## Suure soojussalvestusvõimega ahjud Lokaalküttes

Mart Hovi1, Jaanus Uiga1, 2, Argo Ladva1, Annes Andersson3, Lauri Lõhmus

1 Eesti Maaülikooli tehnikainstituut

2 Eesti Arengufond, 3 OÜ Ahjutarve

Lokaalkütte katelseadmete kasutamine on Eestis laialdaselt levinud. 2012. aastal kasutati lokaal- ja kohtkütet mahus 6,5 TWh, mis moodustas 40 % soojuse kogukasutusest [1]. Aastaks 2030 prognoositakse lokaalkütte osakaalu suurenemist 60 %-ni. Sealjuures hinnatakse, et lokaalküttele üleminekul saavutatavast energiasäästust (105…240 GWh) tulenevalt on võimalik saavutada 5,1…11,7 mln € suurune rahaline sääst [2; 3]. Seega on edaspidigi lokaalkütte katelseadmete laialdasemal kasutuselevõtul ning olemasolevate seadmete tõhusal kasutamisel ning hooldamisel tähtis roll Eesti taastuvenergia ning energiatõhususe alaste eesmärkide täitmisel.

Kohalikku soojusvarustussüsteemi saab jagada lokaal- ja kohtkütteks. Kui lokaalküte on ühe hoone terviklik varustamine soojusega läbi hoone tarbijapaigaldise, siis kohtküte abil varustatakse soojusega eramu või suurema hoone üht osa. Lokaalsetes küttelahendustes kasutatavate kütuse ning soojusgeneraatorite kohta pidevalt statistikat ei koguta - vastavat infot saab vaid eraldi koostatavatest küsitluspõhistest uuringutest. Lähiperioodist saame tuvastada kaks uuringut:

1. Energiasäästlik käitumine elanikkonnas [4] ning
2. Leibkondade energiatarbimise uuring [5].

Eelnimetatud uuringute lokaalkütte valdkonnaga seonduvad üldtulemused on koondatud joonistele 1 ja 2.

Joonis 1. Eluruumide soojusega varustamine kütmisviisi järgi: EKE – uuringu „Energiasäästlik käitumine elanikkonnas“ andmed; LEU – uuringu „Leibkondade energiatarbimise uuring“ andmed [4; 5; 6]

Joonis 2. Lokaalküttes kasutatavad kütused [4]

Jooniselt 1 näeme, et kohalikku soojusvarustussüsteemis on valdavalt kasutuses ahjud, pliidid ning kaminad. Sealjuures kasutatakse hoonete lokaalsel soojusega varustamisel valdavalt puitkütuseid (küttepuit, puidujäätmed, pelletid jms) [4; 5; 6]. Alljärgnevalt anname ülevaate suure soojussalvestusvõimega ahjudest, kui ühest levinuimast kohtkütteseadmest Eesti oludes.

2009 aastal kinnitas EL normid tahkel kütusel (halupuu, pelletid) töötavatele kütteseadmetele, mis on ehitatud pottseppade poolt. Kehtiv norm EN 15544, jõustus 1.01.2010 ja määras piirid CO, NO, lendtuha ja põlemata orgaanilise ainete kohta, tekib pottseppade poolt ehitatavates ahjudes. Samas on kehtestatud norm EN 15250, mis määrab nende kütteseadmetele esitatavad nõuded katsetuste läbiviimise kohta. Nüüd on päevakorras EL direktiivi kehtestamine, mis tuleb arutusele aprillis 2014.a. Direktiiv on kohustuslik kõigile EL riikidele olenemata selle riigi enda normidest. Esialgselt on kavas kehtestada direktiiv mis kehtib tööstuslikult valmistatud ahjudele, kus kasutatakse kütuseks halupuid, pelleteid või puidubriketti. Selge on, et edasi tuleb direktiiv pottseppade poolt ehitatavatele ahjudele. Milline on olukord Eestis ahjude ja pliitide osas. Eesti Keskkonna Ministeeriumi poolt telliti 2013.a. uuring [7] Eesti Keskkonnauuringute Keskuse OÜ-lt, kus mõõdeti meie tüüpilise ahju ja pliidi töö käigus eralduvate suitsugaaside ja lendtuha parameetreid. Kogu see uuring toimus Genfi konventsiooni protokolli raamides. Tulemused kajastavad Eestis ehitatavate tüüpiliste kütteseadmete olukordi ja peaks andma mingi pildi meie seisust.

Tabel 1 Normide ja EKuK mõõtmiste võrdlus [7]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | EN 15544 norm 1.01.2010.a. ahjule  |  Eestis mõõdetud ahi 2013.a.  |  Eestis mõõdetud  pliit  |
| Vingugaas CO mg/MJ halupuu keskmine  | 1000 | 3299,55 | 3552,212 |
| NO mg/MJ halupuu keskmine | 150 | 245,08 | 230.361 |
| Põlemata orgaanika mg/MJ halupuu keskmine | 80 | 43,813 | 106,891 |
| Lendtuhk (tolm) mg/MJ halupuu keskmine | 60 | 274,618 | 257,325 |

 EN 15544 fikseerib ka kütteseadme minimaalse keskmise kasuteguri 78 %. Keskkonnauuringute Keskus seda küll ei mõõtnud, kuid erinevatel aegadel Eesti ahjudel tehtud mõõtmised näitavad, et siin meie ahjude parameetrid on tunduvalt alla selle normi. Millised on probleemid meie ahjude juures. Mis jääb puudu meie meistrite oskustes?. Eestis lõpetas viimane lend pottseppi aastal 1994. Vahepealsel ajal ilmus meile nn. soome ahi, mis oma olemuselt oli mõnevõrra vene ahju edasiarendus. Neid ahjusid iseloomustab see, et nende väliskest on ehitatud tellistest, mitte aga ahjupottidest. Keegi neid ei mõõtnud, ainult kiideti kui suure kasuteguriga, palju sooja salvestavat ahju. Tegelikult oli nende soojuslikud parameetrid halvemad kui Eestis levinud pottkivi ahjudel. Küll on aga nende ehitus pottsepale lihtsam ja kiirem. Vale oleks öelda, et telliskivi ahju ei saa ehitada sama heaks kui pottkivi ahju aga selle ehitus pottsepa poolne maksumus oleks suurem.

Millised on ahjuehituse põhitõed käesoleval ajal?

Ahju (kütteseadme) kolle peab olema piisava mahuga, et maksimaalse kütuse koguse korral jätkuks koldes ruumi puude põlemiseks. Õhk koldesse tuleb juhtida puudele ümberringi ja seda puude peale aga mitte puude alla läbi resti. Siis saame hoogsa põlemise ja piisavalt kõrge kolde temperatuuri, mis on kõrge soojusliku kasuteguri saamise üheks eelduseks. Meie kolded kipuvad olema liialt väikesed, eriti kõrgus jätab soovida.

Koldest lähtuvad suitsulõõrid peavad olema piisavalt pikad, et suitsugaasid saaksid sooja ülekanda ahjule. Lõõride ristlõiked peavad olema sobivad suitsugaaside kogustele ja iga järgmine lõõr peab kitsenema, sest suitsugaasid jahtudes tõmbuvad kokku ja nende soojuslik ülekanne lõõri seintele väheneb. Meil kiputakse ehitama paralleelseid suitsulõõre, mis vähendavad ahju soojuslikku kasutegurit. Oluline on korstna kõrgus, see peab olema suurem kui suitsulõõride kogupikkus. See probleem tekib madalate majade (aiamajade) juures.

Vaatame näiteks ahju mis peab kütma kuni 50 m2 ruumi, seda välistemperatuuril -22 kraadi ja sooja eralduskestus 12 tundi. Sellise ahju võimsus peaks olema vähemalt 5 kW. Ahju kolde põrandapindala oleks 2000 cm2, kolde siseseinte kogupindala vähemalt 18000 cm2. Kolde kõrgus 65 cm. 1. suitsulõõri pindala ca 800 cm2, viimasel ca 400 cm2. Suitsulõõri kogupikkus vähemalt 5,8 meetrit, mis jaguneb tavaliselt viieks lõõriks. Lõõri kogupikkust mõõdetakse mööda suitsulõõri mõttelist keskjoont. Iga 90 kraadiline põlv lisab lõõri pikkusele 0,3 meetrit. Kui ahi ehitada üldjoontes selliste parameetritega, siis peaks saavutama 78 % kasuteguri ja suitsugaaside koostisele ei tohiks olla etteheidet. Suitsugaaside temperatuur mis väljub ahjust ei tohiks olla üle 240 kraadi. Lisada tuleb, et kütta tuleb kuiva puuga 20 % niiskust ja halud olgu peeneks lõhutud. Halupuu ümbermõõt võib olla maksimaalselt 20 cm.

Rehemajade omanikud, kellel on veel reheahjud alles, on huvitatud reheahjude säilitamisest, et hoida rehemaja olemust. Selleks et hinnata reheahju kasulikust tuleb vaadelda reheahju soojenemist ja jahtumist. Lisaks uuritakse reheahju ehitust ning arvutatakse reheahju kasutegur. Eesti Vabaõhumuuseumi maaarhitektuuri keskusel on projekt Vana maamaja käsiraamatu järjena välja anda ka Reheahju käsiraamat. Seoses raamatu valmimisega on vaja anda ülevaade reheahjude efektiivsusest. Selles artikli eesmärgiks ongi jälgida ühe reheahju kütmist. Kuidas ahi soojeneb ja jahtub, lisaks veel uurida reheahju ehitust ning määrata ahju kasutegur.

Reheahjude soojusefektiivsuse määramiseks kaaluti ära ahju pandud puud ning määrati puude niiskused. Seejärel pandi reheahju pinnale temperatuuri andurid võimalikult ühtlaste vahedega ning püüti mõõta ka kerisel olevat temperatuuri ning korstnasse mineva suitsugaasi temperatuuri. Kui andurid olid paika pandud alustati kütmisega. Hiljem teostati andmetöötlus kus pinnatemperatuuri ja ruumitemperatuuri vahe kaudu leiti ahju pinnalt eralduv soojusvõimsus. Puude massi ja niiskuse kaudu arvutatakse välja puude kütteväärtus. Seejärel leitakse otsesel meetodil ahju kasutegur.

Reheahju soojustehnilised mõõdistamised viidi läbi Kurgja külas, Carl Robert Jakobsoni Talumuuseumis, kus 2013 aasta suvel ehitati uus reheahi. Reheahi on 2,1 meetrit pikk, 1,7 meetrit lai ja 2 meetrit kõrge. Reheahjul on kolmes küljes laskuvad suitsulõõrid mille kaudu suits kolde alla juhitakse ja sealt korstnasse. Ahju kolde mõõdud on 1,2×0,58×0,55 meetrit. Ahju ees on kerise kohale avanev luuk.

Mõõteriistad olid ahju küljes neli järjestikust küttekorda. Põletatud puidu kogused olid esimesel kütmisel 20,95 kg, teisel kütmisel 21,64 kg, kolmandal kütmisel 22,9 kg ja neljandal kütmisel 21,14 kg. Keskmine niiskus puidul oli 15 %. Mõõtmistulemused on välja toodud joonisel 1.

Joonis 3 Kurgja reheahju mõõtmistulemused

Jooniselt 3 on näha et esimesel küttetsüklil on keriseluuki kinni hoitud ning seetõttu pole ahju pinnatemperatuur niipalju langenud kui teistel kütmistel. Samuti on kerisetemperatuur jäänud küllaltki kõrgeks. Teistel kütmiskordadel on keriseluuk, peale ahju kinni panemist, lahti tehtud. See on endaga kaasa toonud kiire kerise temperatuuri languse ja ka ahju pinna temperatuur on langenud kiiremini kui kinnise luugiga. Samas aga on toatemperatuur järsult tõusnud. Jooniselt on näha et kolmandal küttetsüklil on ahi hiljem kinni pandud. Ilmselt on jäänud üksik tukk põlema, mis ei ole lasknud ahju sulgeda. Seetõttu on keskmine pinnatemperatuur jäänud tunduval madalamaks kui teistel kütmiste.

Kuna ainult esimese kütmiskorra ajal hoiti keriseluuki kinni ja sealtkaudu soojusenergiat ruumi ei lastud siis leiti esimese küttekorra järgi ahju kasutegur. Selleks leiti kõigepealt ahju pandud puude energiasisaldus. Kuna ahju pandud puud olid enamasti lepp ja haab siis puude kuivaine kütteväärtus on 18,5 MJ/kg[8]. Kuna aga puude niiskus oli 15 % siis leiti tarbimisaine kütteväärtus

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | $$Q\_{a}^{t}=Q\_{a}^{p}\left(1-\frac{W\_{t}}{100}\right)-2,44\frac{W\_{t}}{100}=15,359 MJ$$ | (1) |
| Kus | $$Q\_{a}^{t}$$ | on | puidu tarbimisaine kütteväärtus MJ/kg; |
|  | $$Q\_{a}^{p}$$ | − | puidu põlevaine kütteväärtus MJ/kg; |
|  | *Wt* | − | Puidu niiskus %. |

Arvestades et puid oli kokku 20,95 kg siis kokku kulutati ahju kütmiseks 321,77MJ energiat.

Ahju pinnalt ruumi antava energia leian kasutades Wagneri võrrandit[9].

Joonis 4 Ahjult ruumi kanduv energia 1 ruutmeetri kohta.

Saadud tulemustest leian, et esimese küttetsükli jooksul keskmine soojusvõimsus on 130,65 W/m2. Arvestades, et esimene küttetsükkel kestab 20,5 tundi ja ahju pinna pindala on 18,77 m2 saame tsükli jooksul ruumi eralduva energiahulgaks 50,272 kW·h ehk 180,98 MJ. Arvestades puidu kütteväärtust on ahju kasutegur 56,2 %. Tegelik kasutegur on kindlasti suurem kui leitud kasutegur, sest kui vaadata jooniseid 1 ja 2 siis on näha et ahjus olev energia ei ole veel jõudnud 20 tunniga läbi ahju seina väljuda. See tähendab, et enne kütmist on ahju kerise temperatuur tunduvalt madalam kui esimese küttetsükli lõpus.

Kurgja ahju kohta tehtud arvutused näitavad ahju kasuteguriks 56,2 %, kuigi tegelik kasutegur on ilmselt natuke suurem kuna ahju sisse jäänud energia ei jõudnud enne uut kütmist ruumi. Samuti on joonistelt näha et ligikaudu samasuguste ahjutäitega võib ahi väga erinevalt käituda. Kõige suurema kütuse kogusega võib ahju temperatuur jääda kõige madalamaks kui ei saa ahju õigeaegselt kinni panna.

Reheahju efektiivsusest parema pildi saamiseks oleks pidanud suitsugaasianalüüsi ka tegema aga seda polnud võimalik teha kuna ahjul puudud koht kust oleks saanud suitsugaase mõõta. Täpsama tulemuse oleks saanud ka kui oleks olnud rohkem küttekordi kinnise keriseluugiga.

# Moodulahju katsetus 12. aprillil 2014

Ahja ahjutehase Croval massist moodulahju kütmine toimus 12. aprillil 2014



**Joonis 5** Katsepaiga üldvaade

Pinnatemperatuure mõõteti 35 punktist järgmise hommikuni. Edasise jahtumisega kaasnev keskmise pinnatemperatuuri ja ruumitemperatuuri erinevus tuletati mõõtmisest saadud eksponentvõrrandi (2) järgi, kus τ on aeg sekundites. Joonisel viitab sellele väike jõnks.

 (2)

**Joonis 6** Esimene kütmine 12. aprillil 2014 – ahju väljundvõimsus vattides

Ahju pinna soojusväljastus on saadud kasutades valemit (3), ehk nn Wagneri võrrandit. Võrrand on taastatud kirjandusallika [9, lk.90] tabelist „**Wärmeabgabe von Heizflächen** (korrigierte Wagner-Linie nach Ing. Graf)“ 3,07 m ja 2,38 m on vastavalt ahju aktiivosa ümbermõõt ning kõrgus.

 (3)

Eeltoodust lähtuvalt võis ahju pinnalt eralduda soojushulk 106,39 MJ. Pärast kütmist koldest ja tuharuumist eemaldatud tahke põlemisjääk sisaldas 69,1 grammi tuhka ning ligikaudu 300 grammi söetükikesi, mille järgi määrati mehhaaniliselt mittetäieliku põlemise soojuskadu valemist (4).

Φ4 = 0,3·34=10,2 MJ (4)

Kaudsel meetodil kasuteguri määramine ebaõnnestus suitsugaaside kõrge vingusisalduse tõttu. **Arvestades suitsugaasi ülimadalat temperatuuri katse käigus, võib kahtlustada kõrget keemiliselt mittetäieliku põlemise kadu, millele viitas ka gaasianalüsaatori korduv väljalülitumine ja must suits korstnast.** Pisteliselt mõõdetud CO tase gaasides andis tulemuseks kuni 25949 ppm. Teisalt võib pidada esimest kütmist ahju käivituskatseks, mille käigus akumuleerus ahju salvestavasse massi (ca 3000 kg) Δt=20 °C ja erisoojus 1 kJ/kg/K 60 MJ energiat, millele vastab umbes 5 kg kütust.

**Sellises olukorras peaks kasutama gaasianalüsaatorit, millel on proovi lahjendamise võimalus. Kannatab küll mõõtetäpsus, kuid andmeid õnnestuks koguda terve katse ulatuses.**

Arvestades ahju ukse keskmiseks temperatuuriks 6h vältel alates kütmise algusest 300 °C, saab leida kiirgusliku soojusvoolu ukselt, mis jäi mõõtmata ahju pinnatemperatuuri andurite vahendusel valmeist (5) eeldusel, et ahjuukse kiirgustegur on ε=0,75 ja pindala on 0,16 m2.

 (5)

Saadud soojusväljastus on 683,3W · 6h · 3600s = 14,76 MJ, mis liitub ahju pinna soojusväljastusele. Andmeid täpsustades saab hiljem tulemust korrigeerida.

Kütusena kasutati 11,83 kg haava ja musta lepa segu (15 halgu), mille keskmine niiskus kogumassi suhtes oli hinnanguliselt 15%. Järelikult tarbimisaine alumine kütteväärtus on 15,5 MJ/kg. Seega ahju sisendenergia esimesel kütmisel oli 183,3 MJ.

**Kasuteguri tuletamisel otsesel meetodil võtame arvesse toodetud soojuse ja kulutatud kütuse energia ning arvutame suhte, mida võib väljendada protsentides. Kaudsel meetodil leitakse kasutegur põlemisgaaside temperatuuri ja koostise alusel. Enamasti mõõdetakse hapniku ja vingugaasi sisaldust. Kütuse koostisest lähtuvalt arvutatakse ka süsihappegaasi mahuprotsent.**

**Joonis 1.2** Suitsugaasi temperatuur katse vältel

Toodetud energia ahju pinnatemperatuuri ning ukse temperatuuri kaudu hinnatud 121,15 MJ ning arvesse võttes, et 10,2 MJ mehhaaniliselt mittetäieliku põlemiskao söetükid on kasutatavad järgmisel kütmisel süütematerjalina on ahju kasutegur otsesel meetodil määratud vastavalt valemile (6).

 (6)

Järgmiste kütmiste käigus saab täpsustada andmeid ja parandada tehtud vigu.

LAURI osa (millised võiks olla ahju meistri ja projekteerija soovitused?)

2013 aastal valmisid rahvusvahelise pottsepakoolituse raames EMÜ tehnikainstituudi ruumes kaks Eestis uudse koldekonstruktsiooniga pliiti. Kui tavaliselt oleme harjunud nägema, et pliidikolde kuuest küljest pool on jahedad metallpinnad, siis õppepliitide koldes ehitati ilma restita. Pealt on kolle piiratud keraamilisest materjalist plaadiga ja ka koldeukse sisepind kaeti soojusisolatsioonimaterjaliga. Kõik see on vajalik, et saavutada piisavalt kõrget põlemistemperatuuri. Õhu juurdejuhtimiseks rajati kolde tagaseina spetsiaalavad, mille koostöö õigesti arvutatud lõõristiku ja sobiva korstnatõmbega tagavad piisava hapniku kvaliteetseks põlemiseks. EMÜ katlalaboris läbi viidud katsed näitasid, et ka umbkoldes on võimalik saavutada puhas põlemine. Mõõdetud vingugaasi kontsentratsioon jäi kogu katse keskmisena alla 800 ppm. Esialgu oli probleeme soovitud koldevõimsuse saavutamisega, millele viitas põlemata söekihi kasv katse käigus. Korduvalt ümber ehitatud õhukanalid said lõpuks õige kuju ja tulemusega võib tutvuda katlalaboris.



**Kirjandus**

1. Vali, L. Kaugkütte energiasääst. 2013. Eesti Arengufond, Tallinn. 102 lk. Kättesaadav: http://www.energiatalgud.ee/img\_auth.php/4/46/Eesti\_Arengufond.\_Kaugkütte\_energiasääst.pdf (19.04.2014).
2. Vali, L. Aruanne energiamajanduse arengukava soojusmajanduse tegevuskava koostamisest. 2014. Eesti Arengufond, Tallinn. 13 lk. Kättesaadav: http://www.energiatalgud.ee/img\_auth.php/3/35/Aruanne\_soojusmajandus.pdf (19.04.2014).
3. Eesti Arengufond. Soojusmajanduse ENMAK stsenaariumid. Kättesaadav: http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=Soojusmajanduse\_ENMAK\_stsenaariumid (19.04.2014).
4. Turu-uuringute AS. Energiasäästlik käitumine elanikkonnas. Eesti elanikkonna uuring. Tallinn, 2012. 62 lk.
5. Eesti Statistikaamet. Leibkondade energiatarbimise uuring, Tallinn 2013. 30 lk.
6. Energiatalgud. Soojusvarustus. Kättesaadav: http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=Soojusvarustus (19.04.2014).
7. EKUK ahjuuuring Kättesaadav [http://www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1196348/genfi\_aruanne\_final.pdf](http://www.envir.ee/orb.aw/class%3Dfile/action%3Dpreview/id%3D1196348/genfi_aruanne_final.pdf)
8. TTÜ soojustehnika-instituut. Puit. Kättesaadav: https://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/soojustehnika-instituut/oppematerjalid/kyte-ventilatsioon/2.\_Puit.pdf
9. Gerhard Eberl " Fachkunde für Hafner" (c) öbvahpt VerlagsgmbH& Co, Wien 2001