

KONVEKTIIVSETE KÜTTEPINDADE AKUSTILISE PUHASTUSE EFEKTIIVSUS IRU ELEKTRIJAAMA AURUKATLAL NR. 2

Jüri Kleesmaa*, Hans Kruus**, Prof. Toomas Tiikma*** ja Alan Vaht***

* OÜ Pentagra, tegevdirektor

** Iru Elektriijaam, Tehnikateenistuse juhtivinsener

*** Tallinna Tehnikaülikool, Soojustehnika Instituut

Sissejuhatus

Iru Elektriijaama energiaploki nr.2 katla ökonomaiseril töötab alates 1998.a. novembrist Rootsi firma *Kockum Sonics* madalsageduslik akustiline puhastussüsteem. Selline seadmestik on Eesti oludes senini ainulaadne ning seega pakub huvi selle töö efektiivsuse analüüs. Selleks on teostatud katla töö monitooring ajavahemikul nov.1998 kuni märts 1999 ning on võrreldud saadud andmeid sama perioodiga 1998.a. algul (st. ilma akustilise puhastuseta tööperioodi).

Iru Elektriijaama energiaploki katel TGME-464 on loomuliku tsirkulatsiooniga ja auru tootlikkusega (maksimaalselt) 500 t/h. Kütuseks kasutatakse masuuti, mille keskmine väävlisisaldus on 2-2,5%. Suurt probleemi valmistavad ökonomaisereri küttepinnale sadenevad tahmaosakesed, mis halvendavad tunduvalt soojusülekannet suitsugaasidelt veele, suurendades seega katlast väljuvate gaaside temperatuuri ja vähendades katla töötamise ökonoomsust. Mida rohkem aga gaasid jahtuksid katlas, s.o. mida madalam oleks nende temperatuur korstnasse minekul, seda rohkem soojust kasutatakse katlas kasulikult ja seda väiksem oleks kütusekulu. Katla põhilised tööparameetrid on:

Aurutootlikkus	500 t/h
Rõhk katla trumlis	16 MPa
Auru rõhk katlast väljumisel	14 MPa
Auru temp. katlast väljumisel	560 °C
Kütusekulu	B=34,7 t/h masuuti või B=39900 nm ³ /h maagaasi

Nimetatud katla ökonomaisereri küttepindade puhastamiseks on kasutatud mitmeid erinevaid puhastus viise (haavelpuhastus, madalsageduslik puhastus auruga, vee pesu) milledega igapäheel kaasnesid omad kindlad probleemid:

- Haavelpuhastus oli monteeritud koos katlaga ja mõeldud tööks 3 korda ööpäevas. Põhilisteks probleemideks oli haavlite kadu ja nende paakumine katla seisu ajal ning loomulikult ka küttepindade kulumine.
- Ökonomaisereri puhastamine auruga, mis suunati konvektiivkäiku läbi resonantstoru resonantsi tekitamiseks. Probleemiks oli õige sageduse

(madalsagedus) kättesaamine. Sageduse pidev reguleerimine resonantsi tekitamiseks oli vajalik seepärast, et see oli sõltuvuses nii auru temperatuurist kui ka auru kulust.

- Ökonomaiseri puhastamine veepesuga iga kuu (vt. pt. Ökonomaiseri puhastamine veepesuga). Suurimaks probleemiks oli ökonomaiseri küttepindade väävlikorrosioon, kuna veepesuga tekkis väävelhape. Tülikas oli ka jätta katel seisma iga kuu 3-4 tunniks.

Keskkonna seisukohalt avaldavad kõige suuremat mõju ümbritsevale loodusele just sellised küttepindade puhastusmeetodid, milliseid tuleb kasutada küllalt pikkade perioodide tagant, mille jooksul jõuab küttepindadele sadeneda suurel määral tahmaosakesi (küttepindade puhastus pikkade perioodide tagant on tingitud ülal kirjeldatud puhastusmeetodite kulutavast toimest küttepindadele). Need tahmaosakesed aga eemaldatakse küttepindadelt puhastusseadmete tööajal, millega aga suureneb järsult tahmaosakeste kontsentratsioon suitsugaasides ning need tahmaosakesed langevad jaama ümbritsevale maapinnale. Elementkoostiselt on aga Iru EJ ökonomaiseri küttepinnale sadenevate tahmaosakeste põhilisteks komponentideks väävli ja vanaadiumi ühendid, mis on kindlaks määratud kvalitatiivse röntgen-mikroanalüüsiga elektronmikroskoobi abil.

Eespool sai mainitud, et tahmaosakeste sadenemine küttepinnale põhjustab ka lahkuvate suitsugaaside kõrgemat temperatuuri, millega kaasneb otsene soojuskadu ning mille tõttu on katla kasutegur madalam. Samuti põhjustab selline olukord ka kütusekulu suurenemist, millega omakorda suureneb CO₂, SO₂ ja NO_x-ide emissioon atmosfääri.

Ülalkirjeldatud probleemidejada lõpetamiseks, nii keskkonna kui ka jaama enda kasuteguri suurendamise nimel, on Iru Elektrijaam leidnud käesoleval tehnikavõidukäiguajastul ainulaadse ja efektiivse võimaluse ökonomaiseri küttepindade puhastamiseks Rootsi firma KOCKUM SONICS AB tahmapuhuritega INSONEX 400 G. Peaaegu 150 aastat on see firma pühendanud end helitehnoloogia teaduslikele uuringutele ning selle edasi arendamisele ja kasutamisele praktikas. Firma valmistab tahmapuhureid tööstustele ja kateltele ning on üle maailma laialdasemalt tuntud juba peaaegu 30 aastat.

Akustilise puhastusmeetodi tööpõhimõte

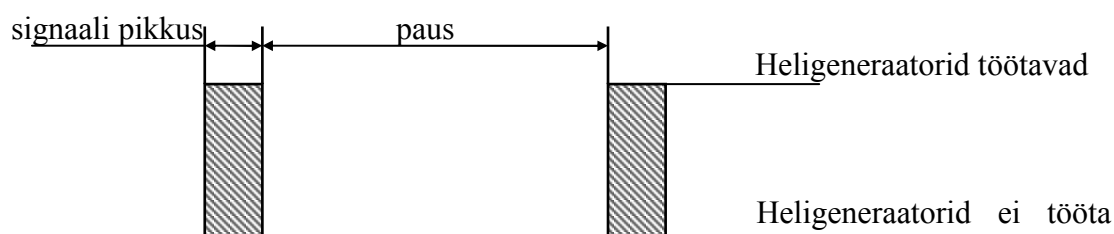
Akustilise puhastusmeetodi tööpõhimõte seisneb vibratsioonienergia kasutamises, mis kantakse edasi helilainetega. Need helilained tekitatakse spetsiaalsete

heligeneraatoritega, mis kiirgavad võimsaid helisignaale (helirõhu tase generaatorseadme keskpunktist 1 m kaugusel on 145 dB) ettemääratud intervallidega põhjustades sedaviisi tuha ja teiste sadestunud osakeste eraldumise küttepindadelt.

Akustilise puhastusmeetodi juures kasutatakse helilaineid madalsagedusega 10-20 Hz, mida inimesed ei kuule (infraheli). Helilaine liigub ruumis sfäärilisel peegeldudes takistustelt ja levides kogu ruumi ulatuses ka kohtadesse kuhu näiteks veejuga või haavlid ei jõua (nurga taha) tagades sellega maksimaalse efektiivsuse. Lisaks sellele on võimalik helilaineid kasutada kasvõi pidevalt kuna puudub nende kulutav toime küttepindadele, mis aga esineb haavelpuhastuse ja veepesu korral.

Niisiis helilainete abil mõjutatakse pindadele sadestunud tahmaosakesi ning helirõhu muutumisest tekkivate jõudude toimel on need pidevas aktiveeritud olekus. Lõpptulemusena eemaldatakse tahmaosakesed gaasikäigust koos lahkuvate gaasidega pidevalt, mistõttu tahmaosakeste kontsentratsioon suitsugaasides on ajas peaaegu konstantne ja ühtlane ning seega on ka tahmaosakeste hajuvus atmosfääris parem.

Ladestunud ja kivinenud saastet ei suuda helilained lahti lüüa ega eemaldada. Siit tuleneb seadme optimaalne töörežiim: 1 - 10 minuti jooksul peab olema üks 10 - 15 sekundit vältav helisignaal, joonis 1. Perioodi pikkus sõltub kasutatava katelseadme ehitusest, kütusest, tahma ja saasteosakeste suurusest, temperatuurist jne.



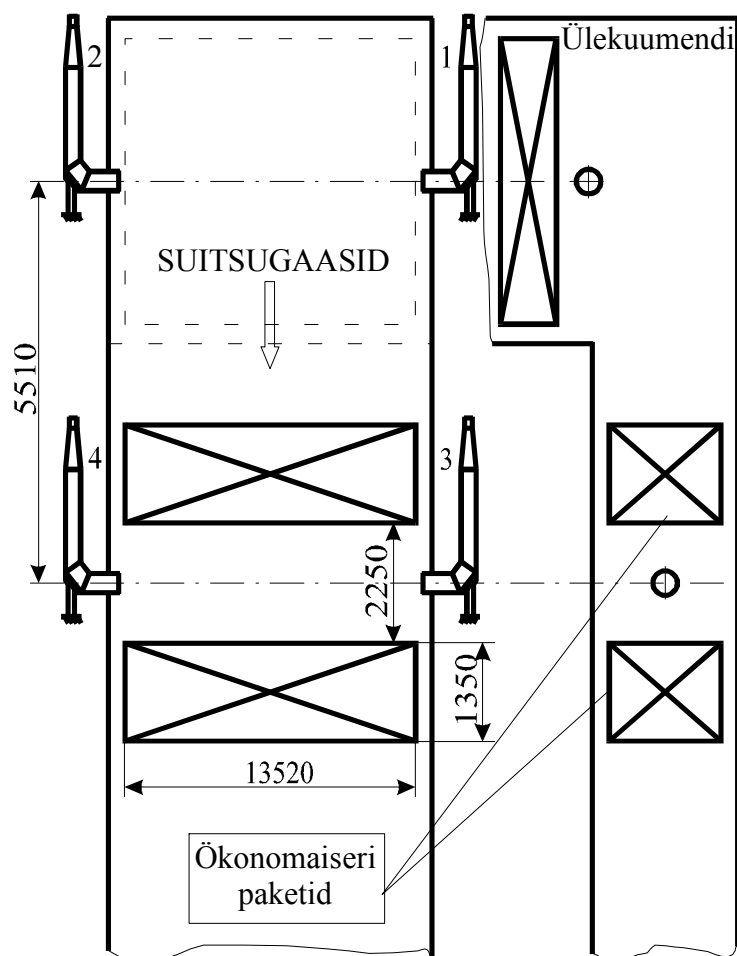
Joonis 1. Heligeneraatori tööperiood (signaal + paus)

- Täielik süsteem sisaldab veel lisaks heligeneraatoritele ka juhtpulti, millega saab reguleerida signaali pikkust ja pausi kahe signaali vahel.
- Ajavahe heliväljastamise perioodide vahel peab olema küllaldane selleks, et mitte võimaldada sadestiste osakestel üksteise külge kleepuda.
- Enne akustilise puhastusseadme paigaldamist tuleb küttepindu põhjalikult puhastada, sest süsteemi funktsiooniks on hoida küttepindu puhtana, mitte aga eemaldada vanad varem küttepinnale sadestunud tahmaosakesed.
- Ühe või mitme heligeneraatori töö juhtimiseks on elektrikilp aegreleedega, millised juhivad seadmete tööd magnetklappide abil.

Heligeneraatorite paigutus katla TGME-464 ökonomaiseris

Masuudiküttel katla TGME-464 ökonomaiseris puhastamiseks tahmasadestistest vajatakse 4 INSONEX 400 G heligeneraatorit, mis paigaldati katlale 1998.a.

septembris energiaploki kapitaalremondi ajal. Heligeneraatorid on asetatud ökonomaiseriis nii, et vajalik helitugevuse tase oleks tagatud kogu puhastatava ökonomaiseri ulatuses (vt. joonis 2).



Joonis 2. Heligeneraatorite paigutus katla TGME-464 ökonomaiseri puhastamiseks

Automaatsel juhtimisel on võimalik heligeneraatorid töösse lülitada järgmiste skeemide järgi:

1) $1 > 2 > 3 > 4$ s.t. töötab heligeneraator nr.1 15 sekundit millele järgneb paus, seejärel töötab nr.2 15 sekundit millele järgneb samuti paus jne. kuni kõik kordub uuesti.

2) $1 & 2 > 3 & 4$ s.t. töötavad heligeneraatorid nr.1 ja 2 15 sekundit millele järgneb paus, seejärel töötavad seadmed nr.3 ja 4 15 sekundit millele järgneb samuti paus ning kõik kordub uuesti.

INSONEX 400 G töö baseerub madalal sagedusel, mis on suure läbitavusega ning seetõttu on võimalik kasutada seda väga suurtes kateldes või spetsiaalsetes kohtades, kus kuuldavat heli ei ole võimalik kasutada (näiteks laevadel katelde küttepindade puhastamisel). Ehkki infraheli ise ei ole kuuldav, tuleb märkida, et töötavad infraheli generaatorid tekitavad mõningast kuuldavat heli.

Iru Elektrijaama energiaploki ökonomaiseri puhastamiseks on INSONEX seadmed reguleeritud järgmistele tööparameetritele:

- töötamise sagedus 16 Hz
- pausiaeg 2 minutit
- tööaeg 15 sekundit

Akustilise puhastuse efektiivsuse uurimine

Tabelis 1 on näha milliseid katla tööperioode olen kasutanud akustilise puhastuse efektiivsuse uurimiseks.

Tabel 1

Katla tööperioodid

Nr.	Periood	Töörežiim
1.	16.01-15.02.98.a.	Katel töötas ilma heligeneraatoriteta.
2.	01.11-04.12.98.a.	Katla töö heligeneraatoritega. Heligeneraatorid töötasid režiimis 1&2>3&4.
3.	13.01-12.02.99.a.	Katla töö heligeneraatoritega. Heligeneraatorid töötasid režiimis 1>2>3>4.
4.	18.02-01.03.99.a.	Katla töö heligeneraatoritega. Heligeneraatorid töötasid režiimis 1&2>3&4.

Katsete käigus, katla seisu ajal, teostati ka ökonomaiseri ülevaatusi, milliste kirjeldused on järgmised:

- 15.12.98.a. Teostatud esimene ökonomaiseri ülevaatus peale heligeneraatorite paigaldamist. Suureks üllatuseks avastati, et energiaploki kapitaalremondi käigus, 1998.a. suvel, puhastatud ökonomaiser oli kaetud paksu sadestise kihiga, kuigi kasutati akustilist puhastust. Tähele pandi, et küttepinnal olev sadestis “määris” tunduvalt rohkem võrreldes eelnevate kordadega, kui ökonomaiseri puhastamiseks sadestistest kasutati veepesu. Sadestise värvus oli helehallist kuni tume mustani. Edasisteks uurimisteks on võetud ka tahmaproov ülemise paketi alumiselt torurealt. Heligeneraatorid töötasid režiimis 1&2>3&4.
- 29.12.98.a. Kontrolliti ökonomaiseri letrit kuhu oli langenud suurel määral tahmaosakesi. Elektronmikroskoobiga vaatlemisel selgus, et need sadestise osakesed olid suuremad võrreldes eelmise prooviga. Seisu ajal puhastati 10. ja 11. toru ökonomaiseri mõlemalt poolt (nii ülemise paketi pealt kui ka kahe paketi vahelt) ja kaks toru ka külgülekuumendil, et näha kas need järgmisel ülevaatusel on uuesti saastunud või mitte. Heligeneraatorid töötasid režiimis 1&2>3&4.
- 28.01.99.a. Teostatud ökonomaiseri kontroll. Ökonomaiseri küttepind oli üllatavalt puhas. Sadestise paksust torude pinnal oli väga raske hinnata, kuna see peaaegu puudus. Sadestise värvus küttepinnal oli tumehall. Raskusi oli tahmaproovi kättesaamisel. Proov on võetud ülemise paketi alumise torurea alt, mis oli ka ainuke koht kust üldse oli võimalik midagi kätte saada. Heligeneraatorid ümber lülitatud režiimile 1>2>3>4 alates 13.01.99.a.

4. 15.02.99.a. Teostatud ökonomaiserit järelvaatus. Ökonomaiserit küttepind oli puhas.
5. 03.03.99.a. Teostatud ökonomaiserit kontroll. Võrreldes eelmise järelvaatusega oli sadestis suurenenud, sadestise paksus umbes 0,3 mm. Sadestise värvus küttepinnal oli hall. Võetud tahmaproov ökonomaiserit ülemise paketi ülemise torurea alt, kuna toru alt oli sadestist parem kätte saada. Ajavahemikul 18.02-01.03.99.a. töötasid heligeneraatorid jälle režiimis 1&2>3&4.

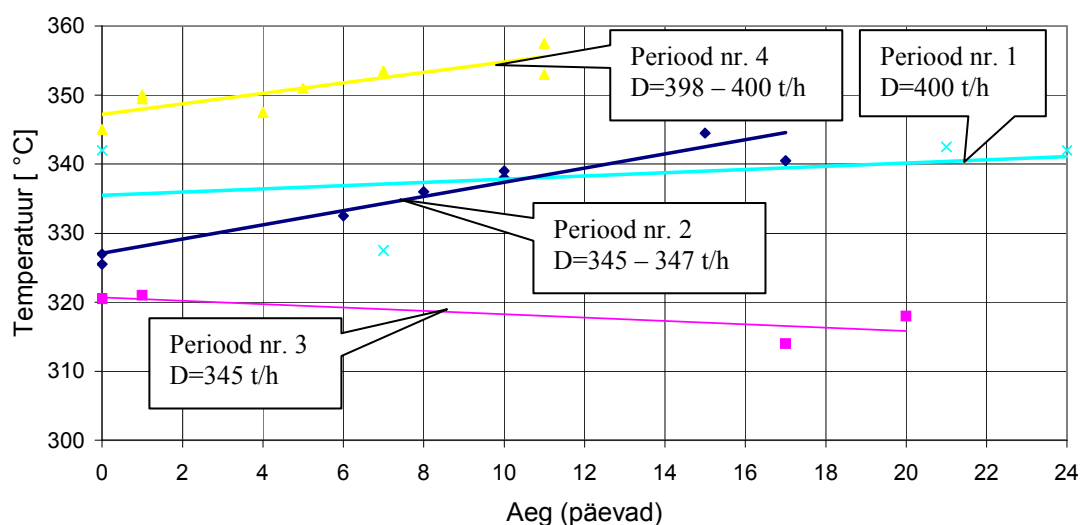
Võetud tahmaproovide uurimine elektronmikroskoobiga näitas, et piki gaasikäiku (st. ökonomaiserit ülevalt allapoole) sadestise osakesed suurenevad, kusjuures muutub ka elementkoostis, mis on kindlaks määratud kvalitatiivse röntgen-mikroanalüüsi teel. Analüüs näitas, et elementkoostiselt on tahmaosakeste põhilisteks komponentideks väävli ja vanaadiumi ühendid. Uuringute jätkamise seisukohalt pakub teaduslikku huvi sadestiste materjali omaduste laboratoorne uurimine (erineva fraktsioon- ja keemilise koostisega sadestiste tihedus ja soojusjuhtivustegur), mis võimaldab täpsemalt hinnata sadestiste termilise takistuse mõju vastava küttepinna soojuslikule efektiivsusele.

Eespool kirjeldatud ülevaatuselt saadud pildid erinevate perioodide kohta vastavad täielikult suitsugaaside temperatuuri dünaamikale peale ökonomaiserit samadel perioodidel (vt. joonis 3). See tähendab, et kui ökonomaiserit küttepinnad saastuvad ajas sadestise kihiga, siis sellele vastab ka temperatuuri kasv ajas (perioodid nr. 1 ja 2), mis on tingitud soojusülekanne halvenemisest suitsugaaside ja kuumutatava vee vahel suureneva sadestise kihi tõttu. Ökonomaiserit ülevaatusel 15.12.98.a. selguski, et perioodil nr. 2 olid küttepinnad kaetud paksu sadestise kihiga nagu eespool kirjeldatud. Jooniselt on veel näha, et perioodil nr. 3 suitsugaaside temperatuur ei ole ajas konstantne vaid isegi langeb, mis tähendab aga seda, et varem saastunud küttepinnad muutuvad puhtaks. Seda tõestas ka ökonomaiserit ülevaatus 28.01.99.a., kui ökonomaiserit küttepinnad olid muutunud üllatavalt puhtaks.

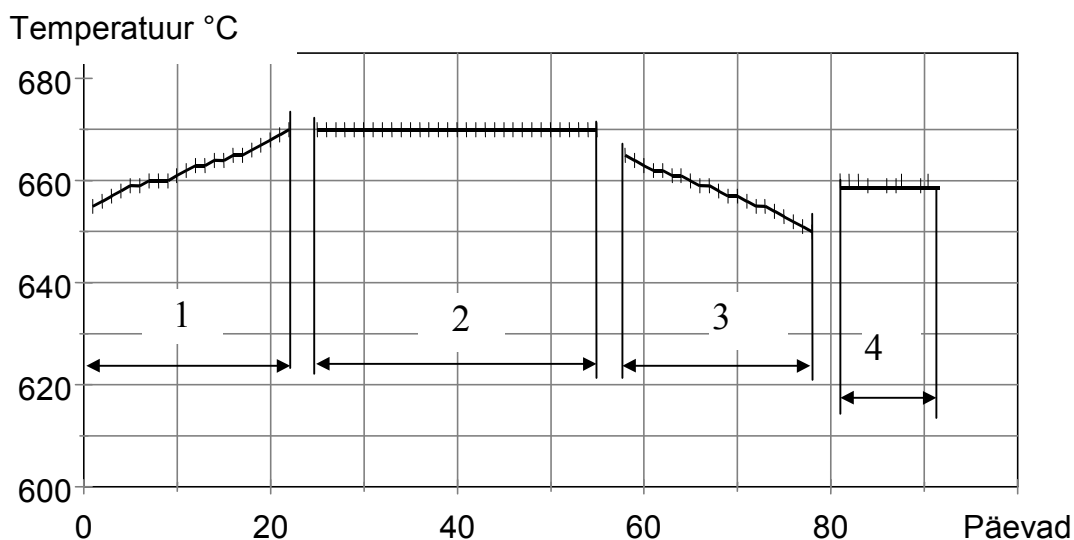
Tabelist 1 on näha ka perioodi nr. 4, mille ajal heligeneraatorid töötasid taas nn. paralleelses režiimis 1&2>3&4 ning suitsugaaside temperatuur hakkas jällegi ajas kasvama (joonis 3). Seda tõestas ka ülevaatus 03.03.99.a., kui pandi tähele sadestise suurenemist.

Joonis nr. 4 iseloomustab suitsugaaside temperatuuri dünaamikat peale ülekuumendit ehk enne ökonomaiserit. Joonisele märgitud perioodid on samad, mis juba eelpool kirjeldatud, kuid nende paremaks jälgimiseks on valitud sarnased katla koormused

(380-390 t/h) igale perioodile. Temperatuuri langemisest ajas (periood nr. 3) võib järeldada ka heligeneraatorite mõju ülekuumendile. See võib olla tingitud soojusülekanne paranemisest tänu helilainetele. Laboratoorsed uuringud on näidanud, et madalsageduse kasutamine võib suurendada konvektiivset soojusülekannet lõhkudes viskoosset aluskihti. Teisest küljest oli aga heligeneraatorite töö ajal vajalik täiendav sissepritse kogus ülekuumendi astmete vahele, mis näitab samuti soojusülekanne paranemist ülekuumendis.



Joonis 3. Suitsugaaside temperatuuri dünaamika ökonomaisemist väljumisel erinevate perioodide jooksul



Joonis 4. Suitsugaaside temperatuuri dünaamika peale ülekuumendit erinevatel perioodidel

Teine võimalus heligeneraatorite efektiivsuse määramiseks on katla kasutegurite võrdlemine erinevatel perioodidel, kusjuures kasutegurid on leitud valemiga (1) integreeritud andmete järgi, mis on esitatud tabelis 2.

$$\eta = 1 - \frac{t'' \overline{Vc}}{Q_a} = \frac{D(h' - h'')}{B \cdot Q_a} \quad (1)$$

kus $t'' \overline{Vc}$ – suitsugaaside entalpia;

Q_a – kütuse alumine kütteväärtus;

h' ja h'' vastavalt auru ja toitevee entalpia;

D – auru toodang, kg/s;

B – kütusekulu, kg/s.

Nagu tabelist näha on kasuteguril kasvav tendents alates heligeneraatorite kasutamist.

Tabel 2

Katla kasutegurite võrdlus

Pe-rioo- di Nr	Auru toodang	Kütuse- kulu	Kütuse kütte- väärtus	Kütuse põlemisel eralduv soojus	Auru soojus- sisaldus	Kütuse kulu kg auru kohta	Toitvee tempera- tuur	Kasutegur
	kg/s	kg/s	kJ/kg	MW	MW	kg/kg	°C	%
1	112.42	7.85	40140	315.2	286.0	0.0699	218.3	90.724
2	99.09	7.08	39402	279.1	254.9	0.0715	211.9	91.347
3	88.33	6.28	39511	248.2	228.6	0.0711	208.4	92.103

Arvestades katla kasuteguri tõusu, saab arvutada heligeneraatorite tasuvusaja.

Põhilised andmed arvutuste kohta on toodud tabelis 3.

Tabel 3

Hinnad Eesti kroonides

Nr.	Kirjeldus	Akustiline puhastus	
		Sissetulek	Väljaminek
1.	Algmaksumus:		
	1.1 Seadmed		1217760
	1.2 Seadmete montaaž		93692
	Kogu algmaksumus		1311452
2.	Aastased kulud seadme tööajal (elekter)		14119
3.	Aastased hoolduskulud		1000
4.	Kokku		1326571
5.	Kütuse kokkuhoid aastas	442695	
6.	Aastane sääst (sisaldab kütuse kokkuhoidu ja veepesu aastaseid väljaminekuid)	444714	
7.	Tasuvusaeg:	Aastates	
	Teoreetiline, katla tööaeg 7200 h aastas	2,98	

Reaalselt töötab katel aga aastas u. 5500 tundi ning sellisel juhul pikeneb tasuvusaeg neljale aastale.

Järeldused

1. Heligeneraatorite kasutamine, masuudi põletamisel Iru EJ katlas TGME-464, võimaldab hoida ökonomaiseri küttepinnad puhtana, avaldades mõju ka ülekuumendile.
2. INSONEX seadmete tasuvusaeg on 4 aastat kui katel töötab aastas 5500 tundi.
3. Heligeneraatorite järjestikulisel režiimil (1>2>3>4) saavutati suurem efektiivsus.
4. Fikseeritud kütuse kokkuhoid (katla kasuteguri tõus) vähendab jaama poolt emiteeritavaid heitmeid (CO₂, SO₂ ja NO_x) iga toodetud energiaühiku kohta. Eelkõige on see oluline CO₂ emissiooni vähenemise seisukohalt.
5. Uuringute jätkamise seisukohalt pakub teaduslikku huvi sadestiste materjali omaduste laboratoorne uurimine (erineva fraktsioon- ja keemilise koostisega sadestiste tihedus ja soojusjuhtivustegur), mis võimaldab täpsemalt hinnata sadestiste termilise takistuse mõju vastava küttepinna soojuslikule efektiivsusele.