EESTI MAAÜLIKOOL

Tehnikainstituut

Mart Aru

PILUKOLDE TÖÖ JA SUITSUGAASI ANALÜÜS

UMWELT-PLUS FIREPLACE AND FIRE GAS

Bakalaureusetöö

Energiakasutuse õppekava

Juhendajad: lektor Mart Hovi, *MSc*

lektor Külli Hovi, *MSc*

Tartu 2016

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

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Mart Aru		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Pilukolde töö ja suitsugaasi analüüs			
Lehekülgi: 34	Jooniseid: 9	Tabeleid: 5	Lisasid: 0
Osakond: Tehnikainstituut Uurimisvaldkond: 4.17 Energeetikaalased uuringud, T140 Energeetika Juhendaja(d): Mart Hovi, Külli Hovi Kaitsmiskoht ja aasta: Tartu, 2016			

Käesoleva bakalaureusetöö peamiseks eesmärgiks on võrrelda Eesti klassikalist ahju- ja pilukollet ning tuua välja viimase eelised. Täiendav eesmärk on uurida pilukolde tööd.

2020. aastaks soovib Euroopa Liit võtta kasutusele meetmed, millega suurendada energia sektoris taastuvenergia osakaalu 20%-ni, vähendada kasvuhoonegaase 20% võrra ning tõsta energia tarbimise kasutegurit 20% võrra võrreldes 2007. aastaga.

Klassikalise Eesti umbahju ja kaasaegse pilukolde võrdluses leiti, et uuem tehnoloogia tagab kolm korda puhtama põlemise. Samuti on ka kasutegur suurem. Miinusena tuuakse välja, et Eestis ei ole piisavalt pädevaid meistreid, kes suudaks ehitada kaasaegset kollet.

Märksõnad: kasutegur, emissioonigaasid, kolle, pottsepad, pilukolle.

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

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Mart Aru		Specialty: Engineering	
Title: Umwelt-Plus Fireplace and Fire Gas			
Pages: 34	Figures: 9	Tables: 5	Appendixes: 0
Department: Institute of Technology Field of research: 4.17 Energetic Research, T140 Energy research Supervisors: Mart Hovi, Külli Hovi Place and date: Tartu, 2016			

The main objective of this bachelor's thesis is to assess the Estonian classical stove and Umwelt-Plus fireplace and to point out the advantages of Umwelt-Plus fireplace. The additional aim is to study Umwelt-Plus fireplace burning process.

By the year 2020 European Union plans to apply measures which would increase the renewable energy share in the energy sector to 20%, decrease greenhouse gas emissions by 20% and increase the efficiency of energy consumption 20% compared to 2007.

In the comparison of classical Estonian stove and Umwelt-Plus fireplace it was found that modern technology provides three times cleaner burning process. Also the latest technology has greater efficiency factor. The disadvantage is that Estonia does not have enough competent potters who would be able to build a modern stove.

Keywords: efficiency, emission gases, fireplace, potters, Umwelt-Plus fireplace.

SISUKORD

Sissejuhatus 5
1. Töö eesmärk ja ülesanded 7
2. Ahiküte 8
2.1. Standard EN 15544 9
3. Klassikalised eesti ahjud 11
3.1. Kolded 11
3.2. Umbkolle 13
3.3. Restkolle 14
3.4. Pilukolle 15
4. Pilukolde töö 17
4.1. Kasutegur 18
5. Mõõtemetoodika 19
5.1. Mõõteaparatuur 19
5.2. Proovide võtmine 20
5.3. Kütuse kaalumine ja niiskuse määramine 21
6. Uuritav pilukolle 22
6.1. Kolde tehnilised andmed 22
6.2. Suitsugaasi analüüs 23
6.3. Eriheitmete leidmine 23
6.4. Kasuteguri määramine kaudsel meetodil 26
6.5. Tulemuste analüüs 28
Kokkuvõte 30
Kasutatud kirjandus 31
Summary 33
Lihtlitsents 34

SISSEJUHATUS

Järjest kiiremini arenevas ühiskonnas on tarbimise kasv olnud märgatav. Kasvanud on ka sõltuvus energiaimpordist. Piiratud energiavarud ja samuti vajadus piirata kliimamuutusi on probleemid, mis tuleks lahendada. Energia efektiivsema kasutamisega on võimalik neid probleeme leevendada. Tõhusam energia kasutamine aitab vähendada kasvuhoonegaase. Üleminek energiasäästlikumale majandusele peaks ka kiirendama innovaatiliste lahenduste levikut. [1]

Alates 2007. aastast on Eesti ületanud Genfi konventsiooni protokollis kokku lepitud heksaklorobenseeni künniskogust. Samuti on ületatud osadel aastatel polüaromaatsete süsivesinike künniskogust. Ületamiste üks põhjus on seotud puidu osakaalu suurenemisega väikepõletusseadmetes. Piirmäärade ületamiste tõttu algatati Genfi konventsiooni poolt Eesti suhtes rikkumine. [2]

Tegeliku mõju inimese tervisele määrab ära saasteaine osakeste suurus ja keemiline koostis, sealhulgas erinevate toksiliste ja kantserogeensete ainete sisaldus. Tervisemõju täpsemaks hindamiseks on vajalik heiteallikate põhjalik hindamine ja erinevate ohtlike saasteainete heitkoguste mõõtmine. [2]

2013. aastal viidi Eesti Keskkonnauuringute Keskuse ahjulaboris läbi uuring kodumajapidamistes kasutatavate ahjude heitkoguste täpsemaks määratlemiseks. Selle käigus mõõdeti emissioonigaase umbkoldega ahjust, pliidist ja kaminast. Uurimuses on kasutatud Eesti Keskkonnauuringute Keskuse ahjulabori töö tulemusi ning tehtud lisamõõtmised pilukoldest eralduvate saasteainete eriheidete määramiseks.

Võitlemaks kliimamuutustega koostas 2008. aastal Euroopa Liit kliima- ja energiapaketi mille plaan on vähendada kasvuhoonegaase 20% võrra, suurendada taastuvenergia osakaalu 20% võrra ning parandada energia tarbimise kasutegurit 20% võrra. Eesmärkide saavutamise käigus eeldatavalt muutuvad ahjude nõuded emissioonigaaside piiramiseks üha karmimaks. [3]

Uute normide tulemusena on viimasel kümnendil rohkem panustatud efektiivsemate küttekollete väljatöötamisse. 2015. aastal võeti vastu määrus 2015/1189 millega rakendatakse Euroopa Liidu direktiivi 2009/125/EÜ seoses tahkel kütusel töötavate katelde ökodisaini nõuetega. Määruse lisas 2 on ära toodud, et 1. jaanuarist 2020 peavad tahkekütusekatlad vastama järgmistele nõuetele [4]:

- kateldel nimisoojusvõimsusega kuni 20 kW ei tohi kütmise sesoonne energiatõhusus olla väiksem kui 75%;
- kateldel nimisoojusvõimsusega kuni 20 kW ei tohi kütmise sesoonne energiatõhusus olla väiksem kui 77%;
- kütmishooajal tekkiv tolmuheide ei tohi ületada 40 mg/m^3 automaatse etteandega kateldel ning 60 mg/m^3 käsitsi teenindatav kateldel;
- kütmishooajal tekkiv orgaaniliste gaasiliste ühendite heide ei tohi ületada 20 mg/m^3 automaatse etteandega kateldel ning 30 mg/m^3 käsitsi teenindatav kateldel;
- kütmishooajal tekkiv vingugaasiheide ei tohi ületada 500 mg/m^3 automaatse etteandega kateldel ning 700 mg/m^3 käsitsi teenindatav kateldel;
- kütmishooajal tekkiv lämmastikoksiidide heide ei või ületada 200 mg/m^3 biokütusekateldel ning 350 mg/m^3 fossiilkütusekateldel.

Nõuded peavad olema täidetud nii eeliskütuse kui ka muu tahkekütusekatlas kasutamiseks sobiva kütuse puhul. [4]

Karmistuvate keskkonnanõuete tulemusel peavad ka pottsepad järjest enam arendama võimalikult efektiivseid ja keskkonnasäästlike kütteseadmeid, sest suure tõenäosusega hakkavad ka neile tulevikus kehtima karmid nõuded. Selleks, et saavutada paremat kasutegurit hakati uurima ahjude ökonoomust ja põlemise puhtust. Alates 1. jaanuarist 2010. aastast kehtib Euroopa Liidus norm EN 15544, mis määrab pottseppade poolt ehitatavate ja tahkel kütusel töötavatele kütteseadmetele esitatavad nõuded. [5]

Tänan eelkõige oma juhendajaid Mart Hovit ja Külli Hovit abi ja nõuannete eest. Palju tänu Lauri Lõhmusele, kes lubas katsetes kasutada tema poolt ehitatud ahju ning abistas mind tehnilistes küsimustes.

1. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Lokaal- ja kohtküte moodustavad Eestis soojusvarustusest märkimisväärse osa. Lokaalkütteks loetakse viisi kus ühe hoone soojaga varustamine toimub läbi hoone soojasõlme. Kohtkütteks loetakse kütteviisi, mille puhul varustatakse soojusega üht osa eramust. Sellised kütteviis on enim kasutusel asulates või piirkondades, kus kaugkütete kasutamisvõimalus puudub. Välisõhu kvaliteedi parandamiseks tuleks tiheasustusega piirkondades eelistada lokaal- ja kohtküttele kaugkütet, kuna nendes piirkondades suureneb kütteperioodil õhus olevate saasteainete kontsentratsioon ning seetõttu kasvab piirkonna õhusaaste. Paraku igal pool kaugküte ei ole kättesaadav ning ainukeseks võimaluseks on kasutada lokaal– või kohtkütet. [6]

Sellest tulenevalt on antud töös uuritud, mida saaks teha, et vähendada saasteainete kontsentratsiooni lokaal- ja kohtküttega piirkondades. Uurimuses on vaatluse alla võetud klassikaline Eesti umbkoldega ahi ja kaasaegne pilukolle, eesmärgiga selgitada välja palju eriheitmeid tekib katsetatud kolletes ning mis on nende kasutegur. Tulemuste põhjal saab anda soovitusi keskkonnasäästlikumate kollete ehitamiseks.

Kasutatud on Eesti Keskkonnauuringute Keskuse laboris teostatud mõõtmised klassikalise umbahjuga, mis on tehtud Genfi konventsiooni protokolli nõuete täitmise raames. Kaasaegseks koldeks on valitud Austriast päris pilukolle, mis Eestis ei ole veel nii laialdaselt levinud.

Teiseks oluliseks punktiks on juhtida tähelepanu, et viimasel sajandil on küttekollete ehitus täiustunud. Töös tuuakse välja olulisemad punktid küttekolde arengus ning tutvustatakse kaasaegset pilukollet. Samuti kirjeldatakse lühidalt, milles seisneb selle ahju eelis ning juhitakse tähelepanu ja selgitatakse tulevikus kehtima hakkavaid Euroopa Liidu norme.

Töö käigus teostati suitsugaasi analüüs ja määrati kütuse niiskus. Pilukolde emissioonigaasid mõõdeti seadmega Testo 350 ning kütuse niiskus määrati ahjumeetodil. Saadud tulemusi on võrreldud Keskkonnaministeeriumi ahjulaboris läbi viidud mõõtmistega, kus katsetati umbkoldega ahju.

2. AHIKÜTE

Algeline soojendamisabinõu on lahtine tuli. Sellel lõkendav kütteaine eritab palju kiirgamissoojust ja õhku laiali valguvat suitsu. Elamute soojendamiseks lõkkes põlemisel tekkivat kiirgussoojust kui ka sooja suitsu on meil vanasti kasutatud talutaredes. [7]

Algeliseks ahjutüübiks võib juba pidada kaminat, kus lahtine tuli asetatakse tulekindlate seinte vahele ja suits juhitakse mantelkorstna avarasse lõõri. Kuna aga kaminas põlev tuli soojendas vaid niikaua, kui kütus põles, tekkis vajadus soojuse tagavaraks kogumiseks, mis saavutati sel teel, et lasti kaminas tekkivad kuumad gaasid läbi lõõride, nii andsid ruumidele soojust, kui tuli kaminast juba oli kustunud. [7]

Väljakaevamised kinnitavad, et inimesed kasutasid primitiivseid ahjusid juba 2500 aastat e.m.a., kus kütuseks oli enamasti puit. Euroopas on esinenud perioode, mil metsad on maha raiutud, sest puitu vajati suures koguses kütteks, majade ja laevade ehituseks. Metsade kadumine sundis inimkonda otsima säästlikumaid ahjusid – nii on paljud inimesed omaalgatuslikult otsinud ökonoomsemaid viise kütmiseks. [8]

Veel 1800. aasta algul oli probleemiks, kuidas ehitada suitsulõõre nii, et nende kaudu ei läheks ahjust palju soojust korstnasse. Alles siis, kui ahjuehitusega hakkasid tegelema insenerid, tekkisid kahtlused, et üksnes traditsioonilisele kogemusele toetudes ei saa projekteerida sobiva kujuga lõõristikke. [8]

20. sajandi lõpul, kui gaasi ja kütteõli hinnad järsult tõusid, tekkis vajadus alternatiivsete kütuste kasutamise järele. Riikides, kus ei leidunud fossiilseid kütuseid, hakati otsima olemasoleva kütuste baasil paremaid alternatiivseid lahendeid. [5] Esimesed tõsiseltvõetavad teaduslikud uuringud küttepuudega köetavate ahjude kohta ilmusid 1990. aastate alguses, mis panid aluse tänaseks väljakujunenud seisukohtadele. [8]

Ahjud on tekkinud ja arenenud maailmas erinevates paikades ja erinevatel aegadel ning üksteisest sõltumatult, kuid tänaseks on nad kujunenud konstruktsioonilt küllaltki sarnasteks. [9]

2.1. Standard EN 15544

Standard EN 15544 võeti Euroopa Liidus vastu 15.07.2009 ning Eestis jõustus see sama aasta oktoobris. Standard määrab ära kahhelahjude ja krohvitud pinnaga ahjude konstrueerimiseks kasutatavad arvutused, mis põhinevad valmistaja nõutaval soojuslikul nimiväljundvõimsusel. Kahhelahjud ja krohvitud pinnaga ahjud on individuaalse konstruktsiooniga [10]:

- standardit võib kasutada halupuudega köetavate kahhelahjude puhul, kus põletatakse salvestuskestuse kohta ühekordne kütusekogus maksimaalsuurusega 10 - 40 kg ning mille salvestuskestus ehk nimikütteaeg on vahemikus 8 - 24 tundi;

- nimetatud standard on kehtiv šamottvoodriga kahhelahjudele ja krohvitud pinnaga ahjudele. Šamoti tihedus on vahemikus 1750 kg/m³ kuni 2200 kg/m³, mahuline poorsusaste vahemikus 18% kuni 33% ning soojusjuhtivus suurusjärgus 0,65 W/(m·K) kuni 0,90 W/(m·K) (temperatuurivahemiku 20 °C kuni 400 °C puhul);

- standard on kehtiv kahhelahjudele ja krohvitud pinnaga ahjudele, mille küttekoldel on külgmine põlemisõhuvarustus ja mille õhu sissevoolu kiirus on 2 - 4 m/s, madalaima ava kõrgus kolde põhjast on vähemalt 5 cm;

- standard ei kehti kombinatsioonide puhul keskküttevee soojusvahetitega või teiste soojust neelavate elementidega;

- samuti ei kehti see kütte- või kaminakolde puhul, mis vastavad standardile EN 13229;

- antud standard ei kehti seeriatootmises valmistatud ahjudele, mis töötavad tahkel kütusel vastavalt EN 15250 järgi.

Standard tagab, et kui pottsepp kasutab objekti arvutamisel kahhelahjuarvutusprogrammi sisestades sinna vastava objekti algandmed, on garanteeritud, et ahi vastab standardis esitatud nõuetele [10]:

- kus vähemalt minimaalne kasutegur on 78%;
- vingugaasi sisaldus suitsugaasis on kuni 1000 mg/MJ (1500 mg/Nm^3);
- lämmastikdioksiid sisaldus suitsugaasis on kuni 150 mg/MJ (225 mg/Nm^3);
- orgaaniliselt seotud süsinik sisaldus on kuni 80 mg/MJ (120 mg/Nm^3);
- tolm 60 mg/MJ (90 mg/Nm^3).

EN 15544 standardit on hea juhendmaterjal mille järgi ehitada suure kasuteguriga ahju. Kasutades antud juhendit suudavad pottsepad konkureerida teiste kütteseadmete pakkujatega. Nende kütteseadmed vastavad kaasaja tehnika tasemele, sest projekteerimisel on lähtud samalaadsetest standarditest ja direktiividest. Standardite laiem levik aitab parandada pottseppade soojustehnilise arvutusoskust, mida neile ameti õppimise käigus võidakse seletada mitte piisavalt. [10]

3. KLASSIKALISED EESTI AHJUD

Enimlevinud lokaalkütteseadmeks võib hetkel Eestis nimetada püstlõõridega kandilisi umbkoldega Hollandi ahjusid, mis on meile tulnud Venemaalt. Nende arvukus on suur peamiselt sellepärast, et meie pottsepad oskavad erinevatest ahju tüüpidest just neid kõige paremini ehitada, kuna nad on neid kõige rohkem teinud ning nende hind on võrreldes kaasaegsemate ahjudega soodne. Samalaadseid ahjusid ehitatakse isegi veel praegu, vaatamata nende aegunud konstruktsioonile ning madalamale kasutegurile. [9]

Tänapäeval kohtab lokaalkütteseadmeid peamiselt ühe-kahekorruselistes hoonetes, millele on iseloomlik küllaltki madal korsten. Ahju ehitamiseks nõutav vähim korstna kõrgus kolde põhjast on 5 m, pööninguta hoone puhul on kasutusel ka madalam korsten, mis võib tekitada probleeme tõmbega. Sellest tulenevalt ei saa ehitada pika lõõristuga soojusseadet. Nüüdisaegsetel ahjudel on restkolle ja lühike lõõristik, mis omakorda tagab suurema kasuteguri kui niinimetatud Hollandi ahjul. [9]

Kodumajapidamiste puhul toetutakse eelkõige erinevate aktiivselt tegutsevate pottseppade arvamusele, kelle hinnangul oli 1990. aastal kasutusel 98% umbkoldega ahjud ning uuele tehnoloogiale EVS-EN 15544 vastavate ahjude osakaal oli ca 2%. 2010. aastal oli antud suhe hinnanguliselt vastavalt 50% ja 50% ning 2030. aastaks peaks suhe muutuma vastavalt 20% ja 80%. [2]

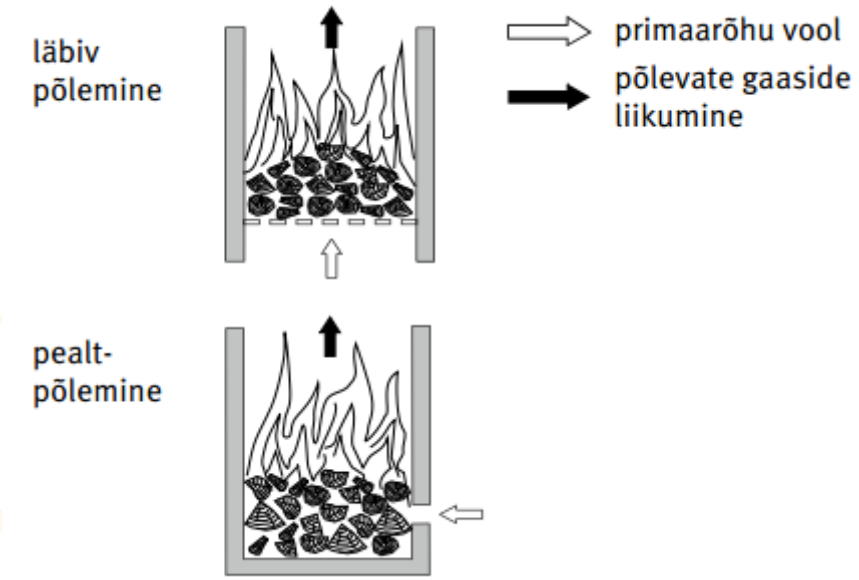
3.1. Kolded

Kollet võib pidada ahju südameks, sest seal toimub põlemine, mille käigus vabaneb soojus. Samuti määrab kolle ahju ökonoomsuse ja kasuteguri. Põlemise eelduseks on põlevaine segunemine hapnikuga kindlas vahekorras ja piisaval temperatuuril.

Orgaanilise aine põlevosa põhikomponentide süsiniku, vesiniku ja väävli täielikul reageerimisel hapnikuga tekivad vastavalt CO_2, H_2O, ja SO_2. Stöhhiomeetrilised põlemisvõrrandid võimaldavad määrata saaduste moodustamiseks vajaliku hapniku ja õhu hulga, mis on kütuse täielikuks põlemiseks minimaalselt vajalik. Teoreetiliselt arvutatud õhuhulgaga ei ole tegelikkuses võimalik tagada kütuse täielikku põlemist soojustehnilises

seadmes. Aine põletamiseks tegelikult kasutava õhu suhe ja teoreetiliselt vajalikku õhuhulka nimetatakse liigõhuks. Täielik põlemine vajab teoreetilisest õhuhulgast rohkem õhku. [11]

Läbival põlemisprintsiibil (joonis 1, ülal) töötava kolde puhul suunatakse põlemisõhk koldesse alt, läbi kolderesti ning see läbib kogu koldesse pandud kütuse. Kütus süüdatakse alt ning süte kiht tekib restile. Kogu koldesolev kütus kuumeneb ning süttib samaaegselt. Selle põlemisprintsiibi põhiliseks puuduseks on põlemisõhu koguse reguleerimine erinevates põlemisfaasides. Suure kütusekoguse korral ei ole koldes piisavalt palju ruumi, et erinevad kütusekihid saaksid korralikult seguneda hapnikuga ning leiaks aset nende täielik järelpõlemine. [12]



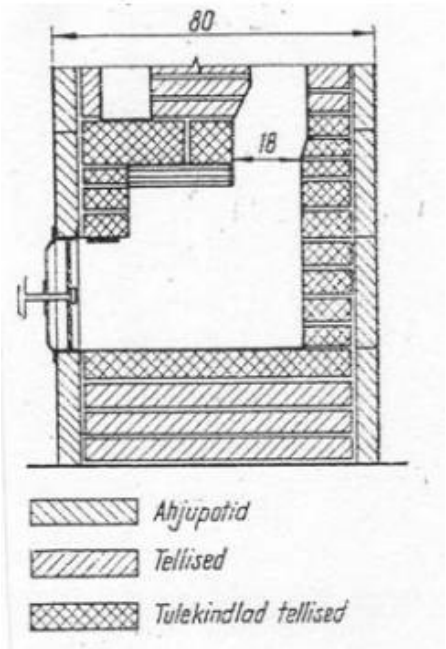
Joonis 1. Käsitsilaetavate küttekollete põlemisprintsiibid [12]

Erinevalt läbivast põlemisest ei suunata pealtpõlemise (joonis 1, alumine) korral põlemisõhku koldesse läbi resti, vaid see juhitakse külgedelt. Sellise põlemise puhul on oluline halgude korrapärane asetus koldes. Esimene koldetäis süüdatakse pealt ning sütekiht tekib kolde põhja. Samal ajal kui põlevad gaasid üles tõusevad, tekib kolde ülemises osas suhteliselt kiiresti kõrge temperatuur. Kütus kuumeneb aeglaselt ülevalt allapoole tagades ühtlase põlemise ning on kergemini kontrollitav, kui läbiva põlemise puhul. Kolde järeltäitmisel pannakse kütus hõõguvatele sütele ning järgnev

põlemisprotsess sarnaneb läbivale põlemiseprintsiibile. Sellisel juhul on ka pealtpõlemise puhul soovitatav lisada väikeseid kütusekoguseid. Kuna põlemisõhk ehk primaarõhk juhitakse kütuse peale, saab sellega vältida tuha sees olevate süte liigset hõõgvele puhumist. See on põhjus, miks ehitatakse uued pilukolded tihti ilma restita. [12]

3.2. Umbkolle

Umbkolle (joonis 2) on umbse põhjaga kolle. Sellepärast on teda ka lihtsam ehitada. Vanemad umbkolded ei pruugi olla väga ökonoomsed kuna ajal kui neid ehitati, ei mõeldud eriti kütuse kokkuhoiu peale, sest puid oli piisavalt saada. [9]



Joonis 2. Umbkolde skeem [9]

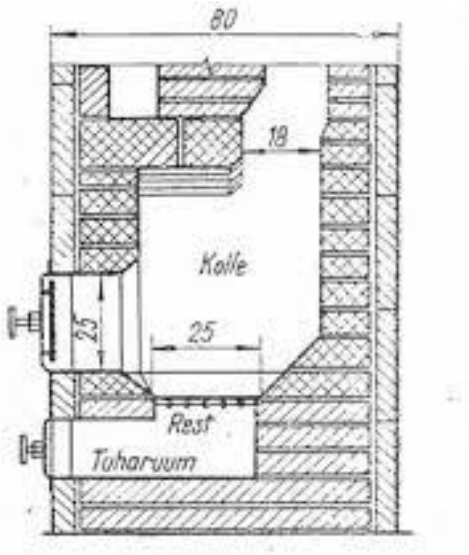
Kolde põhi laotakse alusele, millesse jäetakse tühemeid, et isoleerida alusel olevat kollet põhjakonstruktsioonist. Aluse kõrguseks on 3 - 6 rida tellisemüüritist. Külgseinad, mis on ühtlasi sel kõrgusel ahju välisseinteks, tehakse 1/2 kuni 3/4 kivi paksuses. Õhemad seinad lähevad ruttu kuumaks ja põlevad ülekuumenemise tõttu läbi, pealegi välisõhk jahutab kolde seinu ja alandab põlemise temperatuuri, mis omakorda halvab põlemisprotsessi. [7]

Harilikult keskmise suurusega ahjudes on kolde siseruumi mõõtudeks: laius 28 - 50 cm, sügavus-pikkus 55 - 80 cm ja kõrgus 55 - 75 cm [7]. Umbkoldesse juhitakse õhk läbi ukse.

Ahjul on tavaliselt topeltuks. Üks on sisemine, mille sisse on tehtud õhuvõtuavad ning teine on välimine, mis on küllaltki õhutihe. Kütmise ajal peaks välimine uks olema täiesti avatud, et kolle saaks õhku läbi sisemise ukse. Sisemisel uksel olevad avad peaksid piirama liigse õhu juurdepääsu, tagades samas võimalikult puhta põlemise. Peale põlemist tuleks sulgeda siiber ja välimine uks, et õhk ei pääseks kollet jahutama. Tihti on kolded ehitatud madalate lagedega, mis omakorda soodustab mittetäielikku põlemist, kuna hapnik ei pääse vingugaasiga ühinema.

3.3. Restkolle

Restkolle (joonis 3) on efektiivsem kui umbkolle.



Joonis 3. Restkolde skeem [9]

Peamine eelis seisneb selles, et läbi resti juhitud põlemisõhk pääseb paremini protsessi. Seega on põlemistemperatuur koldes 100 – 150 °C võrra kõrgem ning tagab puhtama põlemise ning suurema kasuteguri kui umbse põhjaga koldes. Restkollete vähese leviku põhjuseks võib tuua järgmised tegurid [9]:

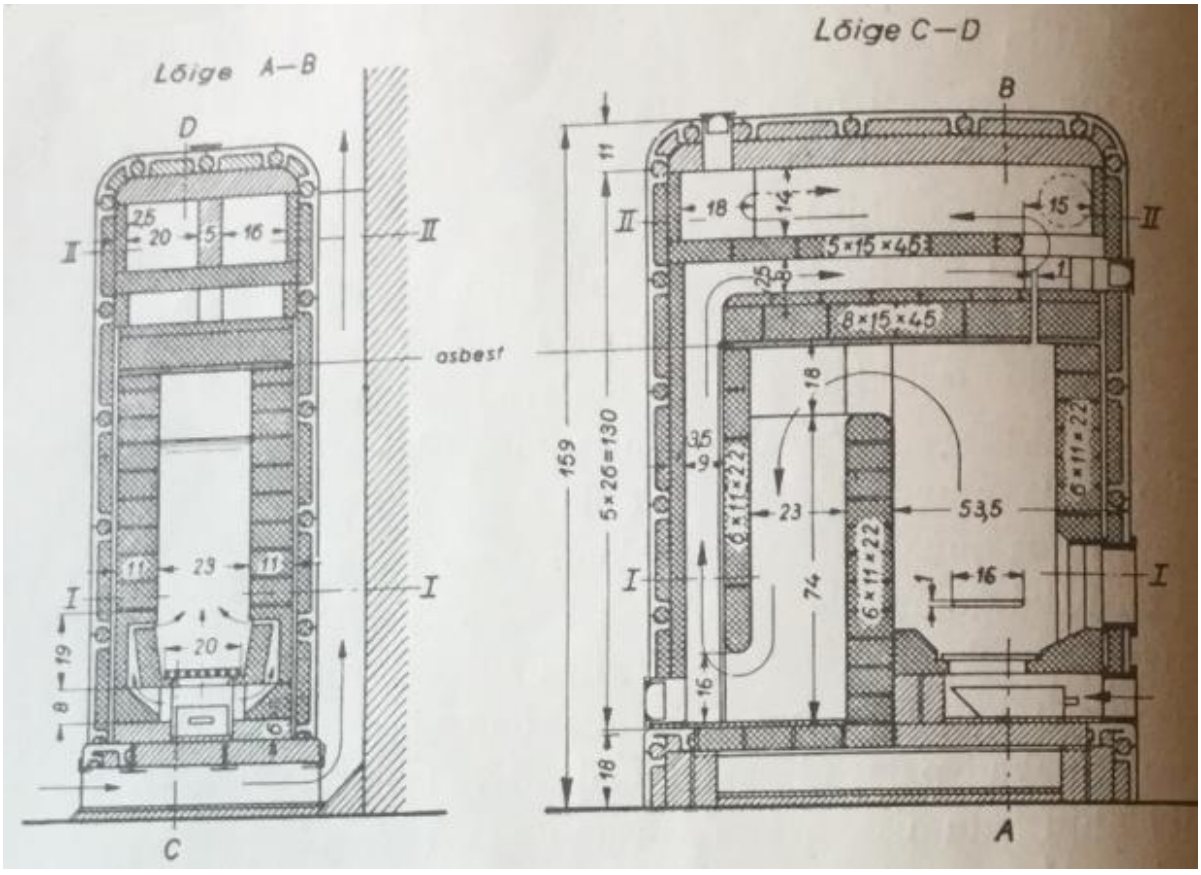
- pottseppadel on nõrk põlemisteooria tundmine;
- umbkoldega ahju on võimalik kiiremini ja lihtsamate võtetega üles laduda;
- tellijad ei ole teadlikud restkolde võimalusest.

3.4. Pilukolle

Pilukolle on pärit Austriast. Sealsetes mägikülades on väga oluline õhu puhtus, sest paljud väiksemad linnad asuvad orgudes, mis on ümbritsetud mägedega. Õhk ei vahetu looduslikult nii kiiresti kui mereäärsetes linnades. Sellest tulenevalt on oluline, et kütmisel tekkivad mürgiste gaaside kogus oleks minimaalne.

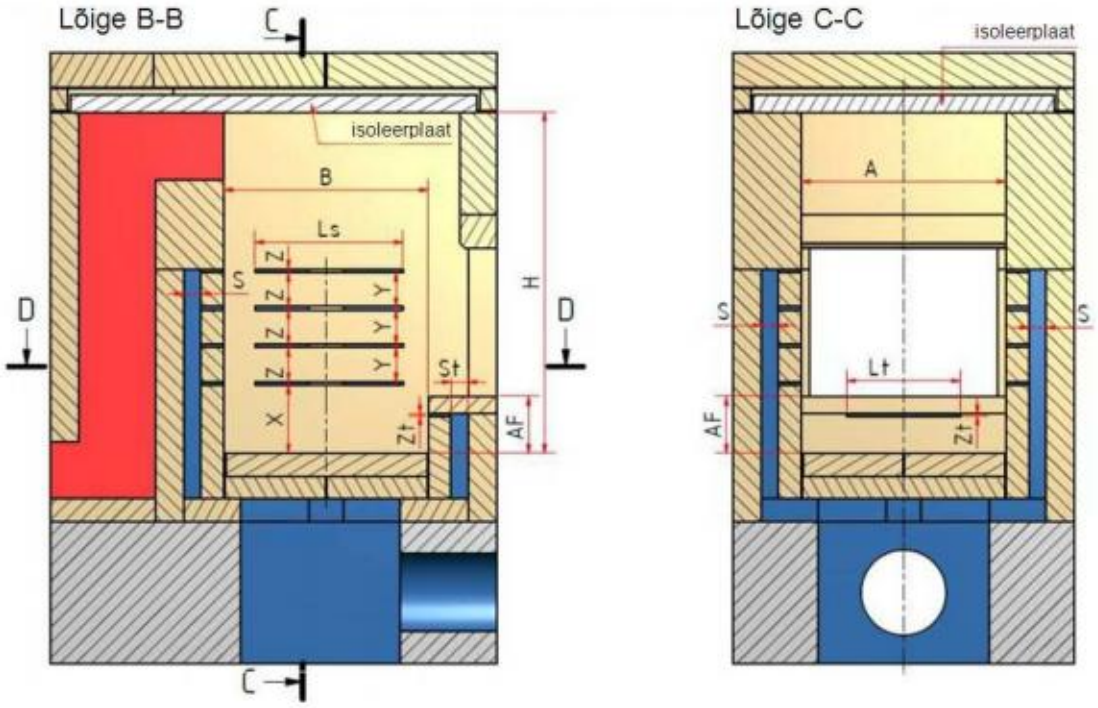
Autorile teadaolevalt ilmusid esimesed pilukolde tüübid Baltikumis 1939. aastal. Läti kaubandus-hooldekandeministeeriumi majapidamise ratsionaliseerimise instituut töötas välja toaahju standardtüübi (joonis 4), mille aluseks on Läti oludele kohandatud Saksa ahi [7].

Läti ahju kolde ehitamisel on silmas peetud, et põlemine koldes toimub vaid siis täielikult, kui kolle on varustatud restiga, koldesse pääseb lisaõhku ja kolle on kitsas ning võimalikult kõrge. Seda tüüpi ahju puhul pääseb koldesse suurem osa õhust läbi restide, mille kogupind on kuni 0,06 m^2. Põlemiseks tarvilik lisaõhk juhitakse läbi kolde külgedes asetsevate pilude. Kolde laius on vaid 23 - 30 cm ja kõrgus kuni 80 cm. [7]



Joonis 4. Läti pilukolde skeem [7]

1939. aastal projekteeritud Läti pilukolde (joonis 4) ning tänapäevase Austria pilukolde (joonis 5) peamine erinevust tuleneb sellest, et Austria koldel on rohkem pilusid kolde külgedel ning puudub kolde rest.



Joonis 5. Pilukolde skeem [13, 14]

Peamine vahe pilukoldel ja umbkoldel on see, kuidas juhitakse õhku põlemistsooni. Erinevalt umbkoldest, kus õhk pääseb koldesse ainult läbi ukse, juhitakse pilukoldesse õhku läbi kolme külje.

4. PILUKOLDE TÖÖ

Pilukolde suurem kasutegur saavutatakse kõrge põlemistemperatuuriga, kus põlemisel tekkinud suitsugaasid liiguvad koldest lõõri ligikaudu 700-kraadilise temperatuuriga. Selle tulemusena süttivad mittetäielikul põlemisel tekkinud gaasid, mis omakorda eraldavad soojusenergiat ja vähendavad energiakadu lahkuvate suitsugaasidega. Eelduseks on piisavalt suur kolle, põlemisõhu piisav kogus ja selle hea segunemine põlemisel tekkinud gaasidega. Kolde rest puudub ja kolde ruumi sisepinna optimaalseks suuruseks peetakse maksimaalselt lubatud kütuse koguse korrutist 900-ga. Seega 25 kg küttepuude kasutamisel peab kolde sisepindala olema $900 \cdot 25 = 22500$ cm^2. Kolde põhja võib olla kas ristkülikukujulise põhjapinnaga või ruudukujuline. Kolde pikkus ei tohi ületada kolde laiust üle kahe korra. Pikas koldes, eriti selle nurkades, põlevad puud ebaühtlaselt. Oluline on ka kolderuumi kõrgus, sest küttepuud vajavad põlemiseks ruumi, kõrget temperatuuri ja aega, et suitsugaasid saaksid küllaldaselt hapnikuga seguneda. Arvutuslikult peab eelnevalt esitatud näite puhul kolderuumi kõrgus põrandast kuni kolde laeni olema vähemalt 55 cm. Maksimaalse kütusekogusega kütmisel peab kütuse kohale jääma 25 cm vaba ruumi. Suur kolle toob kaasa suure vinugaasi ja põlemata orgaanilise aine hulga ning liigõhk jahutab suitsugaase ja kolde seinu. Liialt väikese kolde korral tõuseb leek esimesse suitsulõõri ja põlemisprotsess jääb poolikuks. [8]

Joonis 6. Põlemine pilukoldes

Koldesse oleks soovitatav laduda puud ilusti üksteise peale nagu on kujutatud joonisel 6. Erinevad katsetused näitasid, et paremini laotud küttematerjal tagab puhtama põlemise. Katsetused, kus puud olid ahju asetatud korrapäratult võis näha, et keskmine vingugaasi kontsentratsioon oli suurem. Kui puud on korrektselt sätitud, tuleks nad pealt põlema süüdata. See omakorda tagab parema õhu juurdepääsu ning puhtama põlemise.

4.1. Kasutegur

Kuna pilukoldes on temperatuur umbkoldega võrreldes kõrgem, on õigete mõõtmetega ehitatud pilukoldega ahi tunduvalt efektiivsem kui eesti klassikaline ahi. Läbi pilude koldesse juhitud õhk seguneb kütuse põlevgaasidega, mille tulemusena süttib vingugaas, mis põleb süsihappegaasiks. Kui õhk ei segune, jääb vingugaasis sisalduva süsiniku põlemissoojus saamata. Suurem kasutegur tuleneb peamiselt kõrgemast põlemistemperatuurist, mis on saavutatav sekundaarõhu suurendamisega.

5. MÕÕTEMETOODIKA

Mõlema koldega tehti suitsugaasi analüüs. Saasteainete proovivõtul lähtuti standarditest EVS-EN 15259:2007, EN ISO 11771:2010 ja Eesti Keskkonnauuringute Keskuse akrediteeritud standardtööjuhendist STJnrÕ112.

5.1. Mõõteaparatuur

Suitsugaasidest proovide võtmiseks kasutati kaasaegseid gaasianalüsaatoreid. Eesti Keskkonnauuringute Keskuses tehtud katsetel kasutati vääveldioksiidi (SO_2), lämmastikuühendite (NO_x), vingugaasi (CO) ja hapniku (O_2) mõõtmisel analüsaatorit Testo 360. Pilukoldega läbiviidud katsetuse käigus kasutati suitsugaasi analüsaatorit Testo 350 (joonis 7). Mõlemad analüsaatorid on laiaotstarbelised suitsugaasi analüsaatorid. Mõõteriistade tehnilised andmed on kantud tabelisse 1.

Tabel 1. Testo 350 ja Testo 360 mõõtepiirkonnad ja täpsused [15, 16]

Mõõdetav parameeter	Testo 350 mõõtepiirkond	Testo 360 mõõtepiirkond	Testo 350 mõõtetäpsus	Testo 360 mõõtetäpsus
O_2	0…25%	0…21%	±0,2%	≤1,2%
CO	0…10000ppm	0…10000ppm	±10ppm(0…199ppm) ±5%(200…2000ppm) ±10%(2001…10000ppm)	≤2,0%
NO	0…4000ppm	0…3000ppm	±5%(0…99ppm) ±5%(100…1999ppm) ±10%(2000…4000ppm)	≤2,8%
NO_2	0…500ppm	0…500ppm	±5ppm(0…99,9ppm) ±5%(100…500ppm)	≤1,0%
NO_X	0…300ppm	0…3500ppm	±2ppm(0…39,9ppm) ±5%(40…300ppm)	≤3,8&%
SO_2	Puudus andur	0…5000ppm	Puudus andur	≤2,5%
CO_2	0…50%	0…25%	±0,3%(0…25%) ±0,5%(26…50%)	≤1,5%

Joonis 7. Gaasianalüsaator Testo 350

Testo 350 on võrreldes Testo 360-ga samaväärne gaasianalüsaator kuid hinnalt soodsam ja uuem mudel.

5.2. Proovide võtmine

Proovide võtmiseks ühendati analüsaatori sond kütteseadme viimasesse lõõri võimalikult lähedale korstnale. Saasteainete proovid võeti kuumadest suitsugaasidest. Mõõtetulemused fikseeriti kindla aja jooksul.

Umbkolde emissioonigaaside mõõtmised viis läbi Eesti Keskkonnauuringute Keskuse ahjulabor, kus mõõdeti selleks ehitatud küttekollet. Küttekolletena kasutati Eestis laialt levinud umbkoldega ahju. Suitsugaaside mõõtmised tehti küttekolletest nii leht- kui okaspuudega, samuti küttepuidu erineva niiskusega, minimaalselt kuni 20% niiskusega ja üle 33% niiskusega. Enne küttepuud lisamist koldesse määrati nende niiskus. Täiendavalt määrati kütuse alumine küteväärtus. [17]

Pilukolde emissioonigaaside mõõtmised tehti Tartu linnas Ihastes. Kütusena kasutati halupuid. Ahi on ehitatud vana soojusseadme asemele pottsepp Lauri Lõhmuse poolt.

5.3. Kütuse kaalumine ja niiskuse määramine

Kütusekoguse määramiseks tuleb see enne ahju panemist kaaluda. Kaalumisel kasutati elektroonilist kaalu Radwag WLC 6/A 2/C/2 (joonis 8), mille lugem oli sammuga 0,1g ning mõõteviga ±2g.

Kütuse niiskus määrati ahjumeetodiga temperatuuril 105 °C. Katseobjektil valiti keskmise suurusega halg ning kaaluti. Edasi toimetati proov Eesti Maaülikooli katelseadmete laborisse, kus proovikeha asetati ahju. Ahjus oli temperatuur üle 100 °C. Kõrge temperatuuri mõjul aurustus puidus olev vesi. Kui halg oli piisavalt pikka aega kuivanud võeti ta ahjust välja ning kaaluti ära. Puidu niiskus leiti valemiga 5.1.

$$W^t = \frac{M_{märg} - M_{kuiv}}{M_{märg}} \cdot 100\% \qquad (5.1.)$$

Joonis 8. Töös kasutatud kaal Radwag WLC 6/A 2/C/2

Määratud niiskuse alusel saab täpsustada kasutatud kütuse küttevääртuse ning arvutada põlemisel vabaneva energia.

6. UURITAV PILUKOLLE

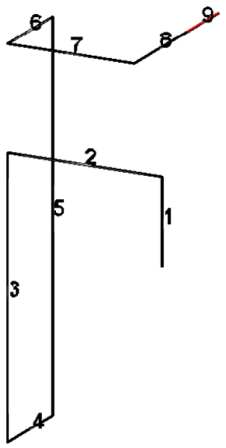
6.1. Kolde tehnilised andmed

Uuritud pilukolde tehnilised andmed on esitatud tabelis 2.

Tabel 2. Kolde Umwelt-Plus-UZ37 tehnilised andmed

võimsus	2200 W
salvestuskestus	12 tundi
maksimaalne kütusekogus (halupuit)	8,1 kg
minimaalne kütusekogus	4,1 kg
põlemiskiirus	6,3 kg/h
õhu mahuvoolukiirus	0,023 m^3/s
suitsugaaside massivoolukiirus	0,028 kg/s
suitsulõõri pikkus	5,16 m
kasutegur	85 %
telliskorstna ava mõõdud	0,27·0,14 m
korstna efektiivne kõrgus	2,5 m
kolde laius	0,30 m
kolde pikkus	0,35 m
kolde kõrgus	0,42 m
gaasipilu	0,08 m
lõõristiku tüüp	kombineeritud lõõristik

Austria pottsepaühingu tarkvara abil kujundatud lõõristiku skeem on esitatud joonisel 9. Tegemist on kolme püstlõõriga.



Joonis 9. Pilukolde lõõristiku 3D skeem

Kuigi uuritud kütteseadme korsten on suhteliselt lühike, oli siiski võimalik kasutada püstiseid lõõre. Mittepiisava tõmbe korral tuleks valida rõhtlõõristik.

6.2. Suitsugaasi analüüs

Pilukolde katsetuse käigus põletati ära 8,3838 kg halupuitu niiskusega 14% kogumassi suhtes. Kuivaine tuhasuseks on A^k=0,5% Puidu tüve põlevaine elementaarkoostis Cp=51%, Hp=6,1%, Op=42,3% ja Np=0,6% [18]. Väävli sisaldus on kuni 0,05%, mis jääb edaspidistes arvutustest välja, kuna selle osakaal on väga väike ning ei mõjuta tulemusi energeetika seisukohast. Gaasianalüsaatori poolt kogutud suitsugaasi andmed on kantud tabelisse 3.

Tabel 3. Suitsugaasi keskmised mõõtetulemused Testo 350-st

Kütus, protsess	CO, PPM	NO, PPM	NO_2, PPM	NO_X, PPM	O_2, %	CO_2, %	λ	°C
Halupuu, stabiilne põlemini	1466,02	114,92	1,84	116,75	9,19	14,93	1,90	306,80

Peale mõõtmisi tuleb analüsaatoriga registreeritud andmed teisendada võrdlusandmetega samale kujule. Võrdlusbaasiks olevad andmed on Keskkonnauuringutekeskuses läbiviidud emissioonigaaside mõõtmised erinevatest Eesti klassikalistest kolletest. Andmed on esitatud kujul mg/MJ. Tartus läbi viidud pilukolde esialgsed mõõtetulemused on saadud osamahuühikutes ppm. Kahe erineva kolde emissioonigaaside võrdlemiseks tuleb saasteainete kogus teisendada vastavalt järgnevatele valemitele osamahult energiaühikule.

6.3. Eriheitmete leidmine

Vastavalt keskkonnaministeeriumi määrusele nr 99, mis on vastu võetud 02.08.2004, tuleb arvutada saasteaine eriheide kasutades järgmist valemit [19]:

$$q_i = c_i \cdot \lambda \cdot 0{,}25 \cdot k, \qquad (6.1.)$$

Kus q_i on eriheited kogus mg/MJ

C_i –saasteaine sisaldus kuivades suitsugaasides mg/Nm^3;

λ - liigõhutegur;

0,25 – kütuse kuivaine stöhhiomeetrilisel põlemisel tekkiv ligikaudne kuiva suitsugaasi kogus energiaühiku kohta, Nm^3/MJ;

k – niiskusest tulenev parandustegur, W=20%, k=1,03.

Eriheitmete arvutamiseks tuleb kõigepealt leida saasteaine sisaldus kuivades suitsugaasides.

CO sisaldus kuivas suitsugaasis avaldub valemist:

$$C_{CO} = PPM \cdot \frac{M}{Vm} = 1466{,}02 \cdot \frac{28}{22{,}4} = 1832{,}53\ mg/Nm^3, \quad (6.2.)$$

Kus C_{CO} on vingugaasi sisaldus mg/Nm^3;

PPM – vingugaasi osamaht suitsugaasis;

M – vingugaasi molaarmass 28 g/mol;

V_m –molaarruumala; normaaltingimustel kõikidel gaasidel 22,41 dm^3/mol.

NO sisaldus kuivades suitsugaasides avaldub valemist:

$$C_{NO} = PPM \cdot \frac{M}{Vm} = 114{,}92 \cdot \frac{30}{22{,}4} = 153{,}91\ mg/Nm^3, \quad (6.3.)$$

Kus C_{NO} on lämmastikoksiidi sisaldus mg/Nm^3;

PPM – lämmastikoksiidi osamaht suitsugaasis;

M – lämmastikoksiidi molaarmass 30 g/mol.

NO_2 sisaldus kuivades suitsugaasides avaldub valemist:

$$C_{NO_2} = PPM \cdot \frac{M}{Vm} = 1{,}84 \cdot \frac{46}{22{,}4} = 3{,}78\ mg/Nm^3, \quad (6.4.)$$

Kus C_{NO_2}on lämmastikdioksiidi sisaldus mg/Nm^3;

PPM – lämmastikdioksiidi osamaht suitsugaasis;

M – lämmastikoksiidi molaarmass 46 g/mol.

NO_x sisaldus kuivades suitsugaasides avaldub valemist:

$$C_{NO_x} = PPM \cdot \frac{M}{Vm} = 116{,}75 \cdot \frac{46}{22{,}4} = 239{,}75\ mg/Nm^3 \quad (6.5.)$$

Kus C_{NO_x}on lämmastikoksiidi ühendi sisaldus mg/Nm^3;

PPM – lämmastikoksiidi ühendi osamaht suitsugaasis;

M – lämmastikoksiidi ühendi molaarmass 46 g/mol (arvutatud NO_2 kohta).

Saades teada suitsugaasis olevate saasteainete sisalduse kuivades gaasides, saab leida nende eriheitmed kasutades valemit 6.1.

a) Vingugaas

$$q_{co} = c_{co} \cdot \lambda \cdot 0{,}25 \cdot k = 1832{,}53 \cdot 1{,}90 \cdot 0{,}25 \cdot 1{,}03 = 896{,}57\ mg/MJ, \quad (6.6.)$$

Kus q_{co} on vingugaasi eriheitmete kogus mg/MJ;

C_{CO} – vingugaasi sisaldus kuivades suitsugaasides mg/Nm^3.

b) Lämmastikoksiid

$$q_{NO} = c_{NO} \cdot \lambda \cdot 0{,}25 \cdot k = 153{,}91 \cdot 1{,}90 \cdot 0{,}25 \cdot 1{,}03 = 75{,}30\ mg/MJ, \quad (6.7.)$$

Kus q_{NO} on lämmastikoksiidi eriheitmete kogus mg/MJ;

C_{NO} – lämmastikoksiidi sisaldus kuivades suitsugaasides mg/Nm^3.

c) Lämmastikdioksiid

$$q_{NO_2} = c_{NO_2} \cdot \lambda \cdot 0{,}25 \cdot k = 3{,}78 \cdot 1{,}90 \cdot 0{,}25 \cdot 1{,}03 = 1{,}85\ mg/MJ, \quad (6.8.)$$

Kus q_{NO2} on lämmastikdioksiidi eriheitmete kogus mg/MJ;

C_{NO_2} – lämmastikdioksiidi sisaldus kuivades suitsugaasides mg/Nm^3.

d) erinevad lämmastikoksiidi ühendid

$$q_{NO_x} = c_{NO_x} \cdot \lambda \cdot 0{,}25 \cdot k = 239{,}75 \cdot 1{,}90 \cdot 0{,}25 \cdot 1{,}03 = 117{,}30\ mg/MJ, \quad (6.9.)$$

Kus q_{NO_x} on lämmastikoksiidi eriheitmete kogus mg/MJ;

C_{NO_x} – lämmastikoksiidi sisaldus kuivades suitsugaasides mg/Nm^3.

Mõõtetulemuste andmed on esitatud tabelis 4 ja 5. Iga mõõdetud tulemuse kohta on arvutatud tema standardhälve.

Tabel 4. Gaasiliste saasteainete keskmistatud eriheitmed (mg/MJ), umbkoldega ahi [17]

Kütus, protsess	CO, mg/MJ	Stdev	NO, mg/MJ	Stdev	NO_2, mg/MJ	Stdev	NO_X, mg/MJ	Stdev
Kuiv lehtpuu, keskmine	2612,88	909,67	122,08	26,09	25,02	30,55	211,78	68,62

Tabel 5. Gaasiliste saasteainete keskmistatud eriheitmed (mg/MJ), pilukoldega ahi

Kütus, protsess	CO, mg/MJ	Stdev	NO, mg/MJ	Stdev	NO_2, mg/MJ	Stdev	NO_X, mg/MJ	Stdev
Kuiv lehtpuu, keskmine	896,57	915,02	75,30	17,65	1,85	2,60	117,30	14,02

6.4. Kasuteguri määramine kaudsel meetodil

Teades ärapõletatud kütuse kogust, väljuvate suitsugaaside temperatuuri ning liigõhutegurit, saame tuginedes materjalibilansi võrrandile arvutada kolde kasuteguri.

Esmalt on vaja teada kütuse põlevaine koostist. Seda saab leida läbi puidu tarbimisaine kui on teada puidu niiskus ja tuhasus. [18]

$$C^t = C^p \cdot \frac{100 - A^t - W^t}{100} = 51 \cdot \frac{100 - 0{,}4 - 14}{100} = 43{,}66\% \quad (6.10.)$$

$$H^t = H^p \cdot \frac{100 - A^t - W^t}{100} = 6{,}1 \cdot \frac{100 - 0{,}4 - 14}{100} = 5{,}22\% \quad (6.11.)$$

$$O^t = O^p \cdot \frac{100 - A^t - W^t}{100} = 42{,}3 \cdot \frac{100 - 0{,}4 - 14}{100} = 36{,}21\% \quad (6.12.)$$

$$N^t = N^p \cdot \frac{100 - A^t - Wt}{100} = 0{,}6 \cdot \frac{100 - 0{,}4 - 14}{100} = 0{,}516\% \quad (6.13.)$$

Tarbimisaine järgi leian kütuse alumise küttevääртuse. [18]

$$Q_a^t = 18900 - 214 \cdot W^t - 189 \cdot A^t = \quad (6.14.)$$
$$= 18900 - 214 \cdot 14 - 189 \cdot 0{,}4 = 15828{,}4\ MJ/kg$$

Leian kütuse põlemiseks vajaliku teoreetilise õhuhulga. [11]

$$V = 0{,}0889 \cdot Ct + 0{,}264 \cdot Ht + 0{,}033 \cdot St - 0{,}0333 \cdot Ot = \quad (6.15.)$$
$$= 0{,}0889 \cdot 43{,}66 + 0{,}265 \cdot 5{,}22 + 0{,}033 \cdot 0 - 0{,}0333$$
$$\cdot 36{,}21 = 4{,}06\ Nm3/kg$$

Põlemiseks vajalik õhukogus on liigõhuteguri kordsena suurem. Peamiselt on see tingitud sellest, et kogu õhk ei pääse põlemisprotsessile ligi ning sellepärast on vaja sinna suunata rohkem õhku kui seda teoreetiliselt vaja on. [11]

$$Vtegelik = \lambda \cdot V = 1{,}90 \cdot 4{,}06 = 7{,}63\ Nm^3/kg \quad (6.16.)$$

Leian põlemisel tekkinud suitsugaasi koostise ja koguse tuginedes põlemise materjalibilansile[11]:

a) süsihappegaas

$$V_{CO_2} = 0{,}01866 \cdot C^t = 0{,}01866 \cdot 43{,}66 = 0{,}815\ Nm^3/kg \quad (6.17.)$$

b) veeaur

$$V_{H_2O} = 0{,}11 \cdot H^t + 0{,}0124 \cdot W^t + 0{,}0161 \cdot \lambda \cdot V = \quad (6.18.)$$
$$= 0{,}111 \cdot 5{,}22 + 0{,}0124 \cdot 14 + 0{,}0161 \cdot 1{,}90 \cdot 4{,}06 =$$
$$= 0{,}876\ Nm^3/kg$$

c) lämmastik

$$V_{N_2} = 0{,}79 \cdot \lambda \cdot V + 0{,}008 \cdot Nt = 0{,}79 \cdot 1{,}90 \cdot 4{,}06 + 0{,}008 \cdot 0{,}516 \quad (6.19.)$$
$$= 6{,}034\ Nm^3/kg$$

d) hapnik

$$V_{O^2} = 0{,}21 \cdot (\lambda - 1) \cdot V = 0{,}21 \cdot (1{,}90 - 1) \cdot 4{,}06 = \quad (6.20.)$$
$$= 0{,}750\ Nm^3/kg$$

Teades suitsugaaside komponentide osamahte saame kogu suitsugaasi mahu. [11]

$$V_{sg} = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{N^2} + V_{O^2} = 0{,}815 + 0{,}879 + 6{,}034 + 0{,}750 = \quad (6.21.)$$
$$= 8{,}478\ Nm3/k$$

Kõige rohkem mõjutab kasutegurit suitsugaasiga lahkuv soojushulk. Selleks, et arvutada välja soojuskadu Q_2 tuleb leida kõigi suitsugaasis olevate komponentide erisoojus ja kaalutud keskmine erisoojus.

Suitsugaasiga kadunud soojushulk ühe kg kütuse kohta. [11]

$$c' = \sum_{i=n}^{i=1} r_i \cdot c_i' = (0{,}0961 + 0{,}1034) \cdot \frac{37{,}68}{22{,}4} + (0{,}7119 + 0{,}0885) \cdot \frac{29{,}31}{22{,}4} \quad (6.22.)$$

$$= 1{,}383 \ \frac{kJ}{K \cdot Nm^3}$$

Suitsugaasi kaalutud erisoojus. [11]

$$q_2 = c' \cdot V \cdot \Delta t = 1{,}383 \cdot 8{,}478 \cdot 321{,}35 = 3767{,}85 \ MJ/kg \quad (6.23.)$$

Soojuskadu Q_2. [11]

$$Q_2 = \frac{q_2}{Q_a^t} = \frac{3767{,}85}{15828{,}4} \cdot 100\% = 23{,}80\% \quad (6.24.)$$

Kolde kasutegur kaudsel mõõtmisel jättes kõrvale Q_3 – soojuskadu keemiliselt mittetäielikust põlemisest, Q_4 – soojuskadu mehaaniliselt mittetäielikust põlemisest, Q_5 – soojuskadu ahju välisjahtumisest, Q_6 – soojuskadu räbu füüsikalise soojusega on:

$$\eta = 100\% - Q_2 = 100 - 23{,}80 = 76{,}20\% \quad (6.25.)$$

6.5. Tulemuste analüüs

Vaadates katseandmetest saadud tulemusi võib järeldada, et pilukolle on märgatavalt efektiivsem kui klassikaline Eestis ehitatav umbse koldega ahi. Vingugaasi eraldub õhku ligi 3 korda, lämmastikoksiidi 2 korda, lämmastikdioksiidi pea 15 korda ja erinevaid lämmastikuühendeid pea 2 korda vähem kui klassikalise umbkolde ahjul. Kõrgema temperatuuri korral põleb osa saasteaineid ära.

Uurimuse käigus selgus, et pilukolde keskmine katseperioodi kasutegur on madalam kui tehnilistes andmetes kirjas. Erinevus võib olla põhjustatud asjaolust, et katsekütmise alguseks ei olnud ahi veel piisavalt loovutanud eelneva kütmise käigus ahju müüritisse akumuleerunud soojust. Kõige parema kasuteguri saamiseks ei tohiks uut kütmist alustada ennem kui kolde temperatuur on langenud 40-45 kraadini. Jahedama ahju puhul on sooja salvestumine intensiivsem, kuna kivi suudab rohkem sooja vastu võtta.

Pilukolle on võrreldes umbkoldega efektiivsem ning seega on kasuteguri kõikumine ka suurem põlemisprotsessi jooksul. Üksikutest mõõtehetkedest võib välja lugeda, et kogu põlemise vältel oli kasutegur vahemikus 70 - 85%.

KOKKUVÕTE

Selleks, et 2020. aastaks täita Euroopa Liidu poolt kehtestatavaid emissiooni nõudeid, tuleb ahjude ehituse juures järjest enam lähtuda soojustehnilistest arvutustest. Tänapäeval ei ole võimalik ehitada kaasaegset ahju ainult kogemuste põhjal. Selleks, et ahi oleks moderne ja efektiivne, tuleb selle ehitamine läbi mõelda. Paljud pottsepad arvavad, et euronormid on kehtestatud selleks, et anda eelis suurematele tootjatele kuid tegelikult see ei ole nii. Kuna EL-is on plaan suurendada taastuvenergia osakaalu, on oluline, et ehitatavad ahjud, mida köetakse puudega, oleks keskkonnasäästlikud ja kõrge kasuteguriga.

Vesteldes äsja Tartu Kutsehariduskeskuse lõpetanud pottseppadega, selgub, et kutsekoolis, kus valdav osa meistreid on saanud oma hariduse eelmisel kümnendil, ei õpetata neile piisavalt soojustehnikat. Sellest tulenevalt ei oska nad ka kliendile soovitada paremaid lahendusi, kui on hetkel saadaolevad tüüplahendused. Autor usub, et kui tarbija oleks teadlikum kaasaegsetest lahendustest, oleks ka huvi keskkonnasäästlikumate ja efektiivsemate ahjude vastu suurem.

Lähtudes töös tehtud eriheitmete ja kaudse kasuteguri arvutustest saab järeldada, et kaasaegne pilukoldega ahi on võrreldes umbkolde ahjuga tunduvalt ökonoomsem. Kasutades kaasaegseid küttekoldeid lokaal- ja kohtküttega piirkondades saab vähendada kütteperioodi ajal saasteainete kontsentratsiooni õhus ning läbi selle paraneb piirkonna õhukvaliteet.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Direktiiv 2012/27/EL. (vastu võetud 25.10.2012), - Euroopa Liidu Teataja. [WWW] http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027&from=EN (18.05.2016)
2. Maasikmets, M., Kupri, H.L., Teinemaa, E., Vainumäe, K., Heinsoo, A., Arumäe, T. Tööstuslikest allikatest ja koduahjudest eralduvate välisõhu saasteainete heitkoguste inventuurimetoodikate täiendamine. (2015). [WWW] http://www.envir.ee/sites/default/files/aruanne_final030315.pdf (18.05.2016)
3. 2020 climate and energy package. (2008). [WWW] http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020/index_en.htm (18.05.2016)
4. Määrus (EL) 2015/1189. (vastu võetud 28.04.2015), - Euroopa Liidu Teataja. [WWW] http://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2015/1189/oj/est/pdfa1a (18.05.2016)
5. Hovi, M., Andersson, A. Tahketel kütustel töötavate kohtkütteseamdete seisukord ja areng Eestis ning naabruses. (2013). [WWW] http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/7/7d/TEUK._kogumik_XV.pdf (18.05.2016)
6. Eesti Taastuvenergia Koda. Taastuvenergia aastaraamat 2014. (2014). [www] http://www.taastuvenergeetika.ee/wp-content/uploads/2015/06/Taastuvenergia-aastaraamat-2014.pdf (18.05.2016)
7. Luht, M., Veski, A. Pottsepa käsiraamat. (1940). Tallinn
8. Hovi, M., Andersson,A. Ahjuehituse kaasajastamise võimalused Eesti oludes. (2014). [www] http://tek.emu.ee/userfiles/taastuvenergia_keskus/TEUK%20XVI/kogumik%20TEUK%20XVI_sisu_web.pdf (18.05.2016)
9. Veski, A. Ahjud, pliidid, kaminad. (2005). Tallinn: Tormikiri. 212lk.
10. MTÜ Eesti pottsepad. Euronormi refereering. [WWW] http://pottsepad.ee/EN15544.pdf (18.05.2016)
11. Ots, A. Soojustehnika aluskursus. (2011). TTÜ kirjastus Tallinn 2011
12. Bioenergiaga töötavate väikeste kütteseadmete käsiraamat 2013. (2013) [WWW] http://robert.ee/kuttekolded_tehniline_lahenemine.pdf (18.05.2016)
13. Österreichischer Kachelofenverband, UmweltPlus Brennraum (2015) http://www.kachelofenverband.at/wp-content/uploads/2015/10/MB_10_UmweltPlus-Brennraum_2015_12.pdf (18.05.2016)

14. Hovi, M., Uiga, J., Ladva, A., Andersson, A., Lõhmus, L. Suure soojussalvestusvõimega ahjud lokaalküttes. (2014). [WWW] http://www.eby.ee/ajakiri2014.pdf (18.05.2016)
15. Gaasianalüsaator Testo 350 kasutusjuhend. [WWW] http://www.testo350.com/downloads/350/literature-manuals/2-%20testo%20350%20Instruction%20Manual.pdf (18.05.2016)
16. Gaasianalüsaator Testo 360 kasutusjuhend. [WWW] https://www.testo.com.br/resources/media/global_media/produkte/testo_360/360_IM_0971_3600_0404.pdf (18.05.2016)
17. Teinemaa, E., Maasikmets, M., Vainumäe, K., Heinsoo, A., Arumäe, T., Lehes,L. Genfi piiriülese õhusaaste kauglevi konventsiooni püsivate orgaaniliste saasteainete protokolli nõuete täitmine. (2013). [WWW] http://www.envir.ee/sites/default/files/genfi_aruanne_final.pdf (18.05.2016)
18. Paist, A., Poobus, A. Soojusgeneraatorid. (2009). TTU kirjastus Tallinn 2009
19. Põletusseadmetest välisõhku eralduvate saasteainete heitkoguste määramise kord ja määramismeetodid. (vastu võetud 30.09.2004), – Riigi Teataja. [WWW] https://www.riigiteataja.ee/akt/789462 (18.05.2016)

SUMMARY

In order to meet the requirements of the European Union 2020 climate and energy package we have to start building more efficient stoves using thermal calculation. Nowadays, it is not possible to build a modern stove using only potter's personal experience. In order to have a modern and effective stove we need to think it through before building it. Many potters think that European Standards are made in favour of big companies, but actually it is not so. Euro norms are made because the European Union has a plan to increase the proportion of renewable energy and so it is important that the new stoves would be environmentally friendly and high efficiency.

Drying a conversation with newly graduated potters it seems that they have not been taught well enough about thermal calculation in school. The main reason for this is that the teachers do not hold knowledge about modern stoves. Because of potters lack of knowledge about thermal calculation and modern stoves they are not able to recommend them to the customers.

The author believes that if the consumer would be aware of modern solutions they would be more interested about it.

LIHTLITSENTS

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Mart Aru,
sünniaeg 07.07.1994
1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö Pilukolde töö ja suitsugaasi analüüs,

mille juhendaja on Mart Hovi, Külli Hovi,

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
allkiri

Tartu, 25.05.2016

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

_____ _____
(*juhendaja nimi ja allkiri*) (*kuupäev*)

_____ _____
(*juhendaja nimi ja allkiri*) (*kuupäev)*