle kohaselt peaks puidu põlemise käigus tekkima võimalikult vähe süsinikoksiidi (CO), lämmastikoksiidi (NO), põlemata orgaanilisi aineid ja lendtuhka ning seadme kasutegur peaks vastama normile. Käesolev uurimus tutvustab tehnilisi võimalusi püstitatud

eesmärkide saavutamiseks ja tulemise täpseks mõõtmiseks võimalikult lihtsate vahenditega.

Selle normi saavutamiseks peab koldes põlemise käigus olema kõrge suitsugaaside temperatuur. Õhkuiva puidu süttimise temperatuur on vahemikus 240–400°C (Pfestorf, 2002). Puidu põlemise kiirus oleneb puidu tihedusest (poorsusest) ja väiksema tihedusega puul on süttimise temperatuur madalam. Kõrge temperatuuri saamiseks on vaja, et kolderuumi puugaasid (lendosised) ja õhuhapnik saaksid korralikult seguneda, mis aga nõuab viibeaega (saksa keeles *verweitzzeit*) (Aigenbauer jt, 2011). See aeg sisaldab endas gaaside liikumist, segunemist ja põlemist kütteseadme koldes. Mida kõrgem on kolde temperatuur ja parem gaaside segunemine, seda lühemat viibeaega vajavad gaasid sama põlemiskvaliteedi saavutamiseks. Avar kolle võimaldab segunenud gaasidel lõpuni põleda. Halupuud põlevad pika leegiga, erinevalt

näiteks turbast või kivisöest. Puude täielikuks põlemiseks on vaja kõrget temperatuuri koldes, vähemalt 600°C. Optimaalseks peetakse temperatuuri 850–1000°C vahel (Ebert, 2006). Puidust eraldunud gaaside süttimine toimub suhteliselt kõrgel temperatuuril. Vesinik (H₂) umbes 560°C, süsinik (C) umbes 700°C, vingugaas (CO) umbes 605°C (Herrmann jt, 2011).

Pliidile kehtestatud nõuded EN 12815 näevad ette, et keskmine kasutegur oleks põlemise vältel 70%, CO sisaldus keskmiselt 1500 mg MJ⁻¹ ja lendtuhka 50 mg m⁻³. Kaasajal soovitatakse pliidi kolle ehitada ilma kolde restita, kus koldealune ruum on olemas, kuid sinna ei lange põlemisjääke ega tuhka. Läbi selle ruumi võetakse koldesse põlemisõhku ja see juhitakse kolde külge- ja tagaseina kaudu halupuude peale. Halupuude kaalust ligikaudu 83% põleb gaasina, mis moodustab 70% nende kütteväärtusest.

Pliidi kolderuumi suurusest sõltub puidu kogus, mida korraga pannakse koldesse, tagamaks normidele vastav põlemiskeemia. Näiteks, kui ühes tunnis põletame 6 kg puid, mida tuleb koldesse lisada kolmes osas iga 20 minuti järel, siis vastavalt EN 12815 peab olema sellise kolde kõrgus minimaalselt 28 cm. Kolde ehituseks soovitatakse kasutada ahjušamotti, mille tihedus on 1750–2200 kg m⁻³, lahtine poorsus 18–33% ja soojusjuhtivus 20–400°C vahemikus 0,65–0,90 W (m·K)⁻¹ (EVS EN 15544:2009)

Pliidikoldes kõrge temperatuuri saavutamisel on oluline, et pliidikolde seinad ei juhiks kolde soojust kiiresti edasi ja pliidi malmplaat ei asetseks madala leegi kohal, kuna see toob kaasa ebahütlase soojusjaotuse plaadil. Selle probleemi lahendamiseks lisatakse vahetult leegi kohale vermikuliitplaat, mis ei jahuta kolde temperatuuri maha, kuna vermikuliitplaadi soojusjuhtivus on malmplaadist palju väiksem. Edasi liigub suitsugaas ühtlaselt malmplaadi alla. Keskmiseks suitsugaaside temperatuuriks, mis lahkub koldest, loetakse pliidi keskmiselt 570°C (EVS-EN 12815, 2001).

Üldjuhul jääb Eestis ehitatavatel pliitidel suitsulõõr lühikeseks või puudub täielikult ning seda kompenseeritakse soemüüriaga, mis salvestab osa suitsugaaside soojusest. 2012. aastal käisid oma oskusi näitamas kaks pottseppa Šveitsist, kes ehitasid Eesti Maaülikooli laboris kaks pliiti, mis vastavad EN 12815 normidele. Suitsulõõrid paiknevad pliidi külgedel, ja lõõrides liiguvad põlemisgaasid soojendavad pliidi külgpinda ja tõstavad pliidi kasutegurit. Kogu koldesüsteem ja lõõristik projekteeriti eelnevalt vastava arvutiprogrammiga (välja töötatud Austria Kachelofenverband'i spetsialistide poolt), mille kasutusõigust Eestis pakub OÜ Volt (Kachelofen Berechnungsprogramm ...). Peale lõplikku häälestust saadi kaks pliiti, mille näitajad on vastavuses EVS EN 12815 normidega.

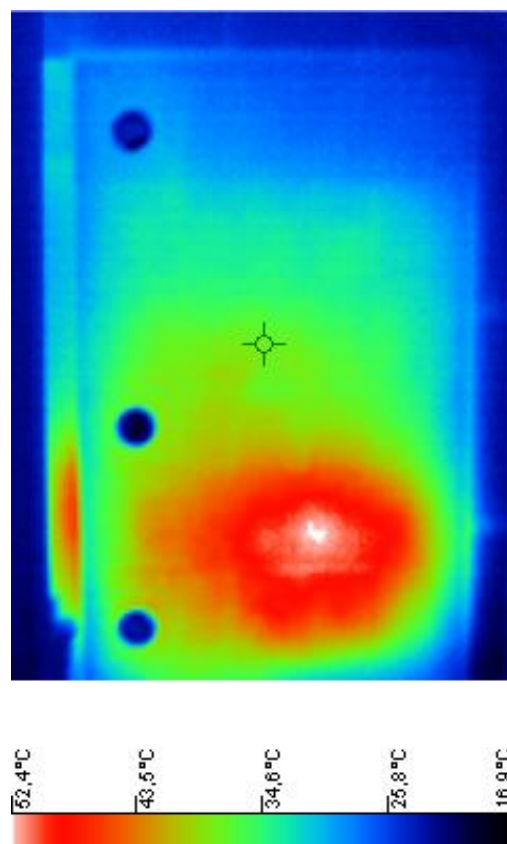
2014. aasta sügisel valmis Rakveres restkoldega pliidi rekonstrueerimise tulemusena pilukoldega pliit (joonis 1 ja 2), mis on mõeldud seda tüüpi kütteseadme näidiseks ja on läbinud ka mitmekülgseid soojus- tehnilised katsetused.

Pliit on projekteeritud Austria pottseppühingu spetsiaaltarkvara abil (Kachelofen Berechnungsprogramm...) ja võimaldab kasutada kuni 0,5 m pikkust halupuitu. Ühe koldetäie kütuse lubatud mass on 1,9–3,7 kg.



Joonis 1. Eesti oludes uude pilukoldega rekonstrueeritud pliit (foto K. Hovi).

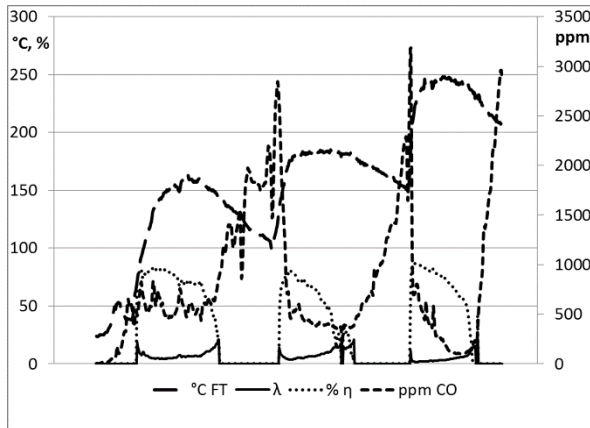
Figure 1. Reconstructed oven with slit firebox which is new in Estonia



Joonis 2. Pliidi soemüürist tehtud termokuva (foto K. Hovi)

Figure 2. Thermo picture of the heat-wall of the stove

Katsekütmised, mis toimusid oktoobris ja novembris 2014 näitasid, et uue konstruktsiooniga kolle põletab kütust võrreldes Eestis klassikaliselt kasutatavate kolletega oluliselt puhtamalt. Pliidiplaadi alune ning lõõristik sisaldas vähesel määral tuhka, kuid mitte tahma, mis viitaks ebatäielikule põlemisele. Ka kolde klaasuks püsib kasutuse käigus puhtana. Kõrge kolde-temperatuuri tulemusel põlevad ära sinna juhuslikult sattunud tahked osakesed. Novembris 2014 läbi viidud katsekütmisel tehtud gaasianalüüs seadmega Testo 330 näitas, et kogu põlemisperioodi keskmine vingugaasi kontsentratsioon oli 819 ppm (joonis 3).



Joonis 3. Katsekütmise käigus mõõdetud väljuva suitsugaasi parameetrid.

Figure 3. The parameters of exhausted flue gas during test heating

Eelkirjeldatud pliidi vältimatu osa on trupp ehk kahhelitest laotud soemüür, mis võimaldab pliidi kütmisel tekkivate suitsugaaside soojuse salvestamist ja selle järk-järgulist üleandmist tuppa. Kirjeldatud suitsugaasi analüüs toimus soojussalvestist lahkuvas suitsulõõris.

Kui moodustada hüpoteetiline keha materjalist, mis on hea soojussalvestusvõimega nagu näiteks vesi või kivi, siis teades selle keha keskmist temperatuuri saab anda hinnangu selles hetkel salvestunud soojusenergia kohta. Keha temperatuuri hinnanguks piisab ka selle pinnatemperatuuri mõõtmisest. Selle eelduseks on, et keha sisemuses toimuvat soojuslevi võib lugeda oluliselt paremaks selle pinnal toimuvast. Keha pinnatemperatuuri mõõtmiseks saab kasutada kleebitavaid temperatuuriandureid või termofotografeerimist (joonis 2) isolatsioonita soojussalvestitel nagu näiteks ahjud. Keha pinna keskmise temperatuuri muutust ajas saab väljendada pinna kiirgusliku ja konvektiivse soojusvõimsusena (Ots, 2011), mida saab kasutada näiteks ahjude soojusväljastuse arvutustes. Üheks tehniliselt lihtsaks pinnatemperatuuri mõõtmise võimaluseks on kasutada metalli, näiteks vase, elektrijuhtivuse sõltuvust temperatuurist. Siin kehtib võrrand $R = a \cdot t + R_0$, kus R – on traadi takistus oomides, a – on vase temperatuuritegur $0,004 \Omega \text{ } ^\circ\text{C}$ kohta, R_0 – on vasktraadi takistus tuntud temperatuuril, näiteks $0 \text{ } ^\circ\text{C}$, t – on mõõdetav temperatuur $^\circ\text{C}$ (Tabellenbuch, 2007).

Kuna otsitav suurus on temperatuur, siis saab selle avaldada eelkirjeldatud valemist

$$t = \frac{R - R_0}{a}$$

Sellise mõõtmise muudab keerukaks vase väga hea elektrijuhtivus, mistõttu tuleb andurina kasutada võimalikult peenikest traati. See nõue on aga vastuolus traadi vastupidavuse ja elektrilise ühenduse loomise võimalusega. Peenike traat kipub hävima jootmisel ja katkema kleepimisel.

Kuna paigaldatud traat katab kogu objekti vertikaalsuunas, siis väljendab mõõdetav takistus selle pinna keskmist temperatuuri ilma vajaduseta täiendava statistilise töötluse järgi. Kui eelkirjeldatud soojussalvesti toimib ka küttekehana, siis väljendab pinnatemperatuur lisaks salvestunud energiale ka pinna võimsust ühe ruutmeetri kohta φ , mida saab kirjeldada teist järku polünoomina $\varphi = 0,0564 \cdot \Delta t^2 + 8,2624 \cdot \Delta t - 19,632$, kus Δt – on erinevus keskkonnatemperatuuri ja keha keskmise pinnatemperatuuri vahel (Eberl, 2001, lk 90 tabelist tuletatud).

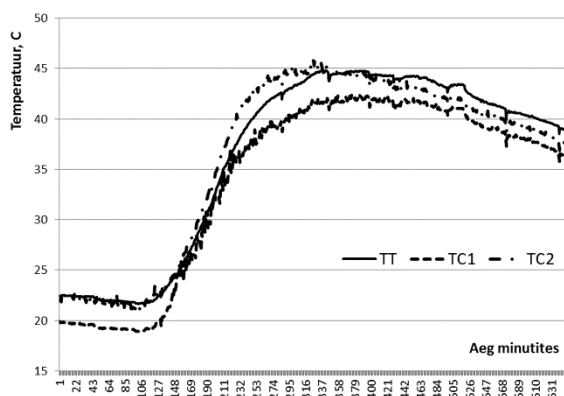
Joonisel 4 on näha soemüüri ehk trubi pinnale oranžide kleebistega kinnitatud temperatuuriandurid. Trubi pinna temperatuuri vertikaalsel joonel mõõdetakse seitsme termopaariga (kõrgused põrandapinnast 14, 38, 65, 92, 120 ja 144 cm). Termopaaride rea kõrvale on kinnitatud 0,04 mm ja 0,1 mm diameetriga vasktraadist termotakistid, millede pikkus on kahekordne trubi kõrgus ehk 3,8 meetrit. Vasktraadist andurite takistused olid enne kütmise algust vastavalt 37,336 Ω ja 9,472 Ω , mis suurenesid katse käigus vastavalt väärtusteni 40,453 Ω ja 10,366 Ω .



Joonis 4. Temperatuuriandurite paigutus vertikaalsihis kontrolliks ja takistustraadi kalibreerimiseks (foto K. Hovi)

Figure 4. Vertically arranged temperature sensors for control and to calibrate the resistance degree

Kalibreeritud andmehõiveseadme AGILENT 34972A abil kogutud traadi takistuste muutused teisendati ümber temperatuurideks. Termopaaride ja takistitega mõõdetud pinnatemperatuur on kujutatud joonisel 5.



Joonis 5. Pliidi truubi pinnatemperatuuride muutus kütisel. TT – mõõdetud termopaaridega, TC1 – vasest takistusanduriga 0,04 mm, TC2 – sama, kuid 0,1 mm

Figure 5. The change of the surface temperature during heating. TT- measured with thermocouple, TC1- measured with copper resistance sensor 0,04 mm, TC2- measured with copper resistance sensor 0,1 mm

Kokkuvõte ja järeldused

Kohtküte, eriti halupuuga köetavad ahjud ja pliidid on Eesti kliimaoludes olnud pikka aega üheks olulisemaks küteliigiks. Eelmise sajandi teisel poolel arendati alternatiivseid küttevõimalusi nagu kaugküte ja elektriküte. Seoses hoonete energiatarbe kahanemisega on taas päevakorda kerkinud lokaalsete küttevõimaluste kasutus. Heas koostöös toimivad näiteks soojuspump, päikeseküte ning tahkekütuse ahi või pliit. Seoses rangete keskkonnanormidega on oluliseks muutunud puidukollete efektiivsuse tõstmine. Kütteseadmete rekonstrueerimise käigus on otstarbekas muuta kolde ja lõõristiku parameetreid, et kindlustada kvaliteetsem põlemine ja tõhusam energia salvestus. Artikli tähelepanu on keskendunud pilukoldega pliidi soojus-tehnilistele katsetustele. Katse käigus saadi vingugaasi keskmine näit 819 ppm, mis vastab kehtivatele nõuetele. Selle pliidiga vahetult seotud soojussalvesti ehk truubi soojusenergiavoo mõõtmisele vasest termotakistiga võimaldab mõõtmiste käigus koheselt leida salvesti keskmist pinnatemperatuuri. Töö tulemustena leidsid kinnitust, et kirjeldatud koldetüüp võimaldab oluliselt puhtamat põlemist ja takistustraadiga saab pinnatemperatuuri mõõta. Edaspidiste uuringute käigus tuleks rohkem tähelepanu pöörata suitsugaasi koostise detailsemale jaotusele nii peensoakete, kui ka muu põlemata orgaanika seisukohast.

Tänuavaldused

Autorid tänavad EMÜ tehnikainstituuti igakülgse abi eest.

Kirjandus

- EVS-EN 12815:2001 Tahkel kütusel töötavad paiksed autonoomsed boilerid. Nõuded ja katsemeetodid.
- Pfistorf, K.H. 2002. Kachelöfen und Kamine. – Verlag Bauwesen, Berlin, 202.
- Aigenbauer, S., Moser, W., Schmidl, C. 2011. Der Ofen der Zukunft – Massnahmen zur Umsetzung des Höchstmöglichen Standes der Technik von Öfen für stückige Holzbrennstoffe. – Wieselburg, 42.
- Ebert, H.-P. 2006. Heizen mit Holz. – Ökobuch Staufen bei Freiburg.
- Herrmann, M. *et al.* 2011. Öfen und Kamine. – BeuthVerlag GmbH Berlin-Wien-Zürich.
- EVS EN 15544:2009 Kahhelahjud / krohvitud pinnaga ahjud. Dimensioneerimine.
- Kachelofen Berechnungsprogramm allgemeine Informationen – <http://www.kachelofenverband.at/kov-service/berechnungsprogramm-allgemein/> (27.01.2015)
- Ots, A. 2011. Soojustehnika aluskursus. Termodünaamika. Põlemine. Soojusülekanne. – Tallinn, 816 lk.
- Tabellenbuch, F. 2007. Elektrotechnik/Elektronik. 582. Auflage. – Bildungsverlag EINS, Köln.
- Eberl, G. 2001. Fachkunde für Hafner (c) öbvahpt. – VerlagsgmbH & Co, Wien.

Case Study: The heat technical experiments with slit firebox stove and the heat accumulator's surface energy flow monitoring with resistance thermistor

Mart Hovi^{1*}, Külli Hovi¹, Annes Andresson²

¹ Estonian University of Life Sciences, institute of technology
Fr. R. Kreutzwaldi 56, 51014 Tartu, Estonia

²Ahjutarve LLC

Summary

The local heating device needs to be improved due to stringent environmental restrictions. The grate firebox that has been widely used in Estonia, does not guarantee sufficient burning due to small volume of the firebox and the effect of furnace. However, the required conditions for the firebox to grant good quality of burning are described in this article. What is more, the results received from test heating confirm the desired result. Reconstructed stove with slit firebox is furnished with heat storage of stove tiles. Also, it is in accordance with modern environmental restrictions. Different methods are used to monitor and register the surface temperature of the heat storage. For example infrared photography and sensors, which are on glued on the surface of the heat storage. Until now, it was necessary to put many sensors and the average result of the calculations was used. However, the described methodology herein, enables to get the results describing the surface conditions with single measuring. This improves data acquisition and subsequent statistical computing.