

*Ekspert hinnang soojuse tootmiseks
vajaliku katlamaja soetusmaksumuse,
soojuse tootmise ehk katlamaja
kasutegurit ja katlamaja tehnilise eluea
kohta*

Ekspert hinnang
SusDev Consulting OÜ



© EV MKM Konkurentsiamet

Konkurentsiamet
Auna 6
10317 Tallinn
Tel. 667 2400
E-mail: info@konkurentsiamet.ee

SusDev Consulting OÜ
Suurkivi tee 18
Türisalu küla, Harku vald
Harjumaa 76701
Tel. 51 42 941; 652 6763; 50 37427
E-mail: metsylo@solo.delfi.ee

Ekspert hinnang soojuse tootmiseks vajaliku katlamaja soetusmaksumuse, soojuse tootmise ehk katlamaja kasuteguri ja katlamaja tehnilise eluea kohta

Sisu

1	Sissejuhatus	3
2	Hinnang 50 MW võimsusega puitu ja freesturvast kasutava veekuumutuskatlaga katlamaja soetus-maksumuse kohta, arvestades katlamaja kompleksis ka 12 MW võimsusega suitsugaaside pesurit.....	4
2.1	Hinnang, kas oleks võimalik oluline kulude kokkuvõid rakendades keevkihttehnoloogia asemel respõletustehnoloogiat.....	9
2.1.1	Restkütte tehnoloogia ülevaade.....	10
2.1.2	Keevkihttehnoloogia ülevaade	12
2.1.3	Õhuheitmete võrdlus	14
2.1.4	Rest- ja keevkihtkolde kujundus ja paigutus.....	15
2.1.5	Maksumuste võrdlus	16
2.1.6	Järeldused	16
3	Hinnang 35 MW puitu ja freesturvast kasutava veekuumutuskatlaga katlamaja soetusmaksumuse kohta, arvestades katlamaja kompleksis ka vastava võimsusega suitsugaaside pesurit.....	18
3.1	Hinnangute kokkuvõte.....	21
3.2	Hinnang, kas 35MW võimsusel respõletustehnoloogia kasutamine võiks olla otstarbekam kui keevkihttehnoloogia.....	22
3.3	Hinnang vastavalt 50 MW ja 35 MW katlamaja kasutegurile ehk soojuse tootmise kasutegurile kütuse alumise kütteväärtuse juures, arvestamata suitsugaaside pesuriga toodetud soojust.....	22
3.3.1	Põlemise soojuskaod	22
3.3.2	Soojuskadude liigitus	25
3.3.3	Kuidas vähendada soojuskadusid.....	26
3.3.4	Põlemisprotsessi efektiivsuse tõstmine	27
3.4	Kasuteguri määramine	28
3.4.1	Sisend/väljund meetod	28
3.4.2	Soojusbilansi (kadude) meetod	28
3.4.3	Kasutegur uue katla hankimise puhul	28
3.4.4	Katlamaja kasutegur	29
4	Ekspert hinnang 50 MW katlamaja maksumuse kohta, arvestades, et see rajatakse mitte olemasoleva katlamaja lisana, vaid tühjale territooriumile	30

Ekspert hinnang soojuse tootmiseks vajaliku katlamaja soetusmaksumuse, soojuse tootmise ehk katlamaja kasuteguri ja katlamaja tehnilise eluea kohta

5	Ekspert hinnang 35 MW katlamaja maksumuse kohta, arvestades, et see rajatakse mitte olemasoleva katlamaja lisana, vaid tühjale territooriumile	31
6	Hinnang katlamaja tehnilisele (mitte majanduslikule) elueale. Kui kaua saab nimetatud katlamaja tehniliselt (aastad) töötada, arvestades korralikku eksplua-terimist, õigeaegset hoolduse ja remondi teostamist, hoolsat ekspluatatsioonijuhise järgmist, jm heaperemehelikku hooldust	32
7	Kasutatud kirjandus	35

1 Sissejuhatus

Tänapäeva turumajanduse tingimustes pole olemas katelde ja katlamajade hinnakirju ühelgi firmal, välja arvatud jaemüügis olevate pereelamule sobivate väikekatelde osas. Suuremate, tööstuse ja kaugkütte tarbeks rajatavate katelde ja katlamajade soetusmaksumus selgub pakkumiskonkursside tulemusena. Konkurss korraldatakse katla või katlamaja tellija poolt vastavalt pakkumiskonkursi nõuetele ning tehnilistele tingimustele. Tavaliselt kasutatakse nõuete ja tingimuste koostamisel konsultatsioonifirma abi; sageli ka kogu konkursi korraldamiseks ja tulemuste hindamiseks. Sel kombel on võimalik saada tehniliselt sobivaim ja maksumuselt vastuvõetavaim pakkumine. Oskuslikult läbiviidud konkurss võib anda tellijale märkimisväärselt (kuni 20%) soodsama lahenduse. Oskamatu konkursi või selle puudumise korral võib saada samavõrra kallima lahenduse.

Suurenenud konkurents energiaseadmete turul esitab uued nõuded kulude kokkuhoiuks kogu katla (katlamaja) eluea jooksul. Kui katlamaja ostuhind pannakse paika pakkumiskonkursil, muutub eriti oluliseks kõrgema efektiivsuse saavutamine käidu- ja hooldekulude osas. On hinnatud, et 80% nendest kuludest pannakse paika (määratakse) seadmete projekteerimise ja väljaarendamise faasis ning vaid 20% sõltub tellija (energiatootja) oskustest ja kogemustest. Seega on seadmete tootja vastutusel ka katlamaja eluea kulude minimeerimine.

Käesoleva töö puhul, 35 ja 50 MW katlamaja soetusmaksumusele eelhinnangu saamiseks pööruti mitmete juhtivate katlaehitajate poole Taanis, Austrias, USA-s ja Soomes. Korraldiku eelarve koostamine 35 või 50 MWs katlamaja rajamiseks (üle 350 nimetuse) on suur töö; seda tehakse vaid siis, kui osaletakse ametlikult pakkumiskonkursil. Sest sel puhul ei piisa vaid firma enda toodete maksumusest, tuleb hinnata ka kohalike (näiteks Eesti) kaastarnijate ja ehitus- ja montaažtööde teostajate panust. See nõuab kohalesõitu, vastavaid läbirääkimisi ja eellepinguid.

Päringute tulemusena saadi põhjamaade juhtivalt energiaseadmete valmistajalt indikatiivne üldine hinnapakumine, seda vaid katelt ja mõningaid lisaseadmeid puudutavale osale (nimistu lisatud). Detailsem hinnang maksumuse jaotuse kohta, samuti vajalike lisatööde (üldehitus, elekter ja automaatika, kaugküttevee varustus, väline kütuse ladu koos seadmestikuga, korsten, jms.) maksumused hinnati töö koostajate poolt.

Selleks kasutati uute Eestis ehitatud katlamajade ja paigaldatud katelde soetusmaksumuste ja kasutegurite andmeid, uuringuid senitehtud katelde ja katlamajade renoveerimistest, sh. suurte kuumaveekatelde ning KTJ katelde osas, biokütusele üleviimise projektidest, juhtivate katlafirmade uute soojusvõimsuste evitamise maksumusest ning kättesaadavaist kogemustest üle maailma.

2 Hinnang 50 MW võimsusega puitu ja freesturvast kasutava veekuumutuskatlaga katlamaja soetusmaksumuse kohta, arvestades katlamaja kompleksis ka 12 MW võimsusega suitsugaaside pesurit

Katla ja sellega seotud abiseadmete maksumused on leitud katlafirma indikatiivse eelhindangu, samuti lähendusmeetodi abil, kasutades juba teostatud projektide vastavaid andmeid (protsentuaalset osakaalu katla hinnast). Kui katelde maksumused on sel kombel piisava täpsusega hinnatavad, siis montaažtööde ning muude abiseadmete, nagu katlamaja üldehituse, kütuse lao koos seadmestikuga, korstna, soojusvarustuse seadmete jms. maksumused sõltuvad suuresti peatöövõtjast ning ehitusfirmast, seega ka projekti läbiviimisest, sh. pakkumiskonkursi asjatundlikust korraldamisest. Nende hindade määramisel on kasutatud vastavaid kogemusi Eesti soojusobjektide ehitusel ning lähtutud on Eesti ja Baltimaade ehitustööde hinnatasemeist.

Keevkihtpõletus (BFB)

Keevkihtpõletust (ingl.k. BFB – Bubbling Fluidized Bed) saab kasutada laia kütusevaliku puhul, alates kuivast puidust (hakkest) kuni suure niiskusega metsahakke, freesturba, prügi ning tahke jäätmekütuseni. Katlafirmadel on see tehnoloogia hästi välja arendatud ning nad soovivad küttekatelde puhul kasutada BFB tehnoloogiat võimsustel 10-60 MW.

Keevkihtpõletuse puhul antakse kütus kuumast liivakihist koosneva nn. keevkihi peale. Põlemise primaarõhk antakse düüside kaudu ca 0,6-1,2 m paksuse liivakihi alla, mistõttu kogu liivakiht hakkab „mullitama“, jättes liiva „keemise“ mulje. Kütuse kuivamine, lendosade eraldus ja põlemine algab otsekohe kuumale (pinnal 400-500°C) liivakihi sattumisel, raskemad kütuse osakesed põlevad liivakihi sees. Hoolikalt kavandatud ja reguleeritud sekundaarõhu jõud antakse liivakihi kohal olevate düüside kaudu põlemiskambrisse ning kindlustavad väga madalate õhuheitmetega täieliku põlemise igal katla koormusel. Lendtuhk eraldub koldest koos põlemisgaasidega ja püütakse kinni multitsüklonite, kottfiltrite või elektrifiltrite abil. Mittepõlevad kütuse osad eraldatakse kolde põranda kaugemas otsas asuvate avade kaudu.

Eestis kättesaadavad biomassi kütused sobivad eriti hästi keevkihtpõletuseks. Teatav kogus jäätmeid, jäätmekütuseid või freesturvast on võimalik segada biomassiga kütuseseguks. Keevkihtpõletuse suurimaks eeliseks võrreldes restkoldega, on võimalus kasutada ka niiskeid ja väga madala kütteväärtusega kütuseid.

Keevkihtkatlaid on lihtne käitada ja hooldada, neil on kõrge töökindlus ning nende põlemisgaaside heitmed on madalamad kui kehtivad emissiooninormid lubavad. Katlamaja võib vajadusel varustada lisaseadmetega nagu põlemisgaaside scrubber (suitsugaaside pesur) või õhuheitmete filter.

Keevkihtkatlaid on maailmas valmistatud tuhandeid ning uute katelde puhul kasutatakse vastavate uuringute tulemusi ning tarbijate poolt talletatud kogemusi. Katlamajad on

Eksperthinnang soojuse tootmiseks vajaliku katlamaja soetusmaksumuse, soojuse tootmise ehk katlamaja kasuteguri ja katlamaja tehnilise eluea kohta

projekteeritud täisautomaatsetena. See tähendab, et need vajavad (olenevalt tellijast) vaid perioodilist kontrolli või vaid ühe inimese olemasolu vahetuses.

Seetõttu on alljärgnev katla (katlamaja) maksumuse hinnang koostatud katlamajale keevkihtpõletusega katla baasil. Nagu selgub käesoleva hinnangu punktist 2.1, pole maksumustes olulist vahet, kui tegu olnuks restkoldega katlaga.

Hinnangu aluseks on Põhjamaade tuntud katlafirma eelpakkumine, kusjuures pakutav **12,2 miljonit eurot** koguhind sisaldab põhiliselt keevkihtkatelt puudutavat osa (tabelis „Katel ja kuumavee süsteem“).

Indikatiivne pakkumine

- 1) Katla soojuslik väljundvõimsus 50 MW.
- 2) Kasutatav tehnoloogia keevkihtpõletus.

Katlamaja hind 12,2 miljonit eurot (ilma käibemaksuta) sisaldab järgmisi põhiseadmeid ja üksusi:

- Projekti juhtimist;
- Projekti;
- Keevkiht veekuutuskatelt, sealhulgas
 - Põlemisõhusüsteem
 - Käivituspõleti
 - Kütuse etteanne, sh. eelsoojendatud ja isoleeritud kütuse punker
 - Liiva mahuti ja liiva toitesüsteem
 - Kolde põhjatuha käsitus (eemaldamine)
 - Lendtuha eemaldussüsteem ja tuha konteinerid (2tk)
 - Põlemisgaaside puhastus, elektrifilter kahe väljaga
 - Torustik, kuni katlamaja seinani
 - Siibrid, ventiilid ja muu armatuur
- Toitevee ettevalmistus
 - Vee keemiline töötlus
 - Toitevee mahuti
 - Toitevee pumbad
 - Läbipuhe veemahuti
- Kaugkütte soojusvaheti
- Isolatsioon, värvimine
- Instrumendid (mõõteseadmed, andurid, täiturorganid jms)
- Elektrimootorid seadmetele
- Ventilatsioon katla paigaldustöödeks
- Paigaldustööd, käivitamine, katseline käit, personali treening

Pakkumises ei sisaldu

- ✓ Vundamendid, pinna ettevalmistustööd
- ✓ Ehitised, üldehitustööd
- ✓ Platvormid, redelid
- ✓ Korsten

Eksperthinnang soojuse tootmiseks vajaliku katlamaja soetusmaksumuse, soojuse tootmise ehk katlamaja kasuteguri ja katlamaja tehnilise eluea kohta

- ✓ Elektrivarustus
- ✓ Automaatika
- ✓ Ehitusesisene elekter
- ✓ Ehitise vee- ja kanalisatsiooni, soojusvarustuse- ja sideseadmed
- ✓ Lisakütuse süsteem (õli/gaas)
- ✓ Väline kütusemajandus ja kütuse ladu
- ✓ Õhu kompressor
- ✓ Diisel generaator

Tarne tingimus DDU Estonia

Toodud pakkumise põhjal on koostatud alltoodud tabel 1, kusjuures on hinnatud ka nende tööde ja seadmete maksumust, mida indikatiivne pakkumine ei sisaldanud (tabelis „Lisanduvad ehituskulud“).

Ekspert hinnang soojuse tootmiseks vajaliku katlamaja soetusmaksumuse, soojuse tootmise ehk katlamaja kasuteguri ja katlamaja tehnilise eluea kohta

Tabel 1. 50 MW katlamaja hinnanguline soetusmaksumus

Rea nr	Keevkihtkoldega veekuumutuskatla 50 MW katlamaja	Arv	Osakaal %	EUR
1	Kokku kõik kulud (r 2+r 3+r 4+r 5+r 6)		100	18 719 605
2	Biomassil töötav veekatla süsteem(r 2.1+r 2.2+r 2.3+r 2.4+r 2.5+r 2.6+r 2.7+r 2.8+r 2.9)	1	65,2	12 200 000
2.1	Projekt, projekti juhtimine	1		354 371
2.2	Seadistus, käivitamine, katsekäit, personali treening	1		272 285
2.3	Hankekonnkursid	1		24 506
2.4	Vee keemiline ettevalmistus	1		535 042
2.5	Varuosad ja kuluvad osad 2 aastaks	1		13 846
2.6	Biomassi põletuskolle ja katel (r 2.6.1+r 2.6.2 + r 2.6.3)	1		6 298 542
2.6.1	Kütuse varustuse ja etteande süsteem katlale	1		932 665
2.6.2	Biomassi kolle (keevkihtkolle) kokku	1		2 002 405
2.6.2.1	Kolde komplekt	1		1 842 257
2.6.2.2	Põlemisõhk ja gaaside retsirkulatsioon	1		160 149
2.6.3	Veekatel ja süsteem kokku	1		3 363 472
2.6.3.1	Katel	1		1 554 071
2.6.3.2	Vee ökonomaiser	1		329 325
2.6.3.3	Vesi/vesi soojusvaheti	1		73 704
2.6.3.4	Lüva mahuti ja lüva toitesüsteem	1		72 372
2.6.3.5	Tsirkulatsiooni pumbad	2		121 420
2.6.3.6	Toite ja drenaazpump	1		5 805
2.6.3.7	Vee kogumismahuti	1		87 039
2.6.3.8	Ventiilid, sübrid jm. armatuur	1		150 933
2.6.3.9	Kogu katlamaja torustik	1		571 952
2.6.3.10	Isolatsioon	1		219 408
2.6.3.11	Põlemisõhu eelsoojendi	1		177 444
2.7	Suitsugaaside puhastus kokku			3 760 150
2.7.1	Lendtuha filter	1		258 002
2.7.2	Elektrifilter kahe väljaga	1		1 000 714
2.7.3	Suitsugaaside kondensor (pesur)	1		1 750 000
2.7.4	Kondensaadi keemiline käsitus	1		131 134
2.7.5	Kondensaadi sette käsitus	1		66 035
2.7.6	Suitsuimeja ventilaatorid	2		158 866
2.7.7	Gaasikäigud			224 716
2.7.8	gaasikäikude isolatsioon			170 682
2.8	Automaatne tuhaeraldus kokku			245 756
2.8.1	Tuha eemaldus kolde alt	1		133 647
2.8.2	Lendtuha eemaldus tuhapüüdjast	1		86 589
2.8.3	Tuha hoidla (konteinerid)	2		25 520
2.9	Teraskonstruksioonid (sh.platvormid, toed, redelid)			695 502
	Lisanduvad ehituskulud			
3	Kuumavee süsteem kokku		4,53	847 527
3.1	Soojusvahetid ja mahutid			34 722
3.2	Dreanaazvete käsitus			10 779
3.3	Metalltorustikud ja lisaseadmed			154 421
3.4	Põhilised lisaseadmed			77 566
3.5	Armatuur ja kinnitused soojuse tootmiseks			166 662
3.6	Pumbad			73 581
3.7	Jaotlad ja dearatsioon			9 412
3.8	Paisumisseadmed			14 029
3.9	Mööte- ja reguleerseadmed			80 007
3.10	Tugistruktuurid, väravad, restid, võred, katted			51 124
3.11	Soojusisolatsioon			164 043
3.12	Mööte- ja reguleerseadmed - välised seadmed			11 182
4	Ehitised, üldehitustööd kokku		10,7	1 993 958
4.1	Katlamaja koos vundamendi ja pinna ettevalmistus	1		1 157 215
4.2	Biokütuse laohoone rajamine	1		346 371
4.3	Muud ehitised	1		302 917
4.4	Ehituse sisene elekter, vesi, kanal, soojus, side	1		187 455
5	Muud kulud kokku		12,1	2 265 740
5.1	Lisakütuse skeem (õli, gaas)	1		20 450
5.2	Kütuse ladu, kütuse sõelumise seadmed ja autokaal	1		1 828 530
5.3	Tsentraalne suruõhu süsteem	1		46 864
5.4	Korsten	1		224 499
5.5	Litumine võrkudega			138 794
5.6	Käivituspõleti	1		6 604
6	Elektriseadmed ja automaatika kokku		7,5	1 412 381
6.1	Lülituskilbid biomassi põletussüsteemile			477 475
6.2	Lülituskilbid kuumavee süsteemile			254 045
6.3	Juhtmestik			411 438
6.4	Automaatika süsteemid (kolde ja katla automaatika)			154 139
6.5	Protsessi automaatika visualiseerimine PC abil			43 456
6.6	Muud elektri ja automaatika seadmed			21 387
6.7	Avariline väljalülitus	1		1 150
6.8	Kauglevi alarmsüsteem	1		3 195
6.9	UPS - katkematu el.varustus, sh. 100KVA. generaator	1		46 096

Tabelis 1 toodud alajaotusi on lihtsustatud selle ülevaatlikumaks muutmise eesmärgil.

Võrreldes indikatiivse pakkumisega on tehtud ka väikseid muudatusi arvestusega, et indikatiivne hind on eeldatavalt mõningase varuga.

Tabelis 1 toodud soetusmaksumuse suurust või väiksust saab hinnata installeeritava soojusvõimsuse ühikmaksumuse (miljon €/MWs) või (miljon EEK/MWs) põhjal. Selline meetod annab esialgse jämeda võrdleva hinnangu kõikidele energiaprojektidele.

Tabel 1 põhjal kujuneb 50 MWs katlamajale:
ühikmaksumuseks 374 392,1 €/MWs ehk 0,374 mln €/MWs ehk 5,858 mln EEK/MWs.

Ligi 15 aastat tagasi peeti suhteliselt kõrgeks, olgugi tehnika viimase sõna kohaselt ehitatud, biokütusel katlamaja rajamise projekti eelarvelist ühikmaksumust 0,288-0,320 mln €/MWs ehk 4,5-5 mln EEK/MWs.

Seega on käesolevas hinnangus saadud maksumus 17-30% kõrgem. Kuid hinnatõus iseloomustab kõiki viimasel ajal rajatud energiaprojekte. Näiteks 1,3 miljardit EEK maksnud koostootmisjaam elektrilise võimsusega 25 MWe annab elektrilise võimsuse ühikmaksumuseks küllalt kõrge maksumuse 52 miljonit EEK/MWe ehk 3,32 miljonit €/MWe. Ka see arv on tunduvalt suurem sellest, mis valitses ca 15 aastat tagasi. Nn „rusikareegli“ alusel peetakse koostootmisjaama ja katlamaja võrdlusel 10-kordset ühikmaksumuse vahet normaalseks (elektrijaama puhul mitte soojusliku vaid elektrilise võimsuse suhtes).

Seda arvestades võiks öelda, et 50 MWs katlamaja indikatiivne pakkumine on tehtud piisava varuga ning tõelise pakkumiskonkursi puhul, kus hinnast sõltub ehitustarve võitmine, võib ehk saada ka mõnevõrra soodsama soetusmaksumuse. Siinjuures on arvestatud, et praegu, tänu majandussurutisele, on katlamaja ehitusprojektide teostamiseks raske aeg ning hinnad on mõnevõrra langenud. Nõudluse tõustes on oodata taas hinnatõusu.

Nagu tabelist 1 nähtub mõjutavad maksumust oluliselt heitgaaside puhastusseadmed. Siinjuures on pakutud isegi kahte kõrge maksumusega seadet: elektrifiltrit ja heitgaaside pesurit.

Elektrifilter

Elektrifilter on hetkel enimkasutatav lendtuha osakeste püüdesead suurema võimsusega katlamajades ja elektrijaamades. Viimasel ajal leiavad nad kasutamist juba ka väiksemate, isegi 10MW katlamajade puhul. Elektrifiltri põhimõtteks on tuhaosakeste ioniseerimine filtri plaatide vahel kõrge alalispingega (50-80kV) elektriväljas ja eraldamine negatiivselt laetud plaatidele, kust see filtri all olevasse tuhakogujasse raputatakse.

Elektrifiltri eelised on:

- Kõrge püüdeaste, vähemalt 99% tahkete kütuste puhul;
- Madalad hooldekulud (ca 0,1€/MWh) madala elektrivõimsuse (ca 100kW) ja väikese gaaside takistuse (ca 2mbar) tõttu;
- Temperatuuritaluvus;

Eksperthinnang soojuse tootmiseks vajaliku katlamaja soetusmaksumuse, soojuse tootmise ehk katlamaja kasuteguri ja katlamaja tehnilise eluea kohta

- Töökindlus;
- Väike hooldevajadus;
- Puuduv ummistuste oht;
- Pikk kasutusaeg

Elektrifiltri puuduseks on kõrge maksumus, kuid ta tagab suhteliselt kõrge, kuni 99,5% tuhaosakeste eraldumise (kottfilter kuni 99%). Saavutamaks veel kõrgemat osakeste eraldamist, näiteks 99,5% kuni 99,9%-ni, tõuseb elektrifiltri hind ca 30%, sest filtrile lisatakse teine väli. Pakkumises sisaldubki kahe väljaga elektrifilter, mis tõstab kogumaksumust, samuti suurenevad veidi käidukulud suureneva elektrikulu tõttu.

Heitgaaside pesur ehk kondensor

Käesolevas pakkumises lisandub elektrifiltrile ka heitgaaside pesur (skruuber). Pesuris pestakse suitsugaasid suure hulga pihustatud vee abil, mille tulemusel saasteained lähevad gaasilisest olekust vedelasse. Samas jahutatakse heitgaasid 150-200°C-st 60-70°C-ni, st. kastepunkti temperatuurini, kusjuures langeb ka gaaside maht. Pesuris võidakse lisaks tuhaosakestele absorbeerida ka lämmastiku, kloori jt. ühendeid, lisades pesuvette leeliseid. See annab pesurile eelise teiste lendtuha püüdeseadmetega võrreldes.

Kui pesurile lisada soojusvaheti, on võimalik kütuse aurustussoojus kinni püüda ja tõsta katelseadme kogukasutegurit isegi üle 100% (kütuse alumise kütteväärtuse põhjal). Eriti laia kasutust on pesur leidnud suure niiskusega hakkpuidu põletamisel, sealhulgas väikekatlamajades. Selleks peab aga olema võimalus madalatemperatuurilise soojuse ärakasutamiseks, ehk soojusvõrgu tagastuv temperatuur olema mitte kõrgem kui 45°C.

Märgade gaaside juhtimist korstnasse püütakse vältida veetilkade eraldi ja lisasoojuse (osa heitgaaside) abil või kasutada eraldi korstnat, vältimaks korstna külmumist talvel. Pesuri rõhulang on ca 15mbar, mille ületamine tõstab käidukulutusi ventilaatorite elektrikulu tõttu.

Pesuri lendosade eraldusmäär on 90-95%, seega madalam kui elektri- või kottfiltril. Pesur eraldab hästi suuremaid osakesi, kuid ei suuda püüda peeni alla 1µm osakesi. Samuti ei suuda ta eraldada pidevalt suurt lendtuha kogust, mistõttu on vajalikud eelpüüdeseadmed (tsüklon, elektri- või kottfiltrid).

Teine puudus on jääkvesi, mille käsitlemisest (lisakemikaalidest) sõltub kogu pesuri tasuvus. Pesuritüüpe on palju (ventuuri, spray, plaat, tsüklon), ja nende sobivus sõltub konkreetsest projektist. Heitgaaside pesuri investeerimiskulud on soojuse ärakasutamise korral ligi 2 korda kõrgemad kui elektrifiltril, ca 30000-40000 €/MW_{katel}. Pesuri käidukulud sõltuvalt kemikaalidest on 0,3-0,5 €/MWh_{katel}, ilma tuhakäsitluse maksumuseta.

Pesuri kasutatavus sõltub suuresti jääksoojuse kasutamise võimalusest; ainult osakeste püüdeseadmena jääb ta elektrifiltrile ja kottfiltrile alla. Milline suitsugaaside puhastussüsteem valida, sõltub konkreetsest projektist, kasutatavast kütusest ja järgitavatest keskkonnanormidest.

2.1 Hinnang, kas oleks võimalik oluline kulude kokkuhoid rakendades keevkihttehnoloogia asemel respõletustehnoloogiat

Hinnangu saamiseks võrreldakse mõlema tehnoloogia iseloomulikke omadusi, sealhulgas põlemisprotsessi efektiivsust ja juhitavust, õhuheitmeid, alginvesteeringu suurust ja käidun- ning hoolduskulusid.

2.1.1 Restkütte tehnoloogia ülevaade

Restkütte tehnoloogia on tuntud juba üle 100 aasta ning selle abil töötas enamik tahkekütuse katlaid maailmas. Nii kütuse etteanne restile kui tuhaeraldus tehti käsitsi katlakütja poolt. Olenevalt kütuse niiskusest kasutatakse suurtes ja kaasaegsetes biokütuse põletamise restkoldega kateldes kas transportörlindina pöörlevat kettresti või vesi/õhkjahutusega vibreerivat resti. Kütust antakse restile mitme kütuselöövi kaudu. Primaarõhk antakse resti alla ning sekundaarõhk resti kohale. Olenevalt kütuse niiskusest on põlemisõhk kuumutatud 175-345°C. Põlemistsooni temperatuuri tavaliselt ei mõõdeta ega reguleerita ning see on piirides 1200-1650°C. Selline temperatuur on mõninga kütuse (freesturba) tuha sulamistemperatuuri lähedal, mistõttu on selle kütuse kasutamine restküttes ebasoovitav, lisaks võib see põhjustada resti kohalikku ülekuumenemist ja sektsioonide sulamist.

Kuna tahked kütused on omadustelt üpris erinevad, erinevad ka restkütte katelde restide konstruktsioonid ja nende kolded üksteisest. Kirevust lisab veel valmistajate suur hulk, eriti väikekatelde osas, mis suuresti vastavad kohalikele oludele ja kütustele.

Restkoldega katelde eelised

- Võimalus põletada suuremate mõõtmetega kütuseid
- Madal elektri omatarve

Restkolde puudused

- Suur liigõhu hulk (1,3-1,4)
- Halb reguleeritavus (kitsad seadistusvõimalused)
- Tundlikkus kütuse kvaliteedile (kütteväärtusele ja niiskusele)
- Suur põlemata kütuseosakeste hulk (mehhaaniline ja keemiline põlemiskadu)
- Ebatäielikust põlemisest põhjustatud õhuheitmed (vingugaas CO)
- Resti liikuvate osade sagedane hooldevajadus

Restkolde kütuse söötja esmaülesanne on jagada kütus kogu resti pinnale tasase ühtlase kihina. See on eriti tähtis seetõttu, et erinevalt keevkihist ei toimu resti pinnal kütuse segamist, eriti külgsuunas (ka liikuvate restidetailide või restide puhul). Kui kütus ei paigutu ühtlaselt, toimub primaarõhu reguleerimatu hüplemine kohtadesse, kus kütusekiht on õhem või kus kvaliteetsem kütus põleb kiiremini. Seal võib resti pind kuumeneda liigselt ning kahjustuda. Suuremate restkatelde puhul antakse suruõhu abil kütus kogu resti pinnale automaatselt. Alattoite puhul antakse kütus koonusekujulise pöörleva resti keskele tigusöötja abil (näit. Eestis levinud Wärtsila katlad).

Kütuse söötjad on kujundatud selliselt, et nende kaudu ei pääse reguleerimatu sekundaarõhk koldesse, teisalt ei tohi ka leek pääseda kütuse söötseadmesse ja sealtkaudu kütuse etteande süsteemi või -punkrisse. Eestis hakkpuidule ümberehitatud vanade DKVR katelde puhul pääses suur hulk kontrollimatut õhku söötja kaudu koldesse.

Moodsad suured restkoldega katlad omavad täiustatud kütuse söötjaid ning vesijahutusega vibreerivaid reste, mis sobivad hakkpuidu jm. biokütuste põletamiseks kõrge, üle 87% kasuteguriga. Mõned suured katlaehitusfirmad, nagu Babcock & Wilcox ning nende Taani tütarfirma Volund A/S on jäänud truuks restkoldele, kusjuures ka suure võimsusega, 100-

Ekspertnõuand soojuse tootmiseks vajaliku katlamaja soetusmaksumuse, soojuse tootmise ehk katlamaja kasuteguri ja katlamaja tehnilise eluea kohta

150 MW biokütusel katelde ehitusel. Nende katelde efektiivsuse tagavad hästi väljaarendatud pneumaatilised kütuse söötjad ning vibreerivad vesijahutusega restid.

Kütuse söötjad

Kütus, valdavalt metsahake ning saeveskite jääkpuit, suunatakse katla esiseina juures asuvast vahepunktist kolme tigukonveieri abil kolme pneumaatilisse kütuseheitjasse, mis puhuvad kütuse koldesse. Koldes toimub kütuse osaline kuivamine ja gaasistamine juba siis, kui kütus on veel õhus.

Vesijahutusega vibreeriv rest

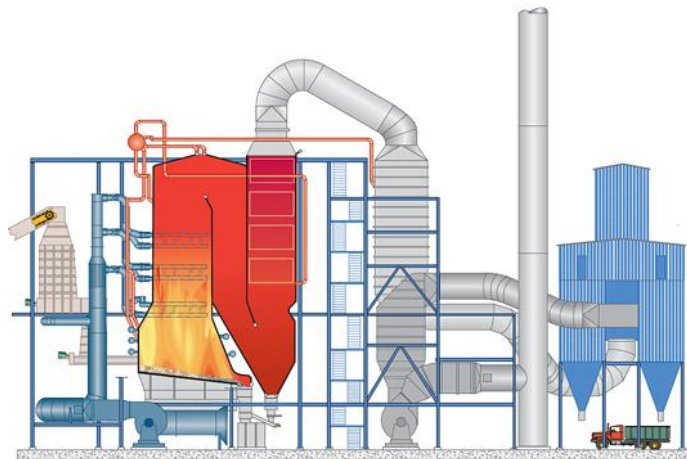
Kütuse põlemine toimub kerge kaldega vesijahutusega vibreerival restil, milline on jaotatud pikisuunas kolmeks õhutsooniks. Õhutsoonid on ühendatud õhukanaliga painduva ühenduse ja õhusuubrite kaudu, et tagada soovitud põlemisõhu hulk igas tsoonis.

Sekundaarõhk koos põlemisgaaside retsirkulatsiooniga suunatakse kolde põlemistsooni õhudüüside kaudu, mis asetsevad kolde esi- ja külgses. Šlakk ja tuhk suunatakse resti allosast tuha eraldussüsteemi ning edasi tuha konveierisse.

Vesijahutusega vibreeriv rest suurendab töökindlust, vähendab kulumist ja maksumust

Vesijahutusega vibreeriv rest on end õigustanud kui tugev ja efektiivne rest alates 1990.a. Rest on spetsiaalselt arendatud kütustele, mis sisaldavad vähe tuhka, kuid ta töötab hästi ka tuharikkamate kütusega. Vesijahutus on oluliselt suurendanud resti töökindlust, vähendanud resti detailide kulumist ja sellega hooldekulusid.

Standardlahenduse puhul toidetakse resti vesijahutussüsteemi katla trumlist (aurukatla puhul) või katlavee kollektorist veekatla puhul.



Joonis 1 Babcock-Wilcox Volund restkoldega 70MW tööstuslik aurukatlamaja bioetanooli tootmiseks(Belgias)

Joonisel 1 toodud vibreeriva restiga katlamaja puhul on näha pneumaatiline biokütuse (nisukliide) etteanne, süsiniku taaskasutuse süsteem ning elektrifilter (paremal).

Kütuse heitmisel restile tagamaks ühtlast kütusekihti tekib moodsas restkoldes siiski olukord, kus mingi osa lõpuni põlemata kütust kandub koldest piki kolde šahti koos lendtuhaga välja. Kadu kütuse (süsiniku) mittetäielikust põlemisest võib ulatuda 4-6%. Kui seda ära ei kasutata, põhjustab see vastavalt väiksema efektiivsuse, mis suurendab vajatavat kütuse tarbimist ja seadmete maksumust. Selle vältimiseks on restkolletega katlad tavaliselt varustatud süsiniku taaskasutuse süsteemiga, mis suunab süsinikurikka tuha tagasi koldesse. Seade vajab

liivaeraldit, mis eraldab kõrgelt abrasiivse räniliiva (kui see on kütuse koostises) lendtuhaast enne selle tagasisuunamist koldesse. Taaskasutussüsteem vajab pidevat hooldust, mistõttu on see mõnedes katlamajades välja lülitatud. Samuti on kasutusel mehhaaniline tolmu koguja (tsüklon), mis püüab kinni jämedamad lendtuha osakesed, et need ei satuks elektrifiltrisse. Mure põlemata süsiniku pärast ja sellega kaasnevast tuleohust sunnib restkolde puhul kasutama osakeste eraldamiseks elektrifiltrit, eelistades seda tekstiilfiltritele.

Õhuheitmed

Restpõletusel on omased erinevad temperatuurid resti ja kolde eri piirkondades, mistõttu eriti ebaühtlase kütteväärtuse ja niiskusega kütuse põletamine on ebatäielik. Selle tulemusena on põlemata süsivesikute õhuheitmed kõrgemad kui keevkihtpõletusel. Restkolde erivõimsus resti pinna kohta on väiksem kui keevkihi puhul, mis raskendab ka sekundaarõhu korralikku suunamist ja segunemist põlemisgaasidega. See omakorda süvendab ebaühtlast põlemist ja õhuheitmeid. Vaatamata sekundaarõhu jaotuse parandamisele uuemates kateldes on restpõletusele tüüpiline, et ebatäielikku põlemist restil on eriti raske pidevalt mõõta, et oleks võimalik seda automaatselt korrigeerida. Põlemisprotsessi juhtimine jääb puudulikuks, sest ainsaks mõõtevahendiks on jääkhapniku mõõtmine suitsugaasides, ja sedagi vaid suuremates kateldes.

Tahked osakesed

Restkoldes valdav osa tuhast eraldub põhjatuhana ja vaid väike osa lendtuhanana, mistõttu väiksemate võimsuste (alla 5-10MW) puhul kasutatakse üldiselt tsüklooneid lendtuha püüdmiseks. Uuemate ja võimsamate restkatelde puhul kasutatakse üha sagedamini ka elektrifiltreid tänu karmistunud keskkonnaheitmete normidele.

Lämmastikoksiidid NO_x

Restpõletusel NO_x heitmed on põhjustatud peamiselt kütuses leiduvast lämmastikust, kõrgemate temperatuuride piirkonnas resti kohal ka õhulämmastikust. Seda põhjusel, et restkolde puhul on põlemise liigõhutegur vähemalt 10% kõrgem kui keevkihi puhul ning põlemistemperatuurid on samuti kõrgemad, sealhulgas ka teatavates resti piirkondades. Uuematel restkateldel kasutatakse ulatuslikult heitgaaside retsirkulatsiooni NO_x heitmete vähendamiseks.

Vääveldioksiidid SO_2

Väävliheitmed on tuntavad vaid kivisöe restpõletusel, samuti väävlirikka (Eesti) tükkturba põletamisel. Sel puhul tuleb kasutada sekundaarseid meetmeid ehk kõrge maksimumusega suitsugaaside puhastust. Sarnaselt keevkihtkatlaile on ka restkatlal katsetatud lisaainet (kaltsiumhüdrosüüdi) kasutamist väävli sidumiseks, kuid selle efektiivsus jääb madalamaks, parimatel juhtudel SO_2 väheneb vaid 30% võrra, mis pole üldiselt piisav.

2.1.2 Keevkihttehnoloogia ülevaade

Keevkihtpõletus on tuntud keemiatööstuses juba aastast 1920. Aastaks 1940 oli see tehnika üldlevinud keemia- ja metallurgiatööstustes. Katlatehnikas alustati keevkihttehnoloogia kasutust 1960 - 1970 aastail ning kommertstoodanguga alustati 1970 aastail. Tänapäeval on keevkihttehnoloogia oma turupositsiooni kindlustanud kui sobivaim erinevate kütuste (ka koos-) põletamiseks keskkonnasõbralikumal viisil.

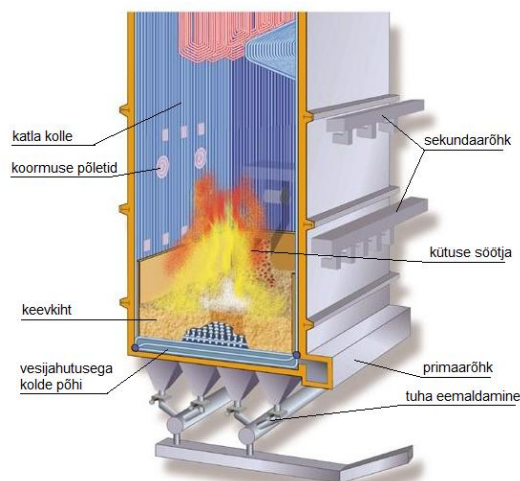
Nagu käeoleva hinnangu punktis 2 märgitud, on termin „keevkiht“ seotud kolde alaosas asuva inertse keskkonnaga, liivaga, mille algtemperatuur tõstetakse üles alternatiivse

Ekspertnõuand soojuse tootmiseks vajaliku katlamaja soetusmaksumuse, soojuse tootmise ehk katlamaja kasuteguri ja katlamaja tehnilise eluea kohta

käivituskütuse (gaas, õli) põletamise teel. Kui temperatuur on saavutatud, suletakse käivituskütuse põleti ning koldesse antakse biomass. Resti alla antav kõrge survega primaarõhk tõstab liivakihi koos kütusega üles ja paneb selle vedeliku kujul pulbitsema ehk „keema“. Põlemine toimubki nii keevkihi pinnal kui ka sees.

Keevkiht katla tüüpilised omadused:

- Hea gaasi ja kütuse segamine ja kolde suur soojusmahtuvus võimaldavad ka viletsa, madala kütteväärtusega ja niiske kütuse põletamise kõrge kasuteguriga (sh. ka osalisel koormusel)
- Võimalus kasutada samas katlas erinevaid kütuseid, mille omadused võivad muutuda oluliselt ja kiiresti
- Väike hooldevajadus, sest vähe on liikuvaid osasid
- Ühtlane ja madal põlemistemperatuur (800-850°C) ning põlemisõhu hea reguleerimine võimaldavad madalaid NO_x heitmeid
- Vääveldioksiidi SO₂ heitmeid saab lihtsalt, oluliselt ja soodsalt piirata, lisades väävlirikkale kütusele (turvas, jäätmed) lubjakivi (CaCO₃) või dolomiiti (CaCO₃*MgCO₃). Põlevkivi puhul on lubjakivi juba kütuse koostises olemas
- Põlemistemperatuur on tuha paakumis- ja sulamistemperatuurist madalam, mistõttu on välditud sulanud tuha kankarde tekkimine, mis restkolde puhul on suuremaks ohuks
- Soojusülekanne koldest katlaveele (või aurule) on hea
- Keevkihi suure rõhukao tõttu on ventilaatorite elektri omatarve kõrge
- Keevkihi massilise segamise ja õhuhapniku mõju tõttu on keevkihis asuvad soojaveetorud alati erosioonile. Selle takistamiseks võib torud katta kulumiskindla kihiga (näit. müüritis). Viimastel mudelitel keevkihis asuvaid küttepindu ei kasutata; keevkihi aluspõhi on vesijahutusega
- Keevkihtkatel ei vaja kütuse eelkäsitlust, vajalik on vaid rauaeraldus, eelpurustus ja sõelumine



Joonis 2 Keevkihtkatla koldeosa läbilõige (allosas vesijahutusega õhudüüsidega kolde põhi)

Erinevus restkoldest

- Suurim erinevus restkoldest on selles, et keevkihtkoldes on suur mass kuuma materjali, mis on võimeline tasandama erinevused kütuse kvaliteedis, niiskuses ja tüki suuruses, ilma et see oluliselt mõjutaks katla toimimist

- Teine suur erinevus on selles, et keevkihi temperatuur on mõõdetud ja reguleeritav optimaalseks temperatuuriks, keskmiselt 815°C. Kihi temperatuuri reguleeritakse tavaliselt põlemisõhu lisamise või vähendamisega, kütuse koguse seadistamisega ja/või põlemisgaaside retsirkulatsiooni kasutusega. Hoides ligikaudu konstantset kihi temperatuuri, minimeeritakse katla piirolekuid, mis võivad tekkida kütuse varieerumisest (niiskus, tuhasisaldus, kütteväärtus, jne.) ning tagatakse pidevalt stabiilne olukord katla toimimiseks ja õhuemissioonide minimeerimiseks.
- Keevkihi heitmed varieeruvad palju vähem kütuste omaduste muutudes, kui ükskõik millises muus biomassi põletusseadmes. Nagu teada, kütuse omaduste muutumine on eluline probleem igale biomassi põletusseadmele, kuigi nähakse suurt vaeva selle püsimiseks homogeensena.
- Keevkihtkolde paks kuum liivakiht omab suurt stabiliseerivat mõju, mis tasandab igat järsku muutust kütuse kvaliteedis. Vastupidi, restkoldel asuv suhteliselt madal kütuse kiht on palju tundlikum võimalike õhuheitmete järskude hüpete suhtes kütuse kvaliteedi muutmisel.
- Kütuse tuha osas on samuti kahe koldetüübi puhul suur erinevus. Restkolde puhul on keskmiselt ligikaudu 65% restialune tuhk ja 35% lendtuhk (olenevalt kütusest); keevkihtkolde puhul on valdav osa tuhast lendtuhk. See asjaolu ja kasutatav kütus määrab osakeste filtreerimisseadmete ja tuhaeraldussüsteemi suurused, tüübi ja kujunduse. Puitkütuse tuhasisaldus (kaaluline sisaldus kuivaines) on teatavasti 0,4-0,6%, koorerikka metsahakke puhul tõuseb see kuni 2,8%.
- Korstnasse jõudvate tahkete lendtuha osakeste püüdmine toimub kas elektri- või kottfiltritega keevkihtkolde puhul või tsüklonite ja elektrifiltriga restkolde puhul.

Keevkihis toimuvat põlemisprotsessi võib iseloomustada kui all-stühhomeetrilist olekut, st. põlemise toimumiseks vajatakse tunduvalt vähem (ca 35%) teoreetiliselt vajalikust õhukogusest. Selle tulemuseks on kütuse gaasistamine kihis. Gaasistunud kütus põletatakse seejärel keevkihi peale antava sekundaarõhu abil täielikult. Seega saavutatakse kahekordne tulemus ühes protsessis: gaasistamine ja soojuse ülekanne. See erineb sünteetilisest gaasistamise protsessist, kus saadavat gaasi kasutatakse gaasimootoris või -turbiinis. Kahekordse tulemusega protsess on sobivaim biomassi põletamiseks, tänu selle suurele lendosade sisaldusele ja tülika tõrva põletamisele samas protsessis.

Sarnaselt restpõletusele antakse kütus mitme käigu kaudu kas kolde ühest või mitmest seinast. Kuna keevkihi alla antakse vähem õhku kui resti puhul, on kiirused kihis väiksemad. Kuna ka kütuse mehhaaniline segunemine on suurem, välditakse nende omaduste tõttu iga vähegi suurema põlemata kütuseosakese lendumist keevkihist. Kadu mehhaaniliselt mittetäielikust põlemisest on keevkihis alla 1% kütuse energiast. Seetõttu ei vaja BFB süsiniku taaskasutuse süsteemi. Lisaks puudub seal vajadus mehhaaniliste tuhakogujate (tsüklonite) järele. Seetõttu on keevkihtkatelde puhul üheks sobivaks alternatiiviks ka kottfiltrite kasutamine elektrifiltrite asemel.

2.1.3 Õhuheitmete võrdlus

Põlemisgaaside puhastusmeetmed

Lämmastikoksiidid NO_x

Eksperthinnang soojuse tootmiseks vajaliku katlamaja soetusmaksumuse, soojuse tootmise ehk katlamaja kasuteguri ja katlamaja tehnilise eluea kohta

Keevkihtpõletusel on NO_x heitmed üldiselt madalamad kui restpõletusel. See seletub osaliselt madala põlemistemperatuuriga, mistõttu õhuhapnikust NO_x moodustumine on tähtsusetu ja kogu NO_x tekib vaid kütuse lämmastikust. Puidukütuse N sisaldus on iseenesest madal, 0,1-0,2%, olenevalt puuliigist. Eriti madalad NO_x heitmed on tsirkuleeriva keevkihi puhul, kus suur ringlev koksimäär koos põlemisgaaside retsirkulatsiooniga seob omakorda tekkiva NO_x.

Kuid nõuded emissioonide vähendamiseks katlast lahkuvatele põlemisgaasidele muutuvad järjest karmimaks, sealhulgas NO_x, SO₂ ja tahkete õhuheitmete suhtes isegi puhta puitkütuse põletamisel. Praegu on parimaks tehnoloogiaks lämmastikoksiidide NO_x sisalduse reguleerimiseks biomass-kütustele selektiivne mittekatalüütiline vähendamine (ing.k. SNCR), mis seisneb ammoniaagi NH₃ lisamises 870-1040°C põlemisgaasidele läbi kolde avauste, mis reageerides NO_x-ga muudab selle lämmastikuks ja veeauruks.

Võrreldes SNCR-ga annab veelgi põhjalikuma NO_x vähendamise koos ammoniaagiga selektiivne katalüütiline vähendamine (ingl.k. SCR) ehk katalüsaator (kasutusel ka autodel). See seisneb ammoniaagi lisamises 315-400°C põlemisgaasidele vahetult enne katalüsaatori pinda, tulemuseks samuti veeaur ja lämmastik. SCR protsess annab parema NO_x puhastusastme, seejuures väiksema ammoniaagi kuluga. Katalüsaatorit ei soovita tootjad restkolletele seoses hulga põlemata kütuseosakeste lendumisele koos lendtuhaga, küll aga keevkiht-kolletele, mis põletavad puhast puitkütust, mis kindlustab soojuse tootjale vastuvõetava katalüsaatori eluea.

Tahked osakesed, SO₂ ja HCl

Lendtuhk

Keevkihtpõletuse puhul nõuab suitsugaaside puhastus lendtuhast efektiivseid kuid kalleid vahendeid, nagu elektrifiltrid või kott- (tekstiil-) filtrid.

Keevkihtkolde eelis, kus kasutatakse kottfiltrit elektrifiltri asemel, seisneb happeliste gaasikomponentide nagu SO₂ ja HCl täiendavas vähendamises. Kottfiltrit kotid on hea kontaktipind gaas/tahke tuhk ainevahetuseks, kus puutub sisalduv leelis (kaalium) toimib reagentina aidates neutraliseerida happelisi SO₂ ja HCl emissioone.

Veelgi põhjalikum SO₂ ja HCl emissioonide vähenemine toimub pesuri ehk kondensaatori kasutamisel, kus tekkinud happeline kondensaat neutraliseeritakse samuti leelise lisamise teel.

2.1.4 Rest- ja keevkihtkolde kujundus ja paigutus

Kirjanduses [1] on võrreldud kahe tehnoloogiaga sama võimsusega katlamaja kujundust ja seadmete paigaldust. Kolde dimensioonid on enam-vähem samad, kuid restkolde puhul võtavad enam ruumi kütuse etteande seadmed resti alguses, tagamaks kütusekihi ühesugust jaotust restile.

Keevkihtkolde puhul võib kütust anda mitme kolde seina kaudu, mis võimaldab kolde ruumi säästlikku kasutust isegi suurte võimsuste puhul.

Mõlemal katlatüübil on sarnaselt kujundatud konvektiivsed küttepinnad ja järelküttepinnad gaasikäikudes.

Tänu kõrgema temperatuuriga põlemisõhu vajadusele on restkatlal suurema küttepinnaga õhu eelsoojendi torustik. Keevkihtkatel omab jälle suuremat ökonomaiserit vee eelsoojenduseks. Gaasikäikude suurem ristlõike pind on kujundatud keevkihtkatlal, kus põlemisgaaside kiirused on väiksemad. Õhuelsoojendi keevkihtkatlal on kujundatud õhutorustikuna gaasikäigus.

Lisaseadmed nagu kütuse etteanne, toitevesi, vaheülekuumendi, küttepindade puhastus, katla toestik, tuhaeraldus ja korsten on mõlema katlatüübi puhul põhiliselt sama.

Ekspert hinnang soojuse tootmiseks vajaliku katlamaja soetusmaksumuse, soojuse tootmise ehk katlamaja kasuteguri ja katlamaja tehnilise eluea kohta

Keevkihtkatel vajab lisakütust ja stardipõleteid saavutamaks tahkele kütusele vajalik temperatuur kihis. Restkollet võib käivitada külmast olekust ilma lisakütust kasutamata, kuid võib kasutada ka käivituskütust.

Keevkihtkatlad on varustatud spetsiaalse liiva lisamise ja eraldamise süsteemiga. Restkolle on varustatud resti põhja alt tuha, põlemata osakeste ja lisandite eemaldamise süsteemiga.

2.1.5 Maksumuste võrdlus

Võrdse võimsusega tänapäevaste katelde puhul on kapitalikulu mõlema katla püstitamiseks praktiliselt sama, kusjuures keevkihi puhul isegi veidi väiksem kui restkatla puhul, arvestades tänapäevaseid suure kroomisisaldusega kuumus- ja kulumiskindlaid malmreste.

Käidu- ja hoolduskulude võrdlus

Keevkihtkolle nõuab kõrgema survega õhku kihi alla, et muuta ligi 1m paksust liivakihti voolavaks, võrreldes resti alla antava õhuga restkolde puhul.

Kui restkatlal on kasutatud lendtuha retsirkulatsiooni, on see seotud suurema hoolduskuluga ja lisaõhu vajadusega. Lisaks on restkatla konvektsioon-gaasikäigud toru-õhuelsoojendi ja multitsüklonitega suurema gaasidepoolse takistusega, mille ületamine nõuab ka õhuventilaatoritelt suuremat rõhku.

Tänu heale kütuse segamisele ja põlemisprotsessi kontrollile keevkihis, toimub keevkihi põlemisprotsess väiksema liigõhuga. Koos kütuse täielikuma põlemisega viib see kõrgemale katla kasutegurile, väiksemale kütusekulule ning väiksemale põlemisgaaside mahule, mistõttu ka väiksemale sekundaarõhu ventilaatorite võimsusele ja elektri kulule.

Suitsugaaside poolt võttes on elektri kulu elektrifiltrile tunduvalt suurem kui tekstiilfiltritele, samas on tekstiilfiltritel suurem gaasidepoolne takistus.

Liivakiht ja selle lisamise ja eraldamise süsteem on omane vaid keevkihile ning sõltub kasutatavast kütusest. Normaalselt pole sellega seotud kulud suured, kuid kui liiva vajadus muutub liiga suureks, on sellega seotud kulu oluline.

Kui kõiki tegureid arvestada, siis tekstiilfiltriga seotud väiksem elektrikulu ja väiksem kütuse kulu tänu katla kõrgemale kasutegurile kaaluvad üle keevkihtkatla kõrgema elektrikulu primaarõhule, mistõttu keevkihtkatla käidukulud on madalamad kui restkoldega katlal.

2.1.6 Järeldused

Kaaludes kõiki asjaolusid, sealhulgas kapitalikulu, käidu- ja hoolduskulusid ja keskkonnanõuete täitmist, on üle 10MW võimsuste puhul keevkiht-tehnoloogia mõnevõrra eelistatum kui restkoldega katel.

Olenevalt kasutatavast kütusest võib suhteliselt kuiva kütuse ja väiksemate võimsuste (10-20MW) puhul olla ka restkolle eelistatum, kuid tüüpilise puidul baseeruva mittehomoogeense kütuse puhul on keevkihtkatelt hinnatud eelistatumaks tehnoloogiliseks valikuks. Keevkihtkatel võimaldab põletada väga erineva kvaliteediga biomassi, sh. Eesti oludes näiteks freesturvast, mis on 10-15% odavam kui tükkturvas, mida oleks võimalik põletada ka restkoldes.

Kokkuvõttes võimaldab keevkihtkatla kõrgem kasutegur väiksemaid käidukulusid, st. väiksemat soojuse tootmiskulu ka samaväärse kütuse puhul.

Ekspert hinnang soojuse tootmiseks vajaliku katlamaja soetusmaksumuse, soojuse tootmise ehk katlamaja kasuteguri ja katlamaja tehnilise eluea kohta

Seega restkolde kasutamine ei anna eeliseid ega kulude kokkuhoidu võrreldes keevkihtkatlaga, kulud on pigem suuremad. Väiksemate võimsuste korral (alla 10MW) võivad restkolde kapitalikulud olla madalamad kui keevkihtkoldel. Sellise võimsusega keevkihtkatlaid üldreeglina ei ehitata.

Tegeliku pakkumiskonkursi puhul on siiski soovitatav küsida pakkumist ka restkoldega katelde tootjailt. Lõplik valik ning otsus selgub ikkagi kõigi asjaolude kaalumise tulemusena.

3 Hinnang 35 MW puitu ja freesturvast kasutava veekuumuskatlaga katlamaja soetusmaksumuse kohta, arvestades katlamaja kompleksis ka vastava võimsusega suitsugaaside pesurit

Hinnang 35MW puitu ja freesturvast kasutava veekuumuskatlaga katlamaja soetusmaksumuse kohta on analoogne 50MW katlamajaga, st. kasutatud on sarnast meetodikat. Erinevus on vaid selles, et katla ja abiseadmete indikatiivne hinnapakumine oli sel puhul **10 miljonit €**. Hinna jaotus alalõikude vahel on koostatud lähendusmeetodi abil, kasutades juba teostatud projektide vastavaid andmeid (protsentuaalset osakaalu, seal kus see oli võimalik). Kui katelde abiseadmete maksumused on sel kombel hinnatavad, siis montaažtööde ning muude abiseadmete, nagu katlamaja üldehituse, kütuse lao koos seadmestikuga, elektrivarustuse ja automaatika, korstna, soojusvarustuse seadmete jms. maksumused sõltuvad suuresti peatöövõtjast ning ehitusfirmast, seega ka projekti läbiviimisest, sh. pakkumiskonkursi asjatundlikust korraldamisest. Nende hindade määramisel on kasutatud vastavaid kogemusi Eesti soojusobjektide ehitusel, kasutades vastavat koefitsienti erinevale võimsusele üleviimisel, lähtunud on seejuures Eesti ja Baltimaade ehitustööde hinnatasemeist.

Hinnangu aluseks on Põhjamaade tuntud katlafirma eelpakkumine, kusjuures pakutav 10 miljonit € koguhind sisaldab põhiliselt keevkihtkatelt puudutavat osa (tabelis „Katel ja kuumavee süsteem“).

Indikatiivne pakkumine

- 3) Katla soojuslik väljundvõimsus 35 MW.
- 4) Kasutatav tehnoloogia keevkihtpõletus.

Katlamaja hind 10 miljonit € (ilma käibemaksuta) sisaldab järgmisi põhiseadmeid ja üksusi:

- Projekti juhtimist;
- Projekti;
- Keevkihtkatelt, sealhulgas
 - Põlemisõhu süsteem
 - Käivituspõleti
 - Kütuse etteanne, sh. eelsoojendatud ja isoleeritud kütuse punker
 - Liiva mahuti ja liiva toitesüsteem
 - Kolde põhjatuha käsitus (eemaldamine)
 - Lendtuha eemaldussüsteem ja tuha konteinerid (2tk)
 - Põlemisgaaside puhastus, elektrifilter kahe väljaga
 - Torustik, kuni katlamaja seinani
 - Siibrid, ventiilid ja muu armatuur
- Toitevee ettevalmistus
 - Vee keemiline töötlus

Eksperthinnang soojuste tootmiseks vajaliku katlamaja soetusmaksumuse, soojuste tootmise ehk katlamaja kasuteguri ja katlamaja tehnilise eluea kohta

- Toitevee mahuti
- Toitevee pumbad
- Läbipuhe vee mahuti
- Kaugkütte soojusvaheti
- Isolatsioon, värvimine
- Instrumendid (mõõteseadmed, andurid, täiturorganid jms)
- Elektrimootorid seadmetele
- Ventilatsioon katla paigaldustöödeks
- Paigaldustööd, käivitamine, katseline käit, personali treening

Tarne tingimus DDU Estonia

Toodud pakkumise põhjal on koostatud alltoodud tabel 2, kusjuures on hinnatud ka nende tööde ja seadmete maksumust, mida indikatiivne pakkumine ei sisaldanud (tabelis „Lisanduvad ehituskulud“).

Ekspert hinnang soojuse tootmiseks vajaliku katlamaja soetusmaksumuse, soojuse tootmise ehk katlamaja kasuteguri ja katlamaja tehnilise eluea kohta

Tabel 2. 35MW katlamaja hinnanguline soetusmaksumus

Rea nr	Keevkihtkoldega veekuuumutuskatlaga 35 MW katlamaja	Arv	Osakaal %	EUR
1	Kokku kõik kulud (r 2+ r 3+ r 4+ r 5+ r 6)		100	15 378 646
2	Biomassil töötav veekatla süsteem(r 2.1+r 2.2+r 2.3+r 2.4+ r 2.5+r 2.6+r 2.7+r 2.8+r 2.9)	1	65,0	10 000 000
2.1	Projekt, projekti juhtimine	1		290 468
2.2	Seadistus, käivitamine, katsekäit, personali treening	1		223 185
2.3	Hankekonnkursid	1		20 087
2.4	Vee keemiline ettevalmistus	1		438 559
2.5	Varuosad ja kuluvad osad 2 aastaks	1		11 349
2.6	Biomassi põletuskolle ja katel (r 2.6.1+ r 2.6.2 + r 2.6.3)	1		5 491 923
2.6.1	Kütuse varustuse ja etteande süsteem katlale	1		764 479
2.6.2	Biomassi kolle (keevkihtkolle) kokku	1		1 794 696
2.6.2.1	Kolde komplekt	1		1 663 426
2.6.2.2	Põlemisõhk ja gaaside retsirkulatsioon	1		131 269
2.6.3	Veekatel ja süsteem kokku	1		2 932 748
2.6.3.1	Katel	1		1 458 294
2.6.3.2	Vee ökonomaiser	1		269 938
2.6.3.3	Vesi/vesi soojusvaheti	1		60 413
2.6.3.4	Liiva mahuti ja liiva toitesüsteem	1		50 661
2.6.3.5	Tsirkulatsiooni pumbad	2		99 525
2.6.3.6	Toite ja dreanaazpump	1		4 758
2.6.3.7	Vee kogumismahuti	1		71 343
2.6.3.8	Ventüürid, sübrid jm. armatuur	1		123 715
2.6.3.9	Kogu katlamaja torustik	1		468 813
2.6.3.10	Isolatsioon	1		179 843
2.6.3.11	Põlemisõhu eelsoojendi	1		145 446
2.7	Suitsugaaside puhastus kokku			2 752 907
2.7.1	Lendtuha filter	1		211 477
2.7.2	Elektrifilter kahe väljaga	1		700 500
2.7.3	Suitsugaaside kondensor (pesur)	1		1 225 000
2.7.4	Kondensaadi keemiline käsitus	1		107 487
2.7.5	Kondensaadi sette käsitus	1		54 127
2.7.6	Suitsuimeja ventilaatorid	2		130 218
2.7.7	Gaasikäigud			184 194
2.7.8	gaasikäikude isolatsioon			139 904
2.8	Automaatne tuhaeraldus kokku			201 439
2.8.1	Tuha eemaldus kolde alt	1		109 547
2.8.2	Lendtuha eemaldus tuhapiidjast	1		70 975
2.8.3	Tuha hoidla (konteinerid)	2		20 918
2.9	Teraskonstruksioonid (sh.platvormid, toed, redelid)			570 083
	Lisanduvad ehituskulud			
3	Kuumavee süsteem kokku		4,5	694 694
3.1	Soojusvahetid ja mahutid			28 461
3.2	Dreanaazvete käsitus			8 835
3.3	Metalltorustikud ja lisaseadmed			126 575
3.4	Põhilised lisaseadmed			63 579
3.5	Armatuur ja kinnitused soojatootmiseks			136 608
3.6	Pumbad			60 312
3.7	Jaotlad ja dearatsioon			7 715
3.8	Paisumisseadmed			11 499
3.9	Mõõte- ja reguleerseadmed			65 579
3.10	Tugistruktuurid, väravad, restid, võred, katted			41 905
3.11	Soojusisolatsioon			134 461
3.12	Mõõte- ja reguleerseadmed - välised seadmed			9 165
4	Ehitised, üldehitustööd kokku		11,0	1 696 852
4.1	Katlamaja koos vundamendi ja pinna ettevalmistus	1		948 537
4.2	Biokütuse lahoone rajamine	1		346 371
4.3	Muud ehitised	1		248 293
4.4	Ehituse sisene elekter, vesi, kanal, soojus, side	1		153 652
5	Muud kulud kokku		11,8	1 821 098
5.1	Lisakütuse skeem (õli, gaas)	1		16 762
5.2	Kütuse ladu, kütuse sõelumise seadmed ja autokaal	1		1 462 730
5.3	Tsentraalne suruõhu süsteem	1		38 413
5.4	Korsten	1		184 016
5.5	Lülitamine võrkudega			113 765
5.6	Käivituspõleti	1		5 413
6	Elektriseadmed ja automaatika kokku		7,6	1 166 001
6.1	Lülitskilbid biomassi põletussüsteemile			391 373
6.2	Lülitskilbid kuumavee süsteemile			208 233
6.3	Juhtmestik			337 244
6.4	Automaatika süsteemid (kolde ja katla automaatika)			126 344
6.5	Protsessi automaatika visualiseerimine PC abil			35 619
6.6	Muud elektri ja automaatika seadmed			17 530
6.7	Avariiline väljalülitus	1		943
6.8	Kauglevi alarmsüsteem	1		2 619
6.9	UPS katkematu el. varustus, sh. 100KVA generaator	1		46 096

Eksperthinnang soojuste tootmiseks vajaliku katlamaja soetusmaksumuse, soojuste tootmise ehk katlamaja kasuteguri ja katlamaja tehnilise eluea kohta

Tabelis 2 toodud alajaotusi on lihtsustatud tabeli ülevaatlikumaks muutmise eesmärgil..

Nagu tabelist 2 nähtub, on selles ka maksumusi, mis on samad tabelis 1 toodud 50 MW katlamaja puhul (näiteks UPS seadmed) ega muutu proportsionaalselt katla soojusliku võimsusega.

Samuti võib tegelik eelarveline pakkumishind erineda lisanduvate ehituskulude osas, milline sõltub suuresti ehitajast. Siin on arvestatud Eesti ehitustööde maksumusi, sh mitte ainult ehitustöödel, vaid ka montaažil, isolatsioonitöödel, samuti teatavate seadmete, nagu korsten, pesur, elektrifilter, valmistamisel.

Tabelis 2 toodud soetusmaksumust saab hinnata installeeritava soojusvõimsuse ühikmaksumuse (miljonit €/MWs) või (miljonit EEK/MWs) põhjal. Selline meetod annab esialgse jämeda võrdleva hinnangu kõikidele energiaprojektidele.

Tabel 2 põhjal kujuneb 35 MWs katlamajale:

ühikmaksumuseks 439 389,9 €/MWs ehk 0,439 miljonit €/MWs
ehk 6,875 miljonit EEK/MWs.

Tulemustest näeme, et 35 MW katlamaja hinnatud ühikmaksumus on ligikaudu 20% kõrgem kui 50 MW katlamaja ühikmaksumus. Energeetikas valitseb reegel, et väiksemate võimsustega katelde soetusmaksumus ongi kõrgem võrreldes suuremate võimsustega, kuid siin on võimalik ka indikatiivse pakkumise mõningane ülehinnang.

3.1 Hinnangute kokkuvõte

1. Mõlema katlamaja hinnangus on arvestatud, et katlamaja rajatakse mõne olemasoleva katlamaja või likvideeritud katlamaja asemele. Reeglina seda tehakse, et suured tootmisvõimsused asuksid suurimate läbimõõtudega soojusvõrkude lähedal. See väldiks suure läbimõõduga ja kõrge maksumusega torustike rajamist. Seetõttu on eeldatud, et vajalikud ühendused olemasolevate insenerivõrkudega (ühendusteel, elekter, vesi, kanalisatsioon, soojus) teostatakse valdavalt katlamaja territooriumi piirides. Seega soetusmaksumus ei sisalda suurte ja ulatuslike ühendusvõrkude ja kommunikatsioonide rajamist.
2. Juhul, kui katlamaja rajatakse nn. „rohelisele väljale“ (*greenfield design*), tuleb kõik vastavad kommunikatsioonid ning võrgud rajada. Sellisel juhul suureneb investeeringu kogumaksumus, sõltuvalt ühendatavate kommunikatsioonide kaugusest ja nende rajamise raskusastmest. Selleks puhuks on pakutud välja hinnangulist ühikmaksumust 500 000-550 000 €/MWs. Samas tuleb aluseks võtta eelpoololevates tabelites 1 ja 2 toodud maksumused ca' 375 000 €/MW ja ca' 440 000 €/MW ning koostada lähtuvalt igast konkreetsest projektist analüüs, kui palju läheb maksma, kui toimub katlamaja rajamine nn „rohelisele väljale“. Sellised andmed on iga projekti juures olemas ning analüüsi käigus on võimalik elimineerida elektri jaama ühendamiseks – ehitamiseks mittevajalikud kulud nagu elektri liitumine elektritootmiseks, jm ning jätta maksumuses alles vaid need kulud, mis on seotud ainult soojuste tootmiseks vajaliku katlamaja rajamisega.

3. Mõlema katlamaja indikatiivses pakkumises on pakutud gaaside puhastuseks elektrifiltrit ning suitsugaaside pesurit, mis on mõlemad suhteliselt kulukad rajatised. Kuna keevkihtkatlal praktiliselt ei kandu põlemata kütuseosakesi gaasikäiku, siis piisaks gaaside puhastuseks ka tekstiil- ehk kottfiltreist. Kuid kaasaegsed kottfiltrid, kus on kasutatud kuumuskindlaid materjale (teflon, 250°C) tavalise materjali (Ryton, 170°C) asemel, ei ole enam elektrifiltreist odavamad. Kottfiltrite hooldus tuleb aga märksa kulukam, sest nende kotid vajavad väljavahetust iga 2-4 aasta järel. Kottide maksumus moodustab 20-30% kottifiltri koguhinnast, olenevalt materjalist. Muud käidukulud on elektrifiltritega võrreldavad, sest suurema takistuse tõttu vajavad kottfiltrid võimsamaid ventilaatoreid; elektrifiltritel on jälle otsene elektrikulu vastavalt suurem.

3.2 Hinnang, kas 35MW võimsusel restpõletustehnoloogia kasutamine võiks olla otstarbekam kui keevkihttehnoloogia

Kuigi restpõletustehnoloogiat on kasutatud ka palju suuremate võimsuste puhul, on sel puhul kasutatav kütus olnud väga homogeenne (st. ühtlase kütteväärtuse, niiskuse ja tüki suurusega), näiteks kivisüsi.

Eesti soodsaima hinnaga kütuste, hakkpuidu ja freesturba kasutamisel on mitmes mõttes eelistatum keevkihttehnoloogia kasutamine, millest 50 MW võimsuse kohta on põhjalikum analüüs toodud punktis 2.1. Analüüsis toodud järeldused sobivad ka 35 MW võimsuste kohta.

3.3 Hinnang vastavalt 50 MW ja 35 MW katlamaja kasutegurile ehk soojuste tootmise kasutegurile kütuse alumise kütteväärtuse juures, arvestamata suitsugaaside pesuriga toodetud soojust

Katlamaja kui terviku keskmine kasutegur sõltub kütuse põlemise kasutegurist katlas, soojuste tarbimisest katlamajas, sh. lisavee ettevalmistusele ning ruumide küttele, ning soojustekadudest abiseadmetes ning torustikes soojuste ülekandeks soojusvõrku (soojuste väljastamiseks).

3.3.1 Põlemise soojuskaod

Biokütuste põlemine

Biokütuses on 3 elementi, mille põlemisel eraldub soojus: süsinik C, vesinik H ja väävel

S. Elementide põlemisreaktsioonid :

- $C + O_2 \rightarrow CO_2 + \text{soojus}$
- $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + \text{soojus}$
- $S + O_2 \rightarrow SO_2 + \text{soojus}$
- Põlemiseks on vajalik õhuhapnik, põlemisproduktideks on süsihappegaas, veeaur ja vääveldioksiid .
- Vääveldioksiid SO_2 on väga ebasoovitav keskkonnamõjude ja korrosiooniohu tõttu. Õnneks on puidukütuses väävlit väga vähe. Eesti turbakütuses on aga väävel probleemiks (keskmiselt 0,4%).

Eksperthinnang soojuse tootmiseks vajaliku katlamaja soetusmaksumuse, soojuse tootmise ehk katlamaja kasuteguri ja katlamaja tehnilise eluea kohta

Põlemisõhu korralik reguleerimine vastavalt kütusele on tähtsamaid asjaolusid kõrge põlemiskasuteguri saavutamiseks:

Praktikas on suuri raskusi täiuslikku (stõhhiomeetrist, st. õhu ja kütuse täpset vastavust) saavutada, sest:

- Olukord põleti (gaasi, õli) või tahke kütuse resti puhul pole täiuslik ning võimatu on saavutada täpset süsiniku, vesiniku ja hapniku molekulide segunemist;
- Osa õhumolekulidest kombineeruvad lämmastikuga, eriti kõrgetel temperatuuridel, moodustades lämmastikoksiide (NO_x).

Õiget kütus/õhk suhet (koos vajaliku liigõhuga) püütakse saavutada mehhaaniliste vahenditega, näiteks tahke kütuse puhul õhusüsiibritega ja koldesse antava õhu rõhuga vastavalt katla koormusele (kütuse kogusele). Kütus/õhk suhted on eelnevalt välja arvutatud ja reguleerimisseadmed vastavalt kalibreeritud.

Kuid kõik mehhaanilised seadmed kuluvad, lisaks ei arvesta need süsteemid muutusi kütuse kütteväärtuses või niiskuses.

Suuremate katelde puhul kasutatakse kütus/õhk suhte kontrolliks jääkhapniku ning süsinikoksiidi CO mõõtmist heitgaasides, mille alusel korrigeeritakse koldesse antavat õhku.

Kasuteguri määramiseks koostatakse katla soojusbilanss, mis kujutab endast kütuse põlemisel vabanenud soojusenergia jaotust kasulikult kasutatud ja kadudena protsessist lahkunud soojushulkade vahel.

Kütusega koldesse sisestatud soojushulk jaotub protsessis sooja vee või auru tootmiseks ja mitmesugusteks soojuslikeks kadudeks.

- Soojuskadu heitgaaside füüsikalise soojusega;
- Soojuskadu keemiliselt mittetäielikust põlemisest, st. vingugaasi, süsivesinike jt. komponentide sisaldusest heitgaasides;
- Soojuskadu tuha ja lendtuhaga, sh. põlemata süsiniku kujul – mehhaaniliselt mittetäieliku põlemise kadu;
- Kütuse niiskusest tekkinud veeauru sisaldusest tingitud soojuskadu (st. vee aurustumisele ja veeauru ülekuumenemisele kulunud soojus). Seda arvestatakse siis, kui lähtutakse kütuse ülemisest (brutto) kütteväärtusest.

Põlemise kasutegur = 100 - summaarsed kaod protsentides.

Põlemise soojuskaod pole samad, mis katlamaja kaod, lisanduvad kaod näit. seadmete välisjahtumisest, teise katla kuumas reservis hoidmisest, pidevast läbipuhtest aurukatla puhul, jms.

Põlemisprotsessi efektiivsuse määramiseks tuleb määrata erinevad soojuskaod

- Valdava osa katla kadudest moodustavad kaod lahkuvate gaasidega, mis on määratavad gaaside mahu ning entalpia põhjal. Kuid mõlema täpne määramine on komplitseeritud ülesanne, mistõttu lihtsustatult määratakse soojuskadusid mõõteriistadega heitgaaside analüüsi kaudu, kus fikseeritakse gaaside temperatuur, CO_2 või O_2 sisaldus ja CO sisaldus;
- Heitgaaside temperatuur iseloomustab kadu gaaside füüsikalise soojusega, mis on reeglina suurim kadu; see sõltub lisaks liigõhutegurist λ (või α), mis on määratud tegeliku ja põlemiseks teoreetiliselt vajaliku (stõhhiomeetrist) põlemisõhu suhtena.

Eksperthinnang soojuste tootmiseks vajaliku katlamaja soetusmaksumuse, soojuste tootmise ehk katlamaja kasuteguri ja katlamaja tehnilise eluea kohta

- $\lambda = \text{CO}_2^{\text{max}}/\text{CO}_2^{\text{mõõdetud}}$, Praktikas on CO_2 raske mõõta, mistõttu kasutatakse λ määramist hapnikusisalduse järgi : $\lambda = \text{O}_{2\text{max}}/(\text{O}_{2\text{max}}-\text{O}_{2\text{mõõdetud}})$
- Liigõhuteguri väärtus sõltub nii põletustehnoloogiast kui kütusest. Täieliku põlemise jaoks peab see alati olema suurem kui 1.
- Puit- ja turbakütusel (ja üldse restkoldega) on raske tagada põlemisõhu ühtlast jaotust kogu põlemissoonis, mistõttu liigõhutegur on sageli suurem 1,4-st. Vedel- ja gaasikütustel võib see olla aga 1,02-1,1.
- Keemiliselt mittetäielikust põlemisest saab teada CO (vingugaasi) sisalduse põhjal. Kõrge CO sisaldus (alates 0,5%) annab märku põlemata osakekestest (on näha ka tahmase suitsuna).

Liigõhu ja väärdõhu mõjust

- Katlast lahkuvate suitsugaaside maht sõltub kütuse põlevaine keemilisest koostisest, põlemisprotsessi sisestatud õhuhulgast (liigõhutegurist) koldes ja järgnevatel gaasikäikudes juurdeimeetud väärdõhu hulgest ja kütuse, õhu ning pihustusauruga sissetoodud niiskusest.
- Liig- ja väärdõhu mõju kadudele lahkuvate gaasidega käsitletakse tihti ekslikult vahetuna, proportsionaalsena tema hulga.
- Liigne õhk mõjutab küll oluliselt katla soojuslikku bilanssi, kuid läbi soojusvahetuse probleemistiku. Liigne õhk tingib gaaside temperatuuri üldise vähenemise, millest tulenevalt väheneb temperatuuri diferents gaaside ja soojusvahetuspinna vahel, mistõttu omakorda väheneb küttepindade summaarne soojusvahetus. Seda soojusvoo vähenemist kompenseerib mõnevõrra soojusülekanne teguri paranemine gaaside kiiruse tõusu kaudu.
- Samas liiga suur gaaside liikumiskiirus tänu liigsele õhuhulgale viib selleni, et gaasid ei jõua ajaliselt endas sisalduvat soojushulka küttepindadele üle kanda.
- Liigse õhu mõju on seda tugevam, mida kõrgemas gaasitrakti temperatuuri piirkonda ta siseneb. Seetõttu püütakse juba põlemisprotsess ise organiseerida võimalikult stöhhiomeetrilisena, s.t. põletitesse või koldesse püütakse anda õhku põlemisreaktsioonide baasil teoreetiliselt arvutatud hulkades. Tegelikuses võib see aga olla raskendatud.
- Lisaks soojusülekanne tingimuste halvendamisele kaasneb liigse õhuhulga suurenemisega ka elektrienergia kulu kasv suitsuimeja ja õhuventilaatori koormuse suurenemise tõttu. Väärdõhu negatiivne mõju võib avalduda ka selles, et seoses suitsugaaside kiire lokaalse mahajahutamisega ei jõua gaasikäigus kohati kogu CO põleda CO_2 -ks.

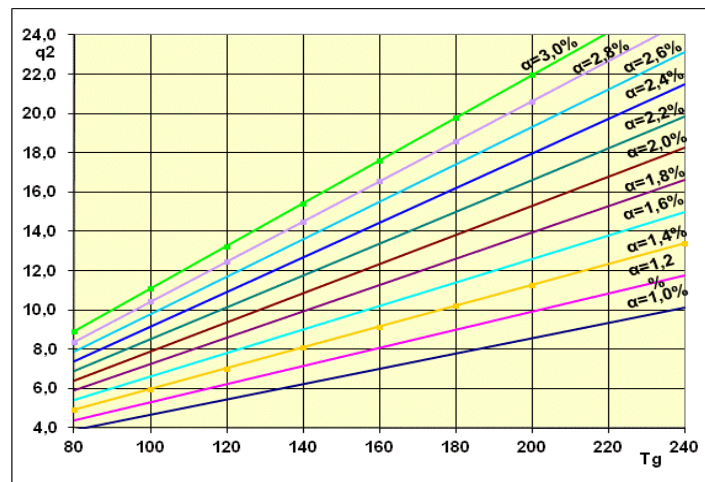
Hapnikusisaldus heitgaasides

Lisaks heitgaaside temperatuurile on hapnikusisaldus heitgaasides teine oluline näitaja, mida kasutatakse tänapäeval katla kasuteguri määramiseks. Hapnikusisaldus näitab, kas põlemisõhku on kütuse täielikuks põlemiseks piisavalt, liiga palju või liiga vähe. Teatavasti on õhus ligi 21% hapnikku. Olukord, kus heitgaasides on O_2 sisaldus 0, on teoreetiline (stöhhiomeetriline) põlemisolukord, mida on tegelikus katlas võimatu saavutada, ilma et sellega kaasneks osa kütuse keemiliselt mittetäielik põlemine. Reaalses katlas antakse põlemiseks liigõhku, mida iseloomustab liigõhu tegur. Liigõhu tegur 1,2-1,4 näitab, et põlemisõhku on 20-40% rohkem, kui teoreetiliselt vaja oleks. Parimates tahke kütuse kateldes

Ekspertninnang soojuse tootmiseks vajaliku katlamaja soetusmaksumuse, soojuse tootmise ehk katlamaja kasuteguri ja katlamaja tehnilise eluea kohta

on see tegur 1,15-1,3, mis tähendab, et heitgaasides on vastavalt 3,5-7% hapnikku, mis pole osalenud põlemises.

Toodud joonisel on põlemisreaktsioonide põhjal arvatud graafikud, kuidas mõjutab liigõhutegur α ja heitgaaside temperatuur soojuskao q_2 suurust.



Joonis 3 Soojuskadu q_2 (%) sõltuvust liigõhutegurist α ja heitgaaside temperatuurist T_g

Jooniselt nähtub, et liigõhutegur ja heitgaaside temperatuur mõjutavad soojuskadu oluliselt:

- Stõhhiomeetrilise ($\alpha=1$) gaaside koostise ja normaalniiskuse korral tõstab gaaside temperatuuri tõus 25 °C võrra kadusid lahkvate gaasidega umbes 1% võrra.
- Mida “lahjemad”, s.t. suurema liigõhuteguriga on gaasid, seda suurem on lahkvate gaaside temperatuuri mõju kadudele. Näiteks, liigõhuteguriga 2, põhjustab kadude 1%-lise muutuse juba gaaside temperatuuri muutus 10-12 °C võrra.
- Lahkvate gaaside niiskuse tõus tõstab temperatuuri mõju veel omakorda. Gaaside temperatuuri mõjutab katla koormus ja soojusvahetustingimused.
- Mida tugevamini on saastunud küttepinnad, mida paksem on katlakivi kiht torude sisepinnal, seda kõrgem on lahkvate gaaside temperatuur, seda suuremad on kaod lahkvate heitgaasidega.
- Mida madalam on katla koormus, seda madalam on lahkvate gaaside temperatuur.
- Heas korras katlas hea tahke kütuse korral on q_2 kaod gaasidega 8-15%. “Hõredates” ja halvasti organiseeritud põlemisega kateldes võivad kaod lahkvate gaasidega ulatuda 25%.

3.3.2 Soojuskadude liigitus

Soojuskadu heitgaasidega q_2

See on suurim kaoliik iga katla puhul, ning katla käitaja saab seda oluliselt vähendada. Kadu on seotud katlast lahkvate heitgaaside temperatuuriga: mida kõrgem gaaside temperatuur, seda väiksem katla kasutegur.

Liiga kuum heitgaas on põhjustatud:

- Katla põleti või kolle toodab rohkem soojust, kui kindla koormuse puhul on nõutav.
 - See tähendab, et katla kütuse etteande ja õhu hulga reguleerimine vajab hooldust ja ümber häälestamist.
- Katla küttepinnad ei toimi õieti ning soojus ei kandu katlaveele.
 - See tähendab, et soojusvahetuspinnad (küttepinnad) on saastunud ja vajavad puhastamist.

Siin on vaja ka ettevaatust - liiga külmade heitgaaside teket:

- Temperatuur katla lõppastme torustike pinnal võib alaneda alla kastepunkti ja võimalus suuremaks korrosiooniks on tekkinud tänu:
 - Lämmastikhappele (tänu õhu lämmastikule, mis osaleb põlemisel)
 - Väävelhappele (kui kütuses on väävlit)
 - Soolhappele (kui kütuses on kloori)
 - Veele

Kaad lahkvate gaasidega on katla konstruktsiooni “sisse projekteeritud”, seda kahest asjaolust lähtudes:

- Kütuste põletamisel piiravad lahkvate gaaside temperatuuri vähendamist kulutused suurematele küttepindadele;
- Teisalt piiravad ka küttepindade ja korstna korrosioon ning saastumine.

Muud kaod

- Kui lahkvate gaaside koostises on komponente, mis oleksid sobivates tingimustes võimelised edasi põlema (näiteks CO, H₂, CH₄), siis on tegemist kadudega keemiliselt mittetäielikust põlemisest **q3**.
- Arvestades CO kütteväärtuseks 12,7 MJ/m³ ja samuti asjaolu, et 1 kg süsiniku põlemisel tekib 1,866 m³ gaase, saab seda kadu arvestada CO mõõtmise abil.
- Keemiliselt mittetäieliku põlemise algallikateks on esmajoones hapniku puudus leegi tsoonis või õhu ja kütuse halb segunemine leegis. Kolmas võimalik põhjus on ebapiisav põlemisaeg. Põlemisaeg sõltub katla koormusest, mida suurem koormus, seda lühem põlemisaeg. Kui kollet forsseeritakse ülemäära, võib põlemisaeg osutada ebapiisavaks kütuse täielikuks põlemiseks.
- Kolde alakoormuse korral võib CO kontsentratsiooni tõusu põhjustajaks olla temperatuuri langus leegi piirkonnas. CO põlemiskiirus langeb suuresti temperatuuri langedes, mistõttu CO kontsentratsioon võib tõusta, olgugi et põlemisõhku on näilisest ülekülluses.
- Kui põlemise tahked jäägid, šlakk, tuhk, küttepindade sadestused või lendtuhk sisaldavad mittetäieliku põlemise produkte (põhiliselt tahma või põlemata süsiniku e. koksina), siis on tegemist mehaaniliselt mittetäieliku põlemise kaoga **q4**. Seda mõjutavad kütuse niiskus, resti liikumiskiirus, primaar/sekundaarõhu vahekord, kütusekihi paksus, põlemise reguleerimiskvaliteet. q4 on piirides **0,5-6%**.
- **q5**- välisjahtumiskadu on suurtel moodsael kateldel **0,2-0,3%**, väikestel ja vanadel kuni 3%. Oluline on, et jahtumiskadu ei sõltu koormusest; kui nominaalkoormusel on see näit. 2%, siis 25% koormuse puhul juba 8%. Teisalt see kompenseerib katlamaja küttevajadust ning osaliselt läheb põlemisõhu soojuse kaudu katlasse tagasi, kui õhku võetakse katlamaja ülaosast.
- Muud kaod esinevad näiteks šlaki füüsikalise soojusena **q6**, seoses katla tiheda käivituse ja seiskamisega ka **q7**, kuid neid lähemalt ei vaatle.

3.3.3 Kuidas vähendada soojuskadusid

- Üldreegel: primaarõhuga reguleeritakse katla koormust, sekundaarõhuga põlemise kvaliteeti (primaarõhk resti alla toimib alati nii, et protsess toimub vaegõhuga ja (eriti paksus kihis) tekkiv CO vajab põlemiseks lisaõhku);

Ekspert hinnang soojuse tootmiseks vajaliku katlamaja soetusmaksumuse, soojuse tootmise ehk katlamaja kasuteguri ja katlamaja tehnilise eluea kohta

- Normaalne põlemis skeem toimib stabiilselt ainult senikaua, kuni koldes eraldunud soojushulk ja resti liikumiskiirus on omavahel tasakaalus. Äärmistel juhtudel, kas ei põle kütus täielikult või kandub põlemine kütuse sөөtja kaudu kulupunkrisse.
- Resti töökoormust ei ole võimalik väga suurtes piirides reguleerida, samuti ei tohi suurtes piirides varieeruda kütuse kvaliteet. See ei kehti keevkihtpõletuse kohta;
- Üheks reguleerimisvõimaluseks on põlemisõhu eelsoojendus, mida antakse kütuse kuivamise tsoonis resti alla; intensiivse põlemise tsoonis tuleb aga resti alla anda külma õhku;

3.3.4 Põlemisprotsessi efektiivsuse tõstmine

Tehnoloogilised abinõud

Seadusandluse surve heitmete piiramiseks, efektiivseima põletamise vajadus ja arvutustehnika areng on viinud tuntavale arengule katlaehituses, sh. kolde ja põlemisprotsessi osas.

Kaasaegsetes kateldes on tagatud:

- Suitsugaaside retsirkulatsioon tagamaks optimaalset põlemist minimaalse liigõhuga.
- Keeruline elektroonilise kontrolli süsteem, mis kontrollib heitgaaside koostist ning reguleerib kütuse ja õhu kulusid, tagamaks kindlaid väärtusi (O₂, CO₂ ja CO).
- Tunduvalt laienenud koormusmäär (maksimaalse ja minimaalse koormuse vahe), mis võimaldab tagada kõrget kasutegurit ja madalaid heitmeid kõikidel koormustel.

Põlemisprotsessi reguleerimine

Põlemisprotsessi reguleerimise ja kontrolli eesmärgiks on tagada selline katla töö režiim, mille tulemusena:

- ✓ soojusenergeetilised kaod oleksid minimaalsed,
- ✓ puuduks katla soojusvahetuspinde korrosioon ja saastumine ;
- ✓ oleks välditud keskkonnale kahjulike komponentide ülemäärane emissioon.
- Soojuskadude minimeerimisel otsitakse põlemisrežiimi optimumi kolme kaoliigi vahel:
- Mida väiksem on liigõhutegur, seda väiksemad on kaod lahkvate heitgaasidega. See nõuab režiimikaarti, sellest kinnipidamist ja gaasianalüüsi (äärmisel juhul suitsu värvi jälgimist). Moodsatel kateldel tagab õige kütus/õhk vahekorra automaatika ja arvutijuhtimine.
- Ka korrosiooni ja saastumist vähendavad just liigõhuteguri sellised väärtused, mille puhul on mittetäieliku põlemiseprodukte suitsugaasides minimaalselt.
- Suitsugaaside temperatuuri langemine võib esile kutsuda happe- või vee kastetäpi suitsugaasides või soojusvahetuspinna piirikihis, mille tulemusena hakkab lendtuhk intensiivselt kleepuma küttepindele ja metall võib osutada allutatuks happekorrosioonile.
- Vähendada väärohu sisseimbumist, tehes selle eelnevalt kindlaks lihtsa surve katsega.

Põlemisprotsessi efektiivsuse tõstmine annab suurt majanduslikku kasu

Kui puidukütuse kasutamine aastas on 50 000 tonni:

- Arvestades 3,0 MWh/t teeb see kütuse primaarenergiaks 150 000 MWh;
- Arvestades puidu hinnaks 15,4 €/MWh, annab 1% kasuteguri tõusu kütuse kokkuhoiuks rahalises väljenduses 23 100 €/a;
- Võimalused kasuteguri tõusuks on tõenäoliselt igas katlamajas suuremad kui 1%. Need võimalused tuleb kindlaks määrata ja neid igapäevases töös rakendada.

3.4 Kasuteguri määramine

Olemasoleva katla (katlamaja) puhul saab kasutada kahte meetodit:

3.4.1 Sisend/väljund meetod

See on lihtsaim meetod ja põhineb tegelikul katla tööol. Meetodi puhul arvutatakse kasutegur järgmiselt:

$$100 \times \text{katlast väljastatud soojushulk/katlasse antud soojushulk} [\%]$$

Seda võib laiendada ka katlamajale:

$$100 \times \text{katlamajast väljastatud soojushulk/katlasse antud soojushulk} [\%]$$

Oluline on, et mõlemad suurused, nii toodetud kui kütusega katlasse antud soojushulk on väljendatud energiaühikus ning et nii kütus kui soojushulgad on korrektselt mõõdetud. Tahke kütuse puhul tekib siin probleeme, sest ei piisa vaid kütuse kogustest, vaja on teada ka kütuse niiskust ja kütteväärtust. Kuna kütteväärtust pidevalt ei mõõdata, võib see meetod anda parima tulemuse pikema perioodi jooksul.

3.4.2 Soojusbilansi (kadude) meetod

Selle puhul arvestatakse kõiki katla soojuskadusid ning lahutatakse nende väärtused 100 protsendist. Olulisemad on siinjuures kaod heitgaasidega ning jahtumiskaod soojuskiirguse ning konvektsiooniga. Sisuliselt hõlmab see ülaltoodud kadusid q₂ kuni q₇, eriti aga q₂ ja q₅. Siinjuures pole q₂ määramine lihtne ülesanne. Selleks on vaja korrektsed mõõteandmeid (heitgaaside temperatuur, hapniku (või CO₂) ning CO sisaldus, põlemisõhu temperatuur, rõhk ja niiskus), ning algandmeid (kütuse keemiline koostis, kaaluline koostis, kütteväärtus), mille põhjal arvutatakse kütuse põlemiseks vajalik stöhhiomeetriline hapniku vajadus, kütuse tarbimine vastavalt põletusviisile, liigõhutegur, heitgaaside temperatuur, hulk ja soojussisaldus ning selle põhjal soojuskadu.

Ka see meetod eeldab küllaldaselt täpseid andmeid kasutatava kütuse kohta, mistõttu muutuva kütteväärtusega ja niiskusega kütuste nagu hakkpuidu puhul võib tekkida raskusi. Tavaliselt kasutatakse siis paljude kütusepartiide keskmisi väärtusi.

3.4.3 Kasutegur uue katla hankimise puhul

Käesolevas töös on tegu uue katla eeldatava pakkumisega, mistõttu ülaltoodud kasuteguri arvutused ei sobi.

Uue katla puhul on katla kasuteguri suurus üheks pakkumiskonkursi tingimuseks ning oluliseks võrdlusnäitajaks, mille põhjal lõplik otsus ühe või teise katla pakkuja kasuks otsustatakse. Tavaliselt teostatakse katla käivitusperioodil proovikatsetused, selgitamaks tegeliku kasuteguri vastavust pakutule. Pakutust madalama tulemuse korral võib tellija piirata viimaseid väljamakseid (olenevalt tarnelepingust).

Käesoleva indikatiivse pakkumise puhul on pakutud keevkihtkatla kasuteguriks **89%**. Seda nii 35 kui 50 MW katla puhul. Kasutegur antakse nimikoormuse puhuks, kuid tänu keevkihtkatla põlemisprotsessi heale reguleeritavusele muutub kasutegur madalamatel koormustel vaid välisjahtumiskao **q₅** tõttu, mis teatavasti on koormusest sõltumatu. Kuna see oli 0,2-0,3%, siis võime valida keskmiseks 0,25%. Sel juhul oleks katla kogukasutegur minimaalsel 30% koormusel ca **88,5%**.

Seda tuleb arvestada, kui meil on teada, millise koormusega töötab katel läbi aasta.

Eksperthinnang soojuse tootmiseks vajaliku katlamaja soetusmaksumuse, soojuse tootmise ehk katlamaja kasuteguri ja katlamaja tehnilise eluea kohta

See näitab, et suurima efektiivsusega tööks peab katel töötama võimalikult nimikoormuse lähedal suurema osa aastast. Samuti omama minimaalselt seisakuid ehk avariilukordi. Iga mitteplaanitud seisak vähendab üldist keskmist kasutegurit. Eriti tahke kütuse katla sissekütmine võtab mitmeid tunde, kus kulub küll kütust kuid toodangut pole.

3.4.4 Katlamaja kasutegur

Katla vesi/soojusvõrk soojusvaheti puhul tehakse vahet soojusvahetuse efektiivsuse ja kasuteguri vahel. Soojusvaheti efektiivsus näitab, kui palju primaarsest soojushulgast antakse tegelikult üle sekundaarsele soojuskandjale. Soojusvaheti saastumise tõttu võib see ülekantav soojushulk väheneda, st. soojusvaheti võimsuse vähenemist.

Juhul kui soojendav keskkond pärast soojusvahetit ei ole kasutatav, võib rääkida soojusvaheti kasutegurist. See on võimsate korpus/torupakett tüüpi soojusvaheteil 85-87%. Ligi 5 korda väiksema gabariidiga kaasaegsete plaatsoojusvahetite puhul on kasutegur vähemalt 95%.

Kuid katlavee retsirkulatsiooni ja soojusvõrgu vahelise vesi/vesi soojusvaheti ning ühendustorustiku kasuteguri võime võtta ligi **99%**, sest ei soojendav keskkond (katlaringi vesi) ega soojendatav keskkond (soojusvõrk) ei kaota soojusvahetuses oluliselt soojust. Sest soojusvahetist väljuv primaarne soojuskandja läheb katlaringi tagasi ning sekundaarringist saadav soojushulk läheb soojusvõrgu kaudu tarbijatele. Ainsa kaona võime arvestada jahtumiskadu, mille suurus üldjuhul ei sõltu koormusest. Seetõttu kao väärtus madalal koormusel on protsentuaalselt suurem, samuti nagu katla jahtumiskao puhulgi. Minimaalkoormusel võime lugeda ühendustorustiku ja soojusvaheti jahtumiskaoks niisiis 97%.

Siinjuures on arvestatud, et ka katlamaja olmeruumide kütteks ja soojavee varustuseks vajalik soojus (max ca 20kW) mahub torustiku soojuskadude sisse.

Kogu katlamaja kasutegur on siis **88,11%** nominaalkoormusel ja **85,85%** minimaalsel koormusel.

Tegelik aasta keskmine katlamaja kasutegur leitakse kaugkütte piirkonna koormusgraafiku alusel. Lihtsaim on leida katlamaja kaalutud keskmine võimsus (arvestades suvist madalat koormust ning aastaseid töötunde), ning selle alusel arvutada aasta keskmine kasutegur. Seejuures jäävad arvestamata katlamaja võimalikud seisakud.

4 Eksperthinnang 50 MW katlamaja maksumuse kohta, arvestades, et see rajatakse mitte olemasoleva katlamaja lisana, vaid tühjale territooriumile

Siinjuures võetakse arvesse vajalikke lisakulutusi: territooriumi ettevalmistust, liitumist soojusvõrguga, liitumist katlamaja vajadust arvestades elektrivõrguga, liitumist gaasivõrguga või kerge kütteõli mahuti rajamist stardikütuse varustuseks, kütuselao territooriumi rajamiseks jm vajalikeks kommunikatsioonideks.

Tabel 3. 50 MW katlamaja hinnanguline kogumaksumus, rajatuna tühjale väljale

Veekuumuskatlaga 50 MW katlamaja ehitus	EUR
Kokku kõik senised kulud	18 719 605
<i>Lisanduvad kulud</i>	
Kaugküttetorustiku projekteerimine ja ehitus	2 772 618
Sadevete betoonist kogumismahuti	205 446
Kaaluseadme vundament kütuse lao territooriumil	28 167
Kerge kütteõli laadimise vastuvõtusõlme rajamine	92 328
Asfalteeritud pind katlamaja ümbruses ja hakkelaos	651 141
Territooriumi tagasitāide ja haljastus	186 271
Piirdeaed, väravad, pääsla parkla jms	72 285
Liitumine veevõrguga, järelevalve ja ehitus	895 804
Territooriumi kaabeldus, andmeside, valgustus jms	223 731
Katlamaja ühendusteed	476 256
Elektrivarustuse keskpinge jaotusvõrk, liitumine, ehitus	474 246
Kokku	6 078 294
Kogu katlamaja maksumus	24 797 899

Tabel 3 põhjal kujuneb tühjale väljale rajatud katlamaja puhul 50 MW-lise katlamaja ühikmaksumuseks ligi 500 000 €/MW.

Tabelis 3 on siin üsna palju sellist, mis nõuab täpsustamist, kui läheb tegelikuks katlamaja ehituseks. Kõik sõltub sellest, kui kaugel katlamajast asub piisava läbimõõduga soojusvõrk, kui kaugel elektrivõrgu ühendus, kui kaugel veevõrk, kui kaugel on ühendusteed, kui suur territoorium on vajalik kütuselaoks, kui kaugel on gaasivõrk jne. Siin on eeldatud, et gaasivõrk on liiga kaugel, mistõttu on arvestatud käivituskütuseks kerget kütteõli. Samuti vajalikuks kütuseks reservtoite diisलगeneraatorile.

Tabelis 3 on toodud nn keskmise näidisprojekti rajamisega seotud kulud. Lähtuvalt igast konkreetsest projektist tuleb läbi viia elektri jaama rajamise tegelikele andmetele põhinev analüüs. Eelpoolnimetatud andmed on iga projekti juures olemas ning analüüsi käigus on võimalik elimineerida elektri jaama ühendamiseks – ehitamiseks mittevajalikud kulud nagu elektri liitumine elektritootmiseks, jm ning jätta maksumuses alles vaid need kulud, mis on seotud ainult soojuse tootmiseks vajaliku katlamaja rajamisega.

5 Ekspert hinnang 35 MW katlamaja maksumuse kohta, arvestades, et see rajatakse mitte olemasoleva katlamaja lisana, vaid tühjale territooriumile

Ka siin arvestame vajalikke lisakulutusi: territooriumi ettevalmistust, liitumist soojusvõrguga, liitumist katlamaja vajadust arvestades elektrivõrguga, liitumist gaasivõrguga või kerge kütteõli mahuti rajamist stardikütuse varustuseks jm. vajalikeks kommunikatsioonideks.

Tabel 4. 35 MW katlamaja hinnanguline kogumaksumus, rajatuna tühjale väljale

Veekuumutuskatlaga 35MW katlamaja ehitus	EUR
Kokku kõik senised kulud	15 378 646
<i>Lisanduvad kulud</i>	
Kaugküttetorustiku projekteerimine ja ehitus	2 190 000
Välistrasside elektrisoojendus	64 660
Ehitusplatsi viimistlustööd + pinnaseuuringud	457 491
Maagaasi torustik + liitumistasu, AS Eesti Gaas	44 413
Juurdepääsute ehituskulud	160 898
Liitumistasu AS Elering + madalpinge ühendus	1 005 000
Sideliinide liitumistasud	4 868
Liitumine veevõrguga	32 656
Rajatise elektripaigaldised: valgustite postid, piksekaitse	23 130
Laadimisseadmed: Traktor Volvo L30B	84 281
Ilmajaam	10 723
Kokku	4 078 121
Kogu katlamaja maksumus	19 456 767

Tabel 4 põhjal kujuneb tühjale väljale rajatud katlamaja puhul 35 MW-lise katlamaja ühikmaksumuseks 555 000 €/MW. Siin tuleb ühikmaksumus kõrgem, kui 50 MW katlamaja puhul.

Tabelis 4 on samuti palju sellist, mis nõuab täpsustamist, kui läheb tegelikult katlamaja ehituseks. Kõik sõltub sellest, kui kaugel katlamajast asub piisava läbimõõduga soojusvõrk, kui kaugel elektrivõrgu ühendus, kui kaugel veevõrk, kui kaugel on gaasivõrk, kui kaugel on ühendused, kui suur territoorium on vajalik kütuselaoks, jne.

Sageli ei rajatagi näiteks soojusvõrk vastavalt projekteeritud katla võimsusele, vaid arvestatakse tulevikus katlamaja laiendamise, seoses uute linnaosade rajamisega lähikonnas. Need asjaolud võivad oluliselt mõjutada projekti soetusmaksumust.

Tabelis 4 on toodud nn keskmise näidisprojekti rajamisega seotud kulud. Lähtuvalt igast konkreetsest projektist tuleb läbi viia elektriijaama rajamise tegelikele andmetele põhinev analüüs. Eelpoolnimetatud andmed on iga projekti juures olemas ning analüüsi käigus on võimalik elimineerida elektriijaama ühendamiseks – ehitamiseks mittevajalikud kulud nagu

Eksperthinnang soojuse tootmiseks vajaliku katlamaja soetusmaksumuse, soojuse tootmise ehk katlamaja kasuteguri ja katlamaja tehnilise eluea kohta

elektri liitumine elektritootmiseks, jm. ning jätta maksumuses alles vaid need kulud, mis on seotud ainult soojuse tootmiseks vajaliku katlamaja rajamisega.

6 Hinnang katlamaja tehnilisele (mitte majanduslikule) elueale. Kui kaua saab nimetatud katlamaja tehniliselt (aastad) töötada, arvestades korralikku eksplua- teerimist, õigeaegset hoolduse ja remondi teostamist, hoolsat ekspluatatsioonijuhise järgmist, jm heaperemehelikku hooldust

Katlamaja tehniline eluiga sõltub kõige rohkem põhiseadme ehk katla tehnilisest elueast. Kõik muud katlamaja süsteemid on suhteliselt lihtsamini remonditavad ning võivad kesta ka siis, kui katel vajab väljavahetust. Seetõttu vaatame põhilisi võimalikke häireid keevkihtkatla töös.

Keevkihtkatelde vanematel mudelitel kasutati kuumuskindlate tellistega kaetud tuhaeralduse tsüklon-separaatoreid. Kuumuskindla materjali praod ja eriti allalangemine tsüklonite laest oli neil suureks probleemiks ja põhjustas ca 20% kõigest katla sundseisakuist, keskmiselt 56 seisakutundi aastas. Raske kuumuskindel kiht vajab ka plaaniliste seisakute perioodidel mahukat hooldust.

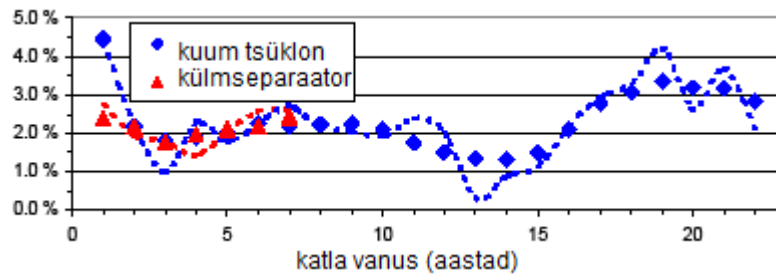
Need puudused viisid auru või vee abil jahutatavate tsükloniteni, mis on kaetud vaid suhteliselt õhukese valatud kuumuskindla kihiga, kaitsmaks pindu erosiooni (kulumise) vastu. Ka keevkihi liivakihi tugijalad ning kogu põhi on muutunud jahutatavaiks.

Aurukatelde puhul on viimastel keevkihtkatla mudelitel konvektiivse ülekuumendi kujundus ja paigutus samuti optimeeritud, tagamaks kiiremat teenindust ja vajadusel tervete torukimpude vahetust.

Normaalselt "hooldevabade" seadmete, nagu ventiilid, siibrid, pumbad hooldevõimalus võib olla otsustavaks kogu katlamaja töös avariiliste seisakute (väljavahetuste) vältimiseks, mida tuleb arvestada juba jaama projekteerimise faasis. Seda tehakse kaasajal 3D projekteerimisprogrammide abil, mis võimaldab virtuaalselt „käia ümber seadme“ ja leida kitsaskohad, mis võivad tekkida seadmetele juurdepääsu ja väljavahetuse tagamiseks. Koos hoolduse analüüsi meetodiga on see tunduvalt parandanud tavaliste seadmete hooldatavust, võrreldes traditsioonilise projekteerimisega.

Keevkihtkatla töökindluse puhul võib eristada varajast nn „hambavahetuse“ faasi, mis kestab esimesed 2-3 aastat. Sellele järgneb nn. „stabiilne töökindluse“ periood, mille järel töökindlus hakkab vähenema, sest seadmed hakkavad „ära kuluma“ koos katla vananemisega. Statistika põhjal ilmnevad esimesed märgid kogu katla töökindluse vähenemisest 15-17 aasta vanuselt, nagu nähtub jooniselt 4 lendtuha separeerimise tsüklonite kohta.

Eksperthinnang soojuse tootmiseks vajaliku katlamaja soetusmaksumuse, soojuse tootmise ehk katlamaja kasuteguri ja katlamaja tehnilise eluea kohta



Joonis 4 Katla töökindluse vähenemine (%) sõltuvalt katla vanusest ja tsükloni tüübist

Keevkihtkatla töökindlus hakkab vähenema järgmistel põhjustel:

- Aja jooksul mõned seadmed või struktuurid kuldavad erosiooni, korrosiooni, abrasiiooni või mõne teise aeglaselt süveneva defekti tõttu. Tavaliselt on neiks ökonomaiseri ja kolde seina torustike erosioon, elektrifiltri plaatide korrosioon ning süvenevad erosioonidefektid kütuse toitekanaleis, tuha ja liiva süsteemides ja primaarõhu düüsidest liivakihi all.
- Seadmed, mis töötavad mehhaaniliste ja termiliste tsükliliste koormustega, hakkavad mõranema ja pragunema, kuna materjali vastupidavus tsüklitele ammendub. Mehhaanilise koormustsükli mõju on eriti tuntav ventilaatorite tiivikute puhul, mis hakkavad purunema 18-20 aastase käidu järel. Termilised tsüklid suurendavad katlatorustiku vigastusi põlemisgaasidega kokkupuutel katlakäikude lõpuosas (ökonomaiseri ja õhu eelsoojendi).
- Elektriseadmed omavad tavaliselt võrdselt jaotunud eluiga, kuid suurte elektrisüsteemide puhul, nagu ventilaatorite ja pumpade sagedusmuundurid, hakkab vanus tunda andma 15-18 aasta käidu järel tänu tolmu, liigse kuumuse, niiskuse või muude tingimuste mõjule, mis lühendavad elektriseadmete komponentide eluiga.

Sagedasemad avariilukorrad põhjustavad ebanormaalseid käiduolukordi, nagu kiired põhiseadmete mahakoormamised ja seisakud suurte dünaamiliste muutustega, mis omakorda kiirendavad teiste põhiseadmete, eelkõige survetorustike metalli vananemist.

Kuidas pikendada eluiga

Katla käidu varasemas faasis, kui enamik seadmeist on uus ja heas korras, on hooldus valdavalt proaktiivne, kas ajapõhine või olukorra põhine. Mõne seadme puhul võib valikuline hooldusstrateegia olla ka reaktiivne (st. parandust siis, kui viga juba käes), samas kui teisi seadmeid hooldatakse kas ajagraafiku või lihtsa olukorra mõõdistamise abil, näiteks mõõtes laagrite vibratsiooni.

Katla vananedes tuleb kogu hooldusstrateegia ümber hinnata, juhul kui:

- Seadmetiku avariilisus on suurenenud;
- Kui visuaalsel vaatlusel on selged ilmingud kulumisest;
- Kui inspeksioonil osutub seadmete olukord halvemaks kui enne;
- Kui sisendite (kütuse, vee, elektri) tarve on oluliselt kasvanud;

Ümberhinnang tuleb teostada individuaalselt igale seadmele. See nõuab küll suurt tööd, kuid tasub end ära kogu katla töökindluse säilitamise kaudu.

Eksperthinnang soojuse tootmiseks vajaliku katlamaja soetusmaksumuse, soojuse tootmise ehk katlamaja kasuteguri ja katlamaja tehnilise eluea kohta

Kui ebakriitiliste seadmete hooldus, mille vahetus käib lihtsalt ja odavalt, võib jääda reaktiivseks, siis kriitiliste seadmete puhul, mille väljalangemine nõuab seadme või kogu katla seisakut, on vajalik hooldusstrateegia ümberhindlus.

Kõige kriitilisemate komponentide (katla survetorustik) hooldus kasvab, sest võimalus torustiku vigastuseks suureneb vanusega. Praktikas tähendab see seadmete käitumise pidevat seiret, isegi siis kui torustiku metalli uuringuid ei tehta sagedamini kui katla varasemas elueas. See tähendab ennetava hoolduse vajadust. Selle asemel, et vahetada survetorustiku osad, kui toru seina paksus on langenud alla väljavahetuspiiri, või parandada lekkiv koht, on ennetav strateegia suunatud prognoosile, millal tuleks teatavad torustiku osad välja vahetada. Sel juhul toimuks kogu operatsioon ettevalmistatult ning võimalikult katla plaanilise hooldusseisaku ajal.

Arvestades korralikku eksploateerimist, õigeaegset hoolduse ja remondi teostamist, hoolsat eksploatatsioonijuhiste järgmist ja heaperemehelikku hooldust kogu tööperioodi jooksul, võib keevkihtkatla ning katlamaja tehniliseks elueaks lugeda keskmiselt **25 aastat**.

7 Kasutatud kirjandus

1. Bubbling Fluidized Bed or Stoker — Which is the Right Choice for Your Renewable Energy Project? J.P. DeFusco, P.A. McKenzie and M.D. Fick The Babcock & Wilcox Company, 2007
2. Fundamentals of Stoker Fired Boiler Design and Operation Presented at: CIBO Emission Controls Technology Conference July 15 - 17, 2002 By: Neil Johnson, Detroit Stoker Company and SFT, Inc. Retired
3. RELIABILITY AND MAINTENANCE IMPROVEMENTS IN LATEST GENERATION FLUIDIZED-BED BOILERS Eero Hälikkä Foster Wheeler Energia OyFinland
4. Heat Exchanger Efficiency, Ahmad Fakheri, Professor, Department of Mechanical Engineering, Bradley University, 2007
5. National Board Synopsis of Boiler and Pressure Vessel Laws, Rules and Regulations, USA, 2012.