

EFEKTIIVSED VÄIKEKATLAD

Arvo Ots, Jaan Laid, Dmitri Nešumajev, Toomas Tiikma

Tallinna Tehnikaülikooli soojustehnika instituut

Soojusvarustuse areng toimub maades, kus on pikk kütteperiood ja märkimisväärsed kulutused küttele, kahes suunas. Ühelt poolt arendatakse termodünaamiliselt efektiivset nn kombitootmist (elektri ja soojuse koostootmine eelkõige kaugküttevõrku) ning teisalt individuaalseks kasutuseks mõeldud väikekatlaid seal, kus kaugküttevõrgu rajamine ei ole otsustav.

Väikekatelde tarbijat huvitab eelkõige katla töökindlus, tema hind ja tihti ka universaalsus tarvitavate kütuste osas ning võimalikult kõrge kasutegur (efektiivsus). Keskkonnateadlik tarbija hakkab huvituma ka katla kahjulikest heitmetest, st “roheline energia” kasutamisest. Kütusekasutuse universaalsus on kaasajal tihti järsult muutuvate kütusehindade puhul vajalik lisatingimus.

TTÜ soojustehnika instituudis on viimase 12 aasta vältel tegeldud väikekatelde uute konstruktsioonide väljatöötamisega ja nende efektiivsuse tõstmise probleemidega, mis varasemal ajal kütuse madalate hindade tõttu ei olnud nii aktuaalsed. Kõrvuti olemasolevate põhiliselt masuudil töötanud vene päritoluga katelde üleviimisega kohalikule puit- ja turba kütusele töötati välja uusi konstruktsioone. Uute lahenduste juures püüti eelkõige parandada katelde konvektiivosa efektiivsust. Nende uurimuste tulemuseks oli mitmesuguste turbulaatorite rakendamine katelde suitsutorudes. Turbulaator on katla suitsutorudesse paigutatud teisaldatav seade, mis intensiivistab konvektiivset soojusülekanne, kuid võib mõjutada ka suitsukäigu aerodünaamilist takistust.

Rakendades varasemat kogemust ning toetudes uusimatele saavutustele soojusülekanne uurimise alal on TTÜ soojustehnika instituudis koostöös AS-ga Viljandi Metall ja Eesti Innovatsioonifondi (praegune Tehnoloogiaagentuur) rahalisel toel välja töötatud ning tootmiseks ette valmistatud väikekatelde seeria, mille eripäraks on suhteliselt madala tehasehinna juures nende kõrge efektiivsus. Selle väljatöötamise eesmärgiks oli luua väikekatlad puit-

pelleti-, õli- ja gaasküttega kasuteguriga üle 90%, kasutades selleks:

- lihtsat ja odavat valmistamistehnoloogiat;
- soojusfüüsikaliste uuringute uusimaid tulemusi soojuslevi intensiivistamise valdkonnas.

Siinkohal tuleb eriliselt rõhutada väikekatla kõrge kasuteguri perspektiivset osatähtsust, kuna uute eramurajoonide arenguga nende osatähtsus tõuseb ning summaarse CO₂ emissiooni vähendamise vajaduse taustal on igasugune efektiivsuse tõus oluline.

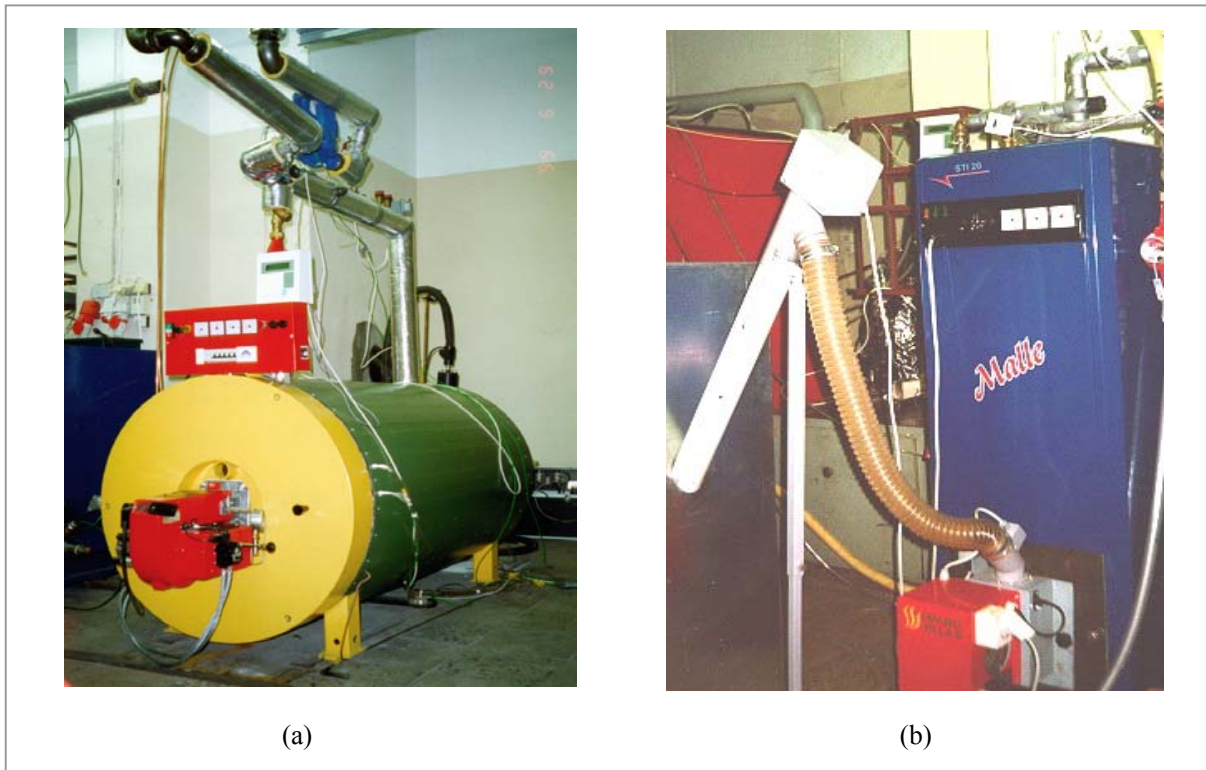
Katlad vastavad Euroopa standardile EN 303. Katelde rõhu all töötavad osad on kujundatud ümarvormidena, mis omavad väiksemat metallimassi vajaliku tugevuse saavutamiseks ja mille montaaži töömaht on väiksem.

Katelde eripäraks on võime normaalselt töötada ilma tõmbeventilaatorita. See on saavutatud nende konvektiivosa suhteliselt suure ristlõikega ning selliste suitsugaasi voolust turbuliseerivate elementide kasutamisega, mis oluliselt ei suurenda gaasitrakti aerodünaamilist takistust.

Katel STI200VG on 200 kW nominaalvõimsusega (kasulik võimsus siin ja edaspidi) kolmekäigulise kompositsiooniga leek/suitsutorukatel, milles leegitoru asetseb katla teljel ja kaheastmeline konvektiivosa (kumbki koosneb 20st 51 mm siselõuaga torust) on paigutatud ümber leegitoru. Katel on ette nähtud küttevee soojendamiseks gaasi või kerge kütteeõli kasutamisel korterelamus või elamute grupis. Katla olulised tehnilised parameetrid on järgmised:

- Nominaalvõimsus (kergeõli, gaas) 200 kW;
- Töörõhk 3 baari;
- Maksimaalne väljuva vee temperatuur 95 °C;
- Katla veemaht 0,328 m³;
- Katla tühi mass 525 kg.

Katel on kujutatud fotol joonis 1 a.



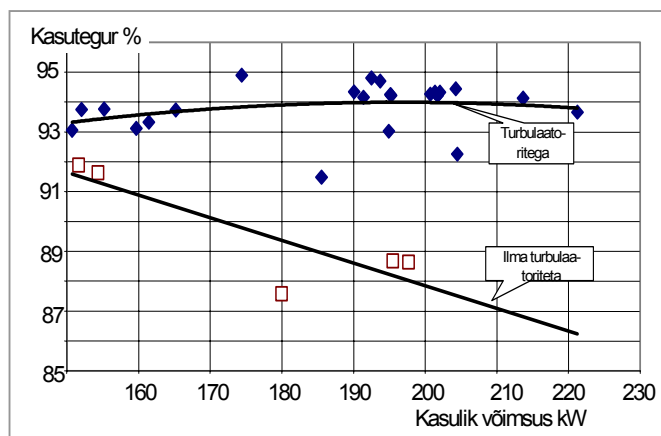
Joonis 1.

TTÜ soojustehnika instituudis välja töötatud keskküttekatlad katsetuste stendil laboratooriumis.

Katsetused TTÜ soojustehnika instituudis näitasid, et 200 kW kergeõli küttel katla kasutegur ulatub 94%-ni ja kohati ka üle selle lahkuvgaasi temperatuuril 125 °C ja liigõhuteguril alla 1,1. Seejuures lahkuvgaasis ei esinenud ülennormatiivset kahjulike heitmete CO, NO_x jt kontsentratsiooni.

Kvaliteetsete kaasaegsete õlipõletite (näiteks *Bentone*, *Oilon*) kasutamisel on põlemisel tahma teke viidud miinimumini. Katsete tulemusena ei leitud erilisi tahmajälgi konvektiivsetelt pindadelt.

Katla reaalse kasuteguri kohta on andmed toodud joonisel 2 sõltuvalt kasulikust võimsusest ja sellest, kas konvektiivosas kasutati soojustehnika instituudis väljatöötatud põlemisgaasi turbuleerivaid elemente või mitte.



Joonis 2.

200 kW õlikatla STI200VG kasuteguri sõltuvus kasulikust võimsusest.

Kolde mahulise soojuskoormuse ($0,8 \text{ MW/m}^3$) järgi oleks võimalik tema nominaalvõimsust suurendada eriliste probleemideta (kõrget kasutegurit säilitades) kuni 250 kW-ni. Vastavad katsed näitasid 220 kW saavutamise võimalust ning edasise võimsuse tõstmist takistasid kasutatava põleti tehnilised võimalused. Seni leiab Eesti siseturul liiga vähest kasutamist kohalik väärstatud kütus – puitpellet, mille toorainet puidujäätmete näol ja tootmisvõimsusi on piisavalt, kuid puuduvad Eesti tarbija jaoks taskukohased pelletite põletusseadmed. Allpool on kirjeldatud ühte võimalikku kohalikku lahendust puitpelletite kasutamiseks.

Katel STI20 *Malle* on konstrueeritud töötamiseks nii kerge kütteõli, maagaasi kui ka puitpelletite põletiga. Katel on valmistatud terasest ümarelementidest kokkukeevitatuna ja sobib väiksema ja keskmise suurusega eramu kütteks ning sooja tarbevee saamiseks. Tarbevee ettevalmistamiseks on katla veemahu paigaldatud vasest spiraalne küttepind. Ette on nähtud ka vajadusel kuni 6 kW elektriküttekehade paigaldamise võimalus. See suurendab vajaduse tekkimisel (talvine väga külm ilm või suvine ainult tarbevee vajadus) katla võimsust. Katel on kujutatud fotol joonis 1 b koos puitpelletipõletiga ja ta põhiparameetrid on järgmised:

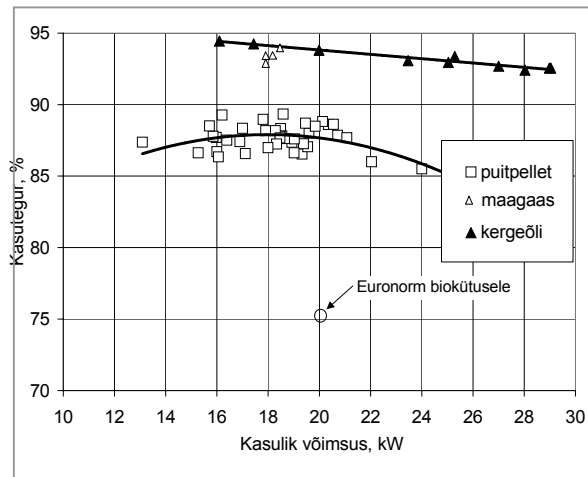
- nominaalvõimsus
 - (õli, gaas, puidupelletid) 20 kW;
 - täiendav elektriküttekeha 6 kW;
 - töörõhk 2 baari;
 - maksimaalne väljuva vee temperatuur $90 \text{ }^\circ\text{C}$;
 - katla veemahut $0,125 \text{ m}^3$;
 - katla tühimass 140 kg.

Katla kolle on kujundatud nn tupikkoldena, mis võimaldab intensiivistada soojusülekanne seoses põlemisgaasi pikema teekonnaga ja suurendada koldekeskkonna turbulentsust.

Katsetused TTÜ soojustehnika instituudis näitasid katla STI20 *Malle* reaalsel kasuteguril õli- ja gaaskütel üle 92 % ning puitpelletite kasutamisel (sõltuvalt nende kvaliteedist, eriti niiskusest) ületab 85 % piiri (joonis 3). Saadud kasutegur ületab tunduvalt vastavate euronormidega kehtestatud väärtusi.

VÄIKEKATLA AERODÜNAAMILISEST TAKISTUSEST

Kuna vaadeldavad katlad on ette nähtud töötama ilma tõmbeventilaatorita, siis on nende võimalik



Joonis 3.

Katla STI20 *Malle* kasuteguri sõltuvus kasulikust võimsusest ja kasutatava kütuse liigist.

aerodünaamiline takistus üsna piiratud ja eriti konvektiivosa kujundamisel tuleb loobuda suurt takistust omavatest elementidest. Teaduskirjandusest tuntud meetmed aerodünaamilise takistuse vähendamiseks ilma konvektiivse soojusülekanne olulise vähendamiseta toimivad enamasti gaasivooluse kiirustel, mis vastavad Reynoldsi arvu järgi vähemalt üleminekurežiimile. Selline olukord on realiseeritav 200 kW katla korral, aga ei ole rakendatav 20 kW võimsusega katla puhul. Viimasel juhul, eriti kui katel töötab puidupelleti põletiga, on maksimaalseks võimalikuks aerodünaamiliseks takistuseks katla koldest kuni väljuva suitsutoruni 40 Pa. Katelde konstrueerimisel on jõutud turbulaatorite variandini, mis garanteerivad aerodünaamilise takistuse mitte üle 40 Pa.

Õli- ja gaasipõletid oma õhuventilaatoriga tekitavad katla kolde ülerõhu, mis leevendab teatud määral takistuse probleeme ning siis on konvektiivosas võimalik rakendada lihtsamat tüüpi turbulaatoreid konvektiivse soojusülekande teguri tõstmiseks, pöörata seejuures suuremat tähelepanu takistusele.

KATLA KONVEKTIIVOSA SOOJUSÜLEKANDEST

Väikekatla rahuldava kasuteguri saavutamiseks ja katlast lahkuva suitsugaasi temperatuuri alandamiseks kuni $160 \text{ }^\circ\text{C}$ tuleb tähelepanu pöörata konvek-

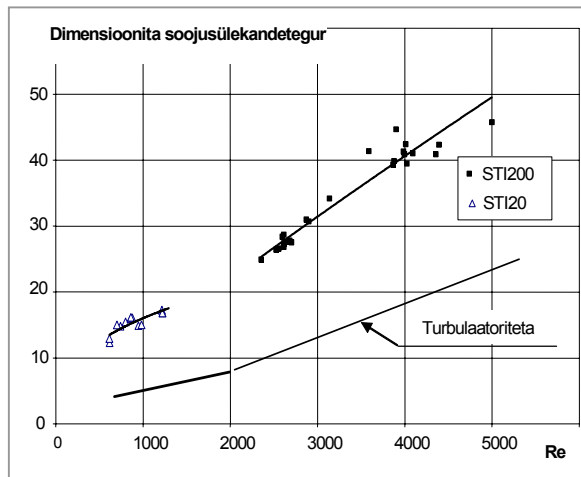
tiivosa kujundusele. Ülalpool oli analüüsitud katla aerodünaamilist takistust mõjutavaid faktoreid, mis piiravad loomuliku tõmbega katla korral eri tüüpi suure takistusega ja samas suurt soojusülekandevõimet andvate elementide kasutamist. Seejuures on metalli (katla massi) kokkuhoiu huvides soovitatav võimalikult vähese küttepinnaga saavutada püstitatud eesmärk.

Katla STI200VG koldest lahkuva suitsugaasi temperatuur ulatub kuni 1200 °C ja see omab küllaldast kiirguspotentsiaali, mida on vaja realiseerida esimeses konvektiivkäigus sinna kiirgava keha paigutamiseks. Kuna antud juhul kiirgava gaasikihi efektiivne kiire tee pikus on tühine, siis gaasi kiirguspotentsiaal kasutatakse ära sel teel, et kõrgtemperatuurisesse gaasivoolu paigutatakse tahke pind, mida gaas konvektiivselt soojendab. Teaduskirjandusest on teada väga palju meetodeid konvektiivse soojusülekannde parandamiseks mitmesugust tüüpi turbuliseerivate elementide abil. Suurimat efekti soojusülekannde vähima aerodünaamilise takistuse kasvu korral on võimalik saavutada turbulaatorite kuju ja asetuse oskusliku valikuga, mis paljuski sõltub voolava keskkonna omadustest (eelkõige Prandtl'i arvust, milline määrab hüdrodünaamilise ja termilise piirikihi paksuste vahekorra). Gaasilise keskkonna korral peavad turbuleerivad või kareduselemendid paiknema kogu piirikihi paksuse ulatusel. See aga omakorda suurendab konvektiivosa aerodünaamilist takistust. Piirikihi paksus on seotud Reynoldsi arvu tasemega.

Toetudes öeldule on 200 kW katla korral võimalik arendada konvektiivtorudes vähemalt üleminekurežiimi Reynoldsi arvu järgi, mis võimaldab lihtsate turbulaatoritega oluliselt suurendada summaarset soojusülekandevõimet, 20 kW katla puhul aga ei õnnestu vastavat põlemisgaasi kiirust saavutada.

Märkimine, et viimasel juhul on tegu küllalt madala kolde soojuskoormusega (tema pinna ja mahu suhte määrab ära puidupelletide põleti koldesse ulatuv konstruktsioon), mis viib kolde lõpus (sisenemisel konvektiivtorudesse) suitsugaasi temperatuuri üsna madalale (600 – 700 °C). Sellisel juhul on suitsugaasi erimaht väike, et saavutada torudes suuremat kiirust kui 2 m/s.

Joonisel 4 on kujutatud eri tüüpi turbulaatorite rakendusel saadud summaarne dimensioonita soojusülekandevõime sõltuvalt Reynoldsi arvust katelde konvektiivtorudes.



Joonis 4.

Turbulaatorite rakendusel konvektiivosas saadud dimensioonita soojusülekandevõime.

Märkimine, et mida väiksema võimsusega on katel, seda suurem mõju suitsugaasi temperatuuri kujunemisele on katlavee temperatuuril.

Katla STI200 *Malle* turbulaatorite dimensioonita soojusülekandevõime on turbulaatorite rakendusel kuni 2,5 korda suurem kui sileda toruga samadel voolamisrežiimidel.

KOKKUVÕTE

TTÜ soojustehnika instituudis väljatöötatud ja projekteeritud ning AS Viljandi Metall valmistatud keskküttekatlad STI20 ja STI200 on kõrge soojusliku efektiivsusega ja keskkonnasõbralikud. Katla STI200 kasutegur töötamisel maagaasi ja kerge kütetõliga on vähemalt 94 % ning katlal STI20 – 92 %. Katla STI20 kasutegur töötamisel puitpelletitega sõltuvalt nende kvaliteedist ületab 85 %. CO ja NO_x emissioon maagaasi ja kerge kütetõli kasutamisel jääb alla 100 ppm ning puitpelletite kasutamisel moodustab 50 – 70 % Euronormides lubatud väärtustest.

Puitpelletite kui biokütuse kasutamisel CO₂ emissioon ei kuulu maksustamisele ning gaasi ja vedelkütuse kasutamisel saavutatud kõrge kasutegurid võimaldavad vähendada CO₂ emissiooni iga genereeritud soojusühiku kohta.