



KOTIMAISTA POLTTOAINETTA KÄYTTÄVIEN 0,5...30 MW KATTILALAITOSTEN TEKNISET RATKAISUT SEKÄ PALAMISEN HALLINTA



Tiivistelmä

Raportissa arvioidaan kiinteitä kotimaisia polttoaineita (kpa) käyttävien 0,5...30 MW kattiloiden teknisiä laatutavoitteita ja taloudellisen kannattavuuden perusteita. Ensisijaisesti tarkastellaan erillisiä 0,5...5 MW tehoalueen laitoksia. Lähtökohtana on parhaan käyttökelpoisen tekniikan (BAT) soveltaminen sekä lakien ja ohjeiden noudattaminen, unohtamatta omaehtoisia pyrkimyksiä toimintojen laadun parantamiseksi. Suositukset ja tavoitearvot koskevat uusia laitoksia.

Päästöraja-arvot ja niiden kattavuus muuttuivat asetuksen 445/2010 myötä paljon. ”Harmaaksi alueeksi” jäivät yksittäiset polttoaineteholtaan alle 5 MW kattilat, joille ei ole säädetty yleisiä sitovia päästörajoja. Tähän teholuokkaan on tullut uusia toimijoita, kuten laitteiden ja käyttöpalvelujen toimittajia. Tätä aihetta tarkastellaan teknis-taloudellisten ja ympäristökysymysten valossa.

Teknisen kehityksen vaikutus toimialaan on ollut suuri ja moniulotteinen. Parantunut automaatio ja etäkäytön yleistymisen ovat pienentäneet laitosten käyttökustannuksia, mutta samalla etäännyttäneet käyttäjiä laitosten käyttötekniikan kunnossapidosta. Poltto- ja säätötekniikan kehittymisen ansiosta palamisen hallinta on tehostunut ja mahdollistanut päästöraja-arvojen tiukentamisen ilman kohtuuttomia kustannuksia. Palamisen hallinta osana laitoksen normaalia käyttöä on ensiarvoisen tärkeää, kun vaatimuksena on päästöjen alhaisuus kaikissa tilanteissa. Parantunut puhdistustekniikka on nostanut esiin monia uusia kysymyksiä. Savukaasupesurien yleistymisen on parantanut laitosten energiatehokkuutta ja pienentänyt suoria savukaasupäästöjä ilmaan. Kääntöpuolena ovat lauhdeveden ja tuhkalietteen käsittelyn hoitaminen. Käyttöturvallisuuteen liittyy samantyyppisiä etu- haitta näkökulmia.

Teknisten arvioiden perusteella 0,5...5 MW erilliskattiloihin voidaan soveltaa asetuksen 445/2010 rinnakkaiskattiloita koskevia päästörajoja ja muita tarkkailuun ja raportointiin kuuluvia käytäntöjä. Hiukkasten ja typen oksidien osalta suomalaiset päästöraja-arvot ovat sopuissa Keski-Euroopan maiden kanssa. Olennaisinta on toteuttaa ne käytännössä.

Alkusanat

Työn tilasivat Energiateollisuus ry. ja Ympäristöministeriö (YM). Lähtökohtana oli korvata Lämpölaiteyhdistys ry:n suositukset H1/1985 ”Kotimaista polttoainetta käyttävien 1 – 10 MW kattilalaitosten tekniset ratkaisut” ja H6/1987 ”Kotimaista polttoainetta käyttävien 0,2 – 10 MW kattiloiden vastaanottokokeet”. Lisäksi tavoitteena oli antaa käytännön ohjeita laitosten päästöjen hallintaan siten, että alle 50 MW energiantuotantolaitoksia koskevan asetuksen 445/2010 vaatimukset täyttyisivät.

Yleisenä periaatteena laitosten hankinnassa ja käytössä on parhaan käyttökelpoisen tekniikan periaate. Automaatio, säätö- ja laitos- sekä polttoaineiden tuotantotekniikka ovat kehittyneet nopeasti, minkä ansiosta polttoainevalikoimaa on voitu laajentaa. Esimerkkeinä teknisestä kehityksestä ovat leijukerrospolton vakiintuminen yli 5 MW ja stokeripolton pienemmässä teholuokassa. Arinapolton tekninen kehitys on tehostanut kosteiden puupolttoaineiden käyttöä aiempaa pienemmässä teholuokassa.

Savukaasupesurien käytön yleistyminen on parantanut kokonaishyötysuhdetta ja vähentänyt päästöjä. Polttotekniikan osaamisen lisääntymisen myötä mahdollisuudet hallita päästöjä ovat monipuolistuneet. Jaksottaisen käytön valvonnan yleistyminen on parantanut laitosten kustannustehokkuutta, mutta samalla vähentänyt läsnäoloa laitoksilla ja lisännyt riippuvuutta tiedonsiirtoverkoista. Alalle on tullut uusia laitetoimittajia ja energian tuottajia.

Tähän suositukseen on koottu kotimaista polttoainetta (kpa) käyttävien 0,5...30 MW kattilalaitosten teknisiä ratkaisuja sekä toiminnallisia vaatimuksia. Suositus on laadittu siten, että sitä voitaisiin hyödyntää laitosta hankittaessa, kun kattilan mitoitusarvot, pääpolttoaine, polttotekniikka ym. perustiedot ovat tiedossa. Lähtökohtina ovat energian tuotannon varmuus, päästöjen hallinta ja taloudellinen kannattavuus.

Perusinvestoinnit ovat suuret, mistä syystä liiketoiminta on pitkäjänteistä ja hankintojen tulee olla teknisesti ja taloudellisesti kestäviä. Tuotekehitys on tervetullutta, uusinvestoinneissa ja saneerauksissa on hyödyllistä arvioida uusimman tekniikan käyttöönottoa.

Ensisijaisesti tarkastellaan erillisiä 0,5...5 MW tehoalueen kattiloita. Päästöjen tavoitetasojen osalta arvioidaan, missä määrin tähän kokoluokkaan voidaan soveltaa asetuksen 445/2010 vaatimuksia (5...50 MW ja 1...5 rinnakkaiskattilat).

Suosituksen ovat laatineet erikoistutkijat Martti Flyktman, Risto Impola ja Veli Linna Teknologian tutkimuskeskuksesta (VTT). Tilaajien, Energiateollisuus ry:n ja Ympäristöministeriön (YM) puolelta työtä ovat valvoneet asiantuntija Matti Nuutila ja neuvotteleva virkamies Sirpa Salo-Asikainen. Työn tilaajien nimeämään ohjausryhmään kuului lisäksi ylitarkastaja Päivi Vilenius Hämeen elinkeino-, liikenne- ja elinkeinokeskuksesta (ELY-keskus).

Jyväskylässä 10.5.2012

Tekijät

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	1
Alkusanat.....	2
1 Johdanto.....	5
1.1 Soveltaminen	5
1.2 Lait, asetukset ja suositukset	5
1.3 Tekninen näkökulma.....	5
1.4 Päästöjen tarkastelun näkökulma	5
1.4.1 Suuresta häkäpitoisuudesta aiheutuvat päästöt.....	5
1.4.2 Hiukkaspäästöt	6
1.4.3 Rikkidioksidipäästöt	7
1.4.4 NO _x -päästöt	7
2 Tekniikkatarkastelu.....	7
2.1 Polttoaineet.....	7
2.1.1 Puu ja turve.....	7
2.1.2 Olki ja ruokohelpi	8
2.1.3 Standardit, laatuohjeet ja -suositukset	9
2.2 Polttoaineen käsittely	11
2.2.1 Polttoaineen vastaanotto ja varastointi	11
2.2.2 Purkaimet ja kuljettimet.....	13
2.2.3 Polttoainevalikoiman vaikutus laitevalintoihin.....	14
2.3 Polttotekniikat ja kattilat	15
2.3.1 Kerrosleijupolttto	15
2.3.2 Arina- ja stokeripolttto	16
2.3.3 Kaasutuspolttto	18
2.3.4 Kattilan lämpötila- ja painemitoitus.....	18
2.3.5 Hybridijärjestelmä, lämpöpumppu.....	19
2.3.6 Automaatio ja jaksottainen käytön valvonta	20
2.3.7 Savukaasujen puhdistimet	21
2.4 Paloturvallisuus.....	23
2.4.1 Häkäilmaisimet.....	24
2.4.2 Lämpöilmaisinkaapeli.....	25
2.4.3 Kipinäilmaisimet.....	26
3 Palamisen hallinta ja päästöt.....	26
3.1 PINO-normi.....	26
3.1.1 Käyttöparametrien yhteys päästöihin	26
3.1.2 Omaehtoinen tarkkailu ja dokumentointi	27
3.2 Päästöt ilmaan	27
3.2.1 Todelliset päästöt kenttäoloissa (CO, NO _x ja SO ₂)	28
3.2.2 Tekniikka- ja polttoainekohtaiset päästöraamit	28

3.2.3	Vertailu Keski-Euroopan maiden päästörajoihin	30
3.3	Sekundääriset päästöt	30
3.3.1	Tuhkan käsittely	30
3.3.2	Savukaasupesurien lauhdeveden käsittely	32
4	Kattiloiden tehokkuuden tunnusluvut	33
4.1	Palamisen puhtaus	33
4.2	Savukaasujen säätö- ja mitoitusarvojen suositukset	33
4.2.1	Savukaasun lämpötila ja happipitoisuus	33
4.2.2	Arinakuona ja lentopöly	34
4.2.3	Kattilan hyötysuhde	34
4.2.4	Polttoaineen kosteuden vaikutus kattilasta saatavaan tehoon	36
4.3	Yhteenvedo tarvittavasta automaatiosta	37
5	Yleiset suositukset laitosta hankittaessa	38
5.1	Valmistelu	38
5.1.1	Kpa-kattilan tehon mitoitus	39
5.1.2	Apukattiloiden mitoitus	40
5.1.3	Polttoaineen hankinta ja käyttöorganisaatio	40
5.1.4	Luvat ja ympäristövaatimukset	41
5.1.5	Laitoksen tekniset laatutavoitteet	41
5.1.6	Hankkeen kannattavuus	42
5.2	Tarjouskyselyt	42
5.2.1	Tarjouspyynnön tekninen osa	43
5.2.2	Tarjousten käsittely	44
5.2.3	Hankintasopimus	45
5.3	Vastaanotto- ja takuukokeet	45
5.3.1	Mittausstandardit	45
5.3.2	Savukaasujen hiukkaspitoisuuksien mittaus	45
5.3.3	Hyötysuhteen laskenta	46
5.3.4	Omakäytösähkön tehon määrittäminen	46
5.3.5	Pintalämpötilat	46
5.3.6	Melu	46
5.3.7	Raportointi	46
	Lähdeviitteet	47

1 Johdanto

1.1 Soveltaminen

Tätä suositusta sovelletaan 0,5...30 MW kpa-kattiloihin. Teholuokat ryhmitellään seuraavasti:

- 0,5...5 MW (stokeri- ja arinapoltto) ja 5...7 MW sekä 10...30 MW (arina- ja kerrosleijupoltto)
- Kaasutuspoltto alle 5 MW

Polttoaineina ovat metsähake, turve, kuori, puru, puhdas kierrätyspuu, puupelletti ja korsimaiset peltobiomassat.

Polttoaineen laadun merkitystä käytettävyyteen tarkastellaan etenkin pienessä teholuokassa.

Hankintojen osalta tätä suositusta sovelletaan 0,5...5 MW teholuokkaan.

1.2 Lait, asetukset ja suositukset

Minimivaatimuksena on, että toiminnassa noudatetaan Suomen lakeja, asetuksia sekä viranomaisten antamia säädöksiä ja määräyksiä. Viranomaisohjeita ja muita suosituksia noudatetaan sellaisenaan tai asianmukaisesti soveltaen. Säädetty ja ohjeistettu toiminta kattaa kattilalaitosten suunnittelun, hankinnan ja käytön turvallisuus- ja päästökysymyksiin.

1.3 Tekninen näkökulma

Suosittelun lähtökohtana on, että sovelletaan parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa (BAT) ja hyväksi todettuja käytäntöjä. Tähän sisältyvät polttoaineiden käsittely- ja polttotekniikka sekä päästöjen hallinta ja paloturvallisuus. Suurelta osin sovelletaan lähteen /3/ BAT näkemyksiä.

1.4 Päästöjen tarkastelun näkökulma

Ensisijaisesti tarkastellaan päästöjä, joiden määrään voidaan vaikuttaa eniten pienen teholuokan kattiloissa. Teholuokassa 5...30 MW toimitaan asetuksen 445/2010 mukaan, minkä katsotaan täyttävän BAT kriteerit.

1.4.1 Suuresta häkäpitoisuudesta aiheutuvat päästöt

Taulukossa 1 on karkea arvio, miten paljon onnistuneen ja huonon polttotavan ominaispäästöt voivat poiketa toisistaan, kun polttoaineen laatu (kosteus ja palakoko) ja säätötapa (jatkuva vai katkokäyttö, palamisilman jako ym.) vaihtelevat. Kerroin kuvaa, kuinka moninkertainen huonon polttotavan ominaispäästö on verrattuna hyvään polttotapaan. Typpioksiduuli (N₂O) on mukana sen suuren kasvihuonevaikutuksen takia.

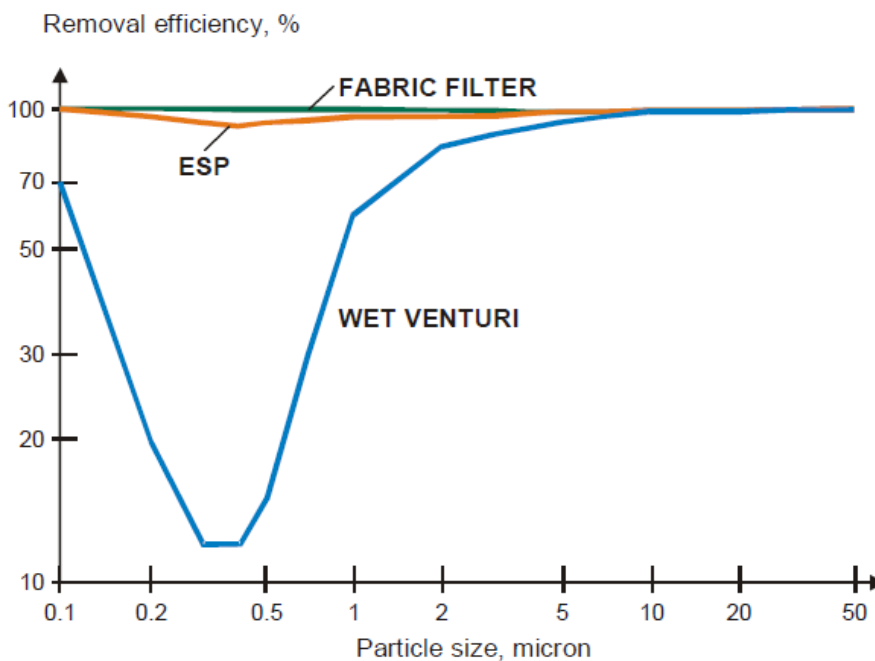
CO-pitoisuuden kasvaessa suureksi hiilivetyjen ja N₂O:n päästöt lisääntyvät jyrkästi (NO_x-päästöihin vaikutus on erisuuntainen ja paljon lievempi). Tästä syystä häkäpitoisuuden hallinta on päästöjen kannalta olennaisinta pienessä, alle 5 MW teholuokassa. Häkäpitoisuutta tarkastellaan ensisijaisesti säätöparametrina ja toissijaisesti päästösuureena. Sen arvo kuvaa palamisen hyvyttä ja sen hallinnalla voidaan vaikuttaa muiden haitallisten päästöjen määrään ja kattilan käytettävyyteen.

Taulukko 1. Polttotavan vaikutus eri päästösuureiden pitoisuuksiin.

Päästösuure	Kerroin huono/hyvä polttotapa
NO _x -pitoisuus	2
N ₂ O-pitoisuus	10
Häkäpitoisuus	100
Kokonaishiilivetyypitoisuus	500

1.4.2 Hiukkaspäästöt

Hiukkaspäästö määräytyy pääosin polttoaineen sekä poltto- ja puhdistustekniikan valintojen mukaan. Turpeen tuhkapitoisuus on suuri (tavallisesti 4...6 % kuivapainosta) ja poltossa savukaasuun vapautuvat hiukkaset ovat pääosin ns. karkeita hiukkasia, joiden läpimitta on suurempi kuin 2,5 µm. Leijupetikattiloissa ne voidaan erottaa tehokkaasti savukaasuista sähkösuodattimella ja pesurilla (kuva 1), kun esierottimena käytetään sykklonia.



Kuva 1. Kuitusuodattimen, sähkösuodattimen (ESP) ja venturipesurin erotusasteet hiukkaskoon mukaan /1/.

Syklonin erotusaste halkaisijaltaan yli 5 µm hiukkasille on 60...85 % ja multisyklonin 75...98 % /5/. Arinapoltossa valtaosa turpeen tuhkasta jää arinakuonaan ja karkeaa lentopölyä erottuu multisyklonissa melko tehokkaasti.

Puun polton lentotuhkasta huomattava osa on pienhiukkasia, joiden halkaisija on alle 2,5 µm ja niistä valtaosa ns. kertymähiukkasia, joiden läpimitta on 0,1...1,0 µm. Tällä hiukkaskokoalueella sähkösuodattimen keskimääräinen erotusaste on 95...98 %, kun se muuten on yli 99 %, kuva 1. Pesurin erotusaste kertymähiukkasille on vain noin 30 %, mutta karkeille hiukka-

sille (esimerkiksi turpeen polton hiukkasille) 80...98 %. Myös syklonien erotusaste on paljon heikompi pienhiukkasille kuin kooltaan yli 5 µm kiintoaineelle, mistä syystä puun leijupoltossa varmin erotustapa on sähkösuodatin, jonka käyttö sallii myös turpeen rinnakkaispolton. Arinapoltossa erottimen tehokkuusvaatimus ei ole yhtä suuri kuin leijupetikattiloissa, koska puun tuhkapitoisuus on pieni ja valtaosa tuhkasta poistuu arinan kautta.

Kuitusuodattimen (tai kangassuodattimen) erotusaste on koko alueella yli 99 %, mutta palovaaran sekä korkeiden hankinta- ja käyttökustannusten takia se ei sovellu pieneen teholuokkaan.

1.4.3 Rikkidioksidipäästöt

Rikkidioksidipäästöt määräytyvät pääosin polttoaineen rikkipitoisuuden mukaan eikä niiden määrään voida vaikuttaa pelkin säätöteknisin toimin. Puun ja peltobiomassojen rikkipitoisuudet ovat niin pieniä, ettei niiden SO₂-päästöjä ole tarpeen tarkastella lähemmin.

Seospoltolla turpeen rikkidioksidipäästöä voidaan vähentää tuntuvasti. Puun tuhka sitoo tehokkaasti turpeen rikkiä ja samalla puun polton pienhiukkasten muodostus vähenee. Puun ja turpeen yhteispoltto tuottaa siten vähemmän rikkidioksidi- ja hiukkaspäästöjä kuin erikseen poltettuna. Etuna on, ettei menetelmä tavallisesti vaadi laiteinvestointeja ja puutteenä, ettei rikkidioksidin ja pienhiukkasten erotusastetta voida arvioida tarkasti polttoaineiden seossuhteesta.

Toisena puhdistustekniikkana tarkastellaan savukaasun märkäerottimia, joita on paljon käytössä pienissä kaukolämpökeskuksissa noin 3 MW tehosta alkaen.

Muut rikinpoistomenetelmät ovat kalliita ja teknisesti liian vaativia käytettäviksi pienessä teholuokassa, mistä syystä niitä ei käsitellä tarkemmin.

1.4.4 NO_x-päästöt

Palamisilman vaiheistuksella ja savukaasujen takaisinkierätyksellä on mahdollista pienentää NO_x-päästöjä 10...50 %. Pienissä leiju- ja arinakattiloissa menetelmää voidaan pitää BAT:n mukaisina /3/. Tästä syystä muita menetelmiä ei tarkastella laajemmin.

2 Tekniikatarkastelu

2.1 Polttoaineet

2.1.1 Puu ja turve

Taulukossa 2 esitetään kiinteiden polttoaineiden yleisiä ominaisuuksia. Taulukon hake tarkoittaa lähinnä metsätähdehaketta ja sahojen pintahaketta. Rankahakkeen kosteus on tavallisesti 25...40 %, puupelletin 8...10 % ja palaturpeen keskimäärin 35 %. Turpeen rikkipitoisuus on tavallisesti 0,1...0,2 %. Joillakin alueilla, lähinnä Itä-Suomessa, rikkipitoisuus voi olla yli 0,3 % /4/.

Taulukko 2. Kiinteiden polttoaineiden tyypillisiä ominaisuuksia /3/.

Ominaisuus	Hake	Kuori	Puru	Jyrsinturve	Kivihiili
Kosteus, %	45-55	50-60	50-60	45-55	10
Tuhka, % (d)	0.5-2	1-3	0.5-1	6	14
Haihtuvat aineet, % (d)	80-90	70-80	70-80	65-70	30
Tehollinen lämpöarvo, MJ/kg (d)	19-20	19-20	19-20	20-21	29
Tehollinen lämpöarvo, MJ/kg (ar)	7-10	6-9	6-9	8-10	26
Hiili, % (d)	52	55	50	54	72
Vety, % (d)	6	6	6	5,5	4,5
Typpi, % (d)	<0,5	<0,5	<0,5	1,7	1,0
Rikki, % (d)	<0,05	<0,05	<0,05	0,2	<1,0
Happi, % (d)	40	37	43	33	8
Kloori, % (d)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1

2.1.2 Olki ja ruokohelppi

Viljan olkien ja ruokohelven irtotiheys silputtuna on 30...90 kg/i-m³. Viljoista seospolttoon soveltuu parhaiten vehnän olki, jonka tuhkan pehmenemislämpötila on muita korkeampi, noin 1050 °C, mutta tuhkapitoisuus suurin, 6,5...7 %. Kalsium- ja kaliumpitoisuudet ovat korkeat, keskimäärin 0,4 % ja 0,8 %. Klooripitoisuus on 0,15...0,5 %. Käyttökosteus on noin 20 % ja kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo keskimäärin 17,4 MJ/kg. /4/.

Kevätkorjatun ruokohelven poltto-ominaisuudet ovat selkeästi syyskorjattua paremmat. Tuhkan pehmenemislämpötila on noin 1100 °C, tuhkapitoisuus keskimäärin 5,5 % sekä kalsium- ja kaliumpitoisuudet 0,2 % sekä klooripitoisuus 0,09 %. Kosteus on 10...15 % ja kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo keskimäärin 17,6 MJ/kg. /4/. Taulukossa 3 esitetään ruokohelven ja muiden biomassojen polttoaineominaisuuksia.

Puuhakkeen ja jyrsinturpeen irtotiheydet ovat tavallisesti 300...350 kg/i-m³ ja palaturpeen noin 380 kg/i-m³ eli moninkertaiset olkiin ja ruokohelpeen verrattuna. Tästä syystä peltobiomassoja voidaan käyttää vain pienenä energiaosuutena ja hyvin sekoitettuna pääpolttoaineiden seassa. Muuten polttoaineen syöttö kattilaan häiriintyy ja vaikeuttaa polton hallintaa. Leijukerrosoltossa peltobiomassojen keveät partikkelit kulkevat palamiskaasujen mukana nopeasti tulipesän läpi, mistä syystä niiden lentopöly voi sisältää jäännöshiiltä ja aiheuttaa häiriöitä sähkösuodattimen toimintaan.

Turpeen ja oljen seospoltossa oljen korkeat kalsium- ja kaliumpitoisuudet edesauttavat turpeen rikin sitoutumista tuhkaan.

Taulukko 3. Ruokohelven ja muiden biomassojen tyypillisiä polttoaineominaisuuksia /4/.

Analyysiparametrit	Ruokohelpi (Kevätkorjattu)	Ruokohelpi (Syyskorjattu)	Vehnän olki	Puupolttoaine	Palaturve
Tehollinen lämpöarvo k.a., MJ/kg	17,6	17,9	17,4	19,2	21,5
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa, MJ/kg	14,6	14,8	14,4	8,5	12
Kosteus,%	14	15	15	50	40
Haihtuvat aineet, %	74	72	73	80	70
Tuhkapitoisuus, %	5,5	6,5	7	1,5	4
Hilli, C, %	46	46	46	50	55
Vety, H, %	5,5	5,7	5,5	6	5,6
Typpi, N, %	0,9	1,3	0,5	0,3	1,5
Happi, O, %					
Rikki, S, %	0,1	0,17	0,15	0,05	0,25
Kloori, Cl, %	0,09	0,5	0,5	0,02	0,05
Kalium, K, %	0,2	0,8	0,8	0,2	0,05
Kalsium, Ca, %	0,2	0,4	0,4	0,3	0,5
Magnesium, Mg, %	0,05	0,2	0,1	0,05	0,05
Natrium, Na, %	0,01	0,01	0,1	0,01	0,01
Pii, Si, %	1,8	1,2	1,8	0,4	0,8
Tuhkan sulamispiste, °C	1404	1075	930	1150	1100
Arseeni, As, mg/kg kuiva-aineesta	0,2	0,1		0,1	2
Elohopea, Hg, mg/kg kuiva-aineesta	0,03	0,03	0,03	0,02	0,09
Kadmium, Cd, mg/kg kuiva-aineesta	0,06	0,04	0,05	0,1	0,1
Lyijy, Pb, mg/kg kuiva-aineesta	2	1	1	4	5

2.1.3 Standardit, laatuohjeet ja -suositukset

Suomessa on tehty laatuohjeet energiaturpeelle ja puupolttoaineille, joita suositellaan käytettäväksi. Niiden hyödyntäminen on luontevaa määriteltäessä polttoaineiden laatuominaisuuksia kattiloita hankittaessa ja vastaanottokokeissa

Energiaturpeen laatuohje ”Polttoaineluokitus ja laadunvarmistus, näytteenotto ja ominaisuuksien määrittäminen” (NT ENVIR 009) julkaistiin vuonna 2006 ja se on yhä käytössä.

Vuonna 1998 otettiin käyttöön ”Puupolttoaineiden laatuohje” (Suomen Bioenergiayhdistys ry:n julkaisu nro 5/1998) ja sitä sovelletaan edelleen.

Kotitalouksissa ja kiinteistöjen lämmityksessä käytettävien kiinteiden biopolttoaineiden (pelletit, brikitit, hake ja pilke) laatustandardi EN 14961 sisältää seuraavat osat:

- SFS EN 14961-1: Yleiset vaatimukset (sisältää raaka-aineen luokittelun ja useita taulukoita eri biopolttoaineille)
- SFS EN 14961-2: Puupelletit ei-teollisuuskäyttöön

- SFS EN 14961-3: Puubriketit ei-teollisuuskäyttöön
- SFS EN 14961-4: Puuhake ei-teollisuuskäyttöön
- SFS EN 14961-5: Polttopuu ei-teollisuuskäyttöön
- EN 14961-6: Ei-puupohjaiset pelletit ei-teollisuuskäyttöön (hyväksytty, ei julkaistu vielä).

Taulukossa 4 on esimerkki käytetyn puun luokituksesta, tarkempi erittely löytyy lähteestä /2/.

Taulukko 4. Esimerkki luokittelun käytöstä. Luokka A (alaluokat 1...4) soveltuu käytettäväksi kaikissa kattiloissa, luokka B (alaluokat 1...14), käyttö vain teholtaan yli 20 MW kattiloissa. Luokka C, jätteenpolttoasetuksen mukainen poltto. Luokka D, ongelmajäte/2/.

Luokka A (biopolttoaine)

- A1 – maalaamaton rakennuspuu
- A2 – viilutähde vaneritehtaalla
- A3 – puutarhajäte jätteenkierrätys- tai käsittelylaitoksella
- A4 – tienvarsipuu

Luokka B (biopolttoaine)

- B1 – vanerinsyrjäähake tai –murske vaneritehtaalla
- B2 – vaneritähdebriketti
- B3 – huonekaluteollisuuden lastulevytähteet
- B4 – huonekaluteollisuuden hylkytuote
- B5 – huonekaluteollisuuden puutähde
- B6 – MDF-pelletti
- B7 – MDF-tähde
- B8 – kuormalava
- B9 – kuormalava lastulevystä
- B10 – käytöstä poistettu kaapelikela
- B11 – käsittelemättömästä puumateriaalista valmistettu kaapelikela
- B12 – betonivalumuotti rakennustyömaalta
- B13 – puutähde rakennustyömaalta
- B14 – lajiteltu puujäte jälleekierrätys- tai käsittelylaitoksessa

Luokka C (kierrätyspolttoaine)

- C1 – Jätteenkierrätys- tai käsittelylaitoksessa erilleen lajitellut ikkunankehukset ja ovet (purkupuu)
- C2 – jätteenkierrätys- tai –käsittelylaitoksen purkupuu
- C3 – puumuovikomposiittijäte voimalaitoksella

Luokka D (ongelmajäte)

- D1 – kyllästetty puu

2.2 Polttoaineen käsittely

Polttoainevalikoiman lisääntyessä vastaanotto-, varastointi-, käsittely- ja syöttötekniikoille asetetaan entistä suurempia vaatimuksia kaikissa kokoluokissa. 5...30 MW:n laitoksilla polttoaineen käsittelytekniikka muodostuu lähes samanlaisista tunnetuista pääkomponenteista kuin suurilla voimalaitoksilla. Tämän koon kattilat soveltuvat seospolttoon, mistä syystä käsittelytekniikan on sovelluttava erilaisille polttoaineille. Polttoainekuormat voidaan purkaa suoraan polttoainevarastoon tai polttoaine siirretään vastaanotosta erilliseen välivarastoon. Useimmiten käytetään kolakuljettimia. Tässä kokoluokassa laitoksen käytettävyyttä voidaan parantaa asentamalla kiekoseula vastaanotosta lähtevään linjaan erottamaan liian suuret kapaleet ja epäpuhtaudet. Ylite siirretään vaihtolavalle tai hienonnetaan heti seulan yhteydessä olevalla murskaimella. Mahdolliset metallit poistetaan linjassa olevalla magneettierottimella. Teholuokan yläpäässä käytettävyyttä parannetaan korvaamalla perinteinen pieni syöttösuppilo ympyräpohjaisella syöttösiilolla, josta polttoaine puretaan pohjassa kiertävällä ruuvikuljettimella. Syöttösiilo mitoitetaan muutaman (2...3) tunnin polttoaineenkulutusta varten. Polttoaine siirretään ruuvikuljettimilla kattilan syöttöön.

0,5...5 MW kokoluokassa polttoaineen käsittely yksinkertaistuu ja se suunnitellaan usein vain yhdelle polttoaineelle, mistä syystä luotettava toiminta edellyttää polttoaineelta tasaisempaa laatua (mm. kosteus, palakoko, epäpuhtaudet). Näihin pienemmän kokoluokan käsittelyjärjestelmiin on kehitetty ratkaisuja, jotka sallivat epähomogeenisempien polttoaineiden käytön kuin aikaisemmin. Vastaanottoasema toimii yleensä samalla varastona, josta polttoaine siirretään joko kola- tai ruuvikuljettimilla polttotavan mukaan syöttösuppilon tai sulkusyöttimen kautta kattilaan.

Kokoluokassa 0,5...2 MW kattilatoimittajat ovat kehittäneet kokonaisratkaisuja, joissa järjestelmään kuuluu polttoainevarastot purkulaitteineen, siirtokuljettimet ja syöttölaitteet. Niiden tekniikka ja mitoitus määräytyvät valitun polttoaineen ja kattilatehon mukaan. Valmiita sekä pelleille että metsähakkeelle suunniteltuja konttiratkaisuja on saatavilla ainakin 1,5 MW saakka. Kattilatilin ohella samaan konttiin kuuluu avautuvalla katolla varustettu polttoainevarasto, josta polttoaine puretaan tankopurkaimilla kattilaan vievälle ruuvikuljettimelle. Varasto voidaan täyttää etukuormaajalla tai rinneratkaisussa suoraan autosta.

2.2.1 Polttoaineen vastaanotto ja varastointi

Laitoskoko, polttoaineet, kuljetuskalusto ja kuljetusten organisointi määrittävät vastaanotto- ja varastointijärjestelmän valinnan ja mitoituksen. Kuljetuskaluston koko vaikuttaa varaston mitoitukseen. Yleisohjeena voidaan käyttää, että varaston minimi-tilavuuden on oltava vähintään 1,5 kertaa kuljetusajoneuvon tilavuus. Toinen keskeinen varaston mitoitukseen vaikuttava tekijä on varaston pisin mahdollinen täyttöväli eli miten polttoainelogistiikan halutaan toimivan. Jos polttoainetoimituksia ei ole viikonloppuisin, on varasto mitoitettava 64 tunnin käyttöä varten. Suunnittelussa on otettava huomioon käytettyjen polttoaineiden suuret irto- ja energiatiheyksien vaihtelut ja mitoitukset tulee tehdä pienimpien arvojen mukaan.

Taulukossa 5 esitetään polttoaineiden kulutukset eri teholuokissa ja varastotilavuuden mitoitus- täyttövälien mukaan metsähakkeelle ja palaturpeelle.

Taulukko 5. Polttoaineen kulutus kokoluokittain ja eri polttoaineilla (kattilan hyötysuhde 0,87) sekä kaksi esimerkkiä varaston tilavuuden mitoituksesta eri täyttöväleillä (esim. yön yli, vuorokausi, viikonlopun yli)

Kattilan teho, MW	0,5	1	2	4	6	10	20	30
Polttoaineteho, MW	0,57	1,15	2,3	4,6	6,9	11,5	23,0	34,5
Energiatiheys, MWh/i-m ³	Polttoaineen kulutus (i-m ³ /h) energiatiheysten mukaan							
0,6	1,0	1,9	3,8	7,7	11,5	19	38	57
0,8	0,7	1,4	2,9	5,7	8,6	14	29	43
1	0,6	1,1	2,3	4,6	6,9	11	23	34
1,2	0,5	1,0	1,9	3,8	5,7	10	19	29
Täyttöväli, tuntia	Varaston mitoitus hakkeella (0,8 MWh/i-m ³), täyttöaste 0,8							
8	7	14	29	57	86	144	287	431
16	14	29	57	115	172	287	575	862
24	22	43	86	172	259	431	862	1293
48	43	86	172	345	517	862	1724	2586
64	57	115	230	460	690	1149	2299	3448
Täyttöväli, tuntia	Varaston mitoitus palaturpeella (1,2 MWh/i-m ³), täyttöaste 0,8							
8	5	10	19	38	57	96	192	287
16	10	19	38	77	115	192	383	575
24	14	29	57	115	172	287	575	862
48	29	57	115	230	345	575	1149	1724
64	38	77	153	307	460	766	1533	2299

Tyypillisiä polttoaineiden energiatiheyyksiä (MWh/i-m³);

- teollisuuden kosteat sivutuotteet 0,5 – 0,7
- metsähake 0,7 – 0,9
- jyrsinturve 0,8 – 1,0
- palaturve 1,1 – 1,3

Jos polttoaineita voidaan toimittaa laitokselle päivittäin, varaston kokoa voidaan merkittävästi pienentää ja säästää investoinneissa. Varaston kokoon sekä vastaanottoaseman valintaan ja mitoitukseen vaikuttavat tontin ja mahdollisten muiden rakennusten määrittämät rajoitukset. Suunnittelussa on otettava huomioon riittävä tilantarve vastaanottoon peruuttaville rekoille ja muulle kuljetuskalustolle.

Pienkokoluokassa päädytään jo kustannussyistä maanpäällisiin vastaanotto- ja varastointijärjestelyihin. Rinneratkaisut helpottavat mm. polttoaineen purkua suoraan autosta varastosii- loon. Muussa tapauksessa polttoainevarasto on täytettävä esim. kauhakuormaajalla, mikä so- veltuu hyvin varsinkin sahojen ja muiden teollisuuslaitosten yhteydessä oleville laitoksille. Muussa tapauksessa varasto voidaan täyttää erillisen vastaanoton kautta kolakuljettimella. Tällaisia toimivia järjestelmiä on käytössä 10...30 MW:n laitoksilla. Varastot ovat joko ruu- villa purettavia siiloja tai tankopurkaimilla varustettuja varastoja.

Vastaanoton ja varastoinnin yhdistäminen on yleistynyt yhä suuremmilla laitoksilla. Asema muodostuu yhdestä tai useammasta rinnakkaisesta kolapohjapurkaimilla varustetusta vastaan- ottotaskusta. Varasto täytetään suoraan taskuun peruutetusta peräpurkuautosta tai varastokor-

keuden salliessa kippaamalla kuorma. Kukin varastotasku on mitoitettava siten, että koko rekka voidaan siihen purkaa. Varasto puretaan hitaasti liikkuvalla kolapohjapurkaimella laitokselle vievälle kolakuljettimelle. Purkupäässä on usein repijätela tasaamassa kolalle putoavaa polttoainevirtaa. Rinnakkaisista vastaanottotaskuista kattilaan voidaan syöttää haluttuja polttoaineseoksia. Käytössä on myös kahdella siilolla ja sekoitusruuveilla toteutettuja ratkaisuja.

2.2.2 Purkaimet ja kuljettimet

Polttoainevarastoja puretaan yleensä tanko- ja kolapohjapurkaimilla. Päälle ajettavissa kolapohjataskuissa on otettava huomioon pitkistä ketjusta mahdollisesti aiheutuvat ongelmat ja lisääntyvät huoltotarpeet. Huoltotilat jäävät usein liian ahtaiksi. Kolaratkaisuissa polttoainetta kulkeutuu helposti kuljettimien alle. Kolapurkain siirtää koko polttoainepatjaa eteenpäin ja varasto tyhjenee pohjia myöten.

Tankopurkainvarastoa ei saada täysin tyhjäksi, jolloin päälleajovarastossa joudutaan ajamaan polttoainepatjan päälle. Palaturve murskautuu hieman tankopurkaimissa ja ruuvipurkaimissa.

Kolapurkaimen etuna on, että laitteiden purkuvoimia ei kohdisteta perustuksiin. Tankopurkaimissa perustusten ja rakenteen tulee olla vahvoja, koska niihin kohdistuu suuret voimat. Tankopurkainten tehontarve ja hinta ovat suurempia kuin kolapurkainten.

Tankopurkain koostuu yleensä useasta erillisestä yksiköstä, joten yhden yksikön mahdollinen huolto ei estä muiden toimintaa. Lisäksi varaston sisällä on harvoin huoltoa vaatia kohteita. Umpinaisen pohjarakenteen ansiosta tankopurkain ei syötä alleen kuten kolapurkain.

Ruuvipurkainta ja ruuvipohjapurkainta käytetään pienten, lähinnä syöttösiilojen purkamiseen. Suurissa varastoissa ja siiloissa käytetään lineaarisesti liikkuvia tai pohjassa kiertäviä ruuvipurkaimia. Ruuvipurkaimien etuna on tasainen syöttö ja helppo säädettävyys. Suuret kappaleet rikkovat helposti ruuvia ja kulumis- ja syöpymisongelmia esiintyy.

Automatisoitujen kahmarinostureiden käyttö siirrettäessä polttoainetta vastaanottosiilosta esimerkiksi kattilan syöttösiiloon ovat yleisiä Keski-Euroopassa, varsinkin jätteiden poltossa. Myös Suomessa on muutamia kahmareja käytössä lämpölaitoksissa.

Jos polttoaineen siirtomatkat ovat pitkiä ja tarvitaan suurta kuljetuskapasiteettia, hihnakuljettimen käyttö myös pienillä laitoksilla on perusteltua.

Kolakuljettimien käyttö on yleistynyt myös suurilla laitoksilla, mistä syystä tekniikka on hyvin tunnettua eri polttoaineille. Etuna on mm. pölytiivis rakenne, suuri 45 asteen nousukulma, tunteettomuus suurille kappaleille ja epäpuhtauksille, helppo kuormaus ja purku useista eri kohdista, paloturvallisuus sekä huolto- ja voitelukohteet kotelon ulkopuolella. Kolakuljettimien haittoja ovat mm. korkeahko hinta, suurempi tehontarve kuin hihnakuljettimella, paljon kulumista, voimakas kuluminen suurilla nopeuksilla ja vaatii suhteellisen paljon peruskorjausta. Oikeilla materiaalivalinnoilla voidaan käyttö- ja huoltokustannuksia pienentää.

Ruuvikuljetinta käytetään eniten kohteissa, joissa siirtomatka on lyhyt ja polttoaineen massavirta pieni. Se soveltuu hyvin mm. hakkeen ja purun siirtoon. Jyrsinturve ja kuori asettavat vaatimuksia laitteiden raaka-aineille ja pintakäsittelylle kulumisen ja korroosion takia. Pala-

turve murskautuu jonkin verran ruuvissa, mistä syystä palakoko tulee ottaa huomioon mitoituksessa. Ruuvikuljettimen maksimipituus on 10 m, tehontarve suurempi kuin kolakuljettimella ja häiriöalttiimpi mm. suurille kappaleille ja kiville. Ruuvikuljettimen etuna on yksinkertainen ja pölytiivis rakenne, pieni tilantarve, tasainen kuljetuskapasiteetti ja helppo säädettävyys, helppo kuormata ja purkaa useasta kohdasta, kahteen suuntaan ajettavuus (jakokuljetin, tukkeuman purku), soveltuu myös kuuman tuhkan siirtoon.

2.2.3 Polttoainevalikoiman vaikutus laitevalintoihin

Polttoainevalikoiman kasvaessa myös pienemmillä laitoksilla ongelmat polttoaineen laitoskäsittelyssä ja syötössä ovat lisääntyneet. Jo laitoksen suunnitteluvaiheessa on tunnettava ja otettava huomioon eri polttoaineiden sekä käsittely- että polttotekniset ominaisuudet ja niiden vaihtelut. Monet ongelmia voidaan poistaa laiteteknisin keinoin, mutta kustannussyistä kompromisseja joudutaan tekemään.

Kosteus

Kattilan suunnitteluarvoja suurempi polttoaineen kosteus alentaa laitoksen hyötysuhdetta ja kattilasta saatavaa maksimitehoa.

Talvella kostea polttoaine lisää jäätymisriskiä siloissa ja kolakuljettimilla. Niitä voidaan välttää pohjien ja seinämien lämmityksillä ja materiaalivalinnoilla. Kuljettimien jäätymistä voidaan estää ajamalla kuljetin tyhjäksi ennen pysäyttämistä. Syöttösiilot ja –suppilot on sijoitettava lämpimiin tiloihin.

Palakoko

5 MW suuremmilla laitoksilla on syytä harkita kiekko-seulan hankintaa, jos polttoainevalikoima kasvaa ja liian suuria kappaleita tai epäpuhtauksia on odotettavissa. Suuret polttoainepalat, kivet, yms. aiheuttavat ongelmia varsinkin ruuvikuljettimissa ja kuljettimien risteyksissä kattilaan syötössä. Seula olisi sijoitettava käsittelyketjun alkupäähän lähelle vastaanottoa. Ylitumurskaimen hankinta tulee harkintaan 15...20 MW suuremmilla laitoksilla polttoaineen ja ylitteen määrän mukaan.

Polttoaineen hienoaines voi aiheuttaa käsittelyongelmia. Kuivan pölyn leviäminen ympäristöön voidaan estää suljetuilla purku- ja kuljetinjärjestelmillä. Kostea hienoaines tarttuu varastojen seinämiin ja kuljettimiin, mikä lisää jäätymis- ja tukkeutumisriskiä.

Irto- ja energiatiheys

Polttoaineen irto- ja energiatiheys määrittää kuljettimien ja varastojen mitoituksen. Jos laitoksella käytetään suunnitteluarvoja kevyempiä polttoaineita, kuljettimien ja purkulaitteiden kapasiteetti pienenee eikä kattila saa riittävästi polttoainetta.

Alhainen irtotiheys heikentää polttoaineen juoksevuutta, mikä lisää holvautumis- ja tukkeutumisvaaraa varastoissa ja syötössä. Syöttösiilojen pitää olla alaspäin aukeavia. Lisäksi purkulaitteiden pitää kattaa koko pohjan ala. Pinnankorkeuksien oikeilla säädöillä voidaan syöttösiilojen toimintaa parantaa eri polttoaineilla.

Epäpuhtaudet

Polttoaineiden mukana tulee aina myös siihen kuulumattomia epäpuhtauksia. Liian suuret kappaleet, kivet ja metalliesineet tukkivat ja mahdollisesti rikkovat varsinkin ruuvipurkaimia ja -kuljettimia. Metallinilmaisimien ja erotusmagneettien avulla voidaan rautakappaleet poistaa. Suurimmat kivet ja muut suuret kappaleet saadaan poistettua linjaan asennetulla kiekokoseulalla. Kantomurskeessa ja hakkuutähdehakkeessa esiintyvä hiekka ja muu maa-aines kuluttavat ruuveja ja kolakuljettimien pohjia. Kulumista voidaan pienentää oikeilla materiaallivalinnoilla.

Polttoaineseokset

Seospoltto on tullut yhä pienempiin laitoksiin. Pienten laitosten pelkistetyissä käsittelyjärjestelmissä ei ole useinkaan mahdollista sekoittaa eri polttoaineita. Polttoaineseosten tekeminen onnistuu, jos kattilaan vievälle kuljettimelle voidaan samanaikaisesti purkaa polttoaineita kahdesta eri varastosta, esim. rinnakkaisista päälle ajettavista kolapohjataskuista tai erillisistä tankopurkainvarastoista. Purkujärjestelmien riittävän tasainen purku eri polttoaineilla on varmistettava. Repijätelat parantavat purkamisen hallintaa.

Jos käytetään valmiita polttoaineseoksia, on varmistettava kuormien riittävä sekoitusaste. Mitä pienemmälle laitokselle seoksia toimitetaan, sitä huolellisempaa seostusta tarvitaan. Seoksissa käytetään usein ominaisuuksiltaan hyvinkin erilaisia polttoaineita (esim. ruokohelpisilppua ja turvetta tai haketta), jolloin kattilaan syötetty polttoainevirta olisi saatava mahdollisimman tasaiseksi. Usein seokset tehdään kuormaamalla polttoaineet suurella kauhalla vuorotellen tai riittävän kuormapainon saamiseksi kevyt materiaali lastataan kuorman pohjalle ja raskaampi polttoaine päälle. Ennen jatkuvaa seosten käyttöä on varmistettava millainen seostapa kuormia tehdessä riittää vai onko seokset tehtävä lastauspaikalla kentällä sekoittaen. Kattilalaitoksen piha ei ole sopiva paikka polttoaineiden sekoitukseen, erityisesti tämä koskee pienen teholuokan lämpökeskuksia.

2.3 Polttotekniikat ja kattilat

Tarkasteltavat polttotekniikat ovat kerrosleiju, arina ja stokeri sekä kaasutuspoltto. Kiertopetikkattiloiden tavanomaisin teholuokka Suomessa on yli 100 MW, pienempiä on vain muutama yksittäinen kattila. Tästä syystä niitä ei tarkastella.

2.3.1 Kerrosleijupoltto

Kerrosleijupoltto on vakiintunutta 10 MW teholuokasta ylöspäin, mutta yksittäisiä toimituksia on noin 2 MW kokoon. Soveltuvia pääpolttoaineita ovat metsähake, kuori, sahanpuru ja jyr-sinturve. Rinnakkais- ja tukipolttoaineina voidaan käyttää kutterinlastua, puupellettejä, murskattua palaturvetta ja laatuluokan A käytöstä poistettua puuta, teholtaan vähintään 20 MW kattiloissa myös laatuluokan B puuta. Puupellettejä voi käyttää tukipolttoaineena, jos pääpolttoaine on huonolaatuista ja pedin lämpötilaa sekä kattilan tehoa on vaikea pitää riittävän korkeana. Muuten puupellettien käyttö lisää petimateriaalin sintraantumisriskiä.

Kerrosleijukattiloiden käyttökelpoinen säätöalue on parhaimmillaan 20...100 % nimellistehosta.

Jos pää- tai rinnakkaispolttoaineena käytetään jyrshinturvetta, savukaasujen hiukkaserottimeksi sopii sähkösuodatin. Leijupoltossa lähes kaikki kiintoaines poistuu lentopölynä savukaasujen mukana, mistä syystä syklonierottimen tukkeutumisvaara on todellinen turpeen suuren tuhkapitoisuuden takia. Turpeen polton lentopöly on hiukkaskooltaan karkeaa, mistä syystä sähkösuodatin erottaa sen tehokkaasti, erotusaste tavallisesti yli 99 %.

Pieninä energiaosuuksina (muutama prosentti) peltobiomassoista silputtu ruokohelpi ja vehnän olki ovat mahdollisia, jos ne on seostettu tasaisesti pääpolttoaineisiin. Seostus onnistuu parhaiten jauhemaisiin jakeisiin. Likaantumis- ja korroosioriskien vähentämiseksi seoksessa on suositeltavaa käyttää jyrshinturvetta. Poltto-ominaisuuksistaan viljalajit eroavat paljon ja varsinkin seospoltossa niiden käyttäytymistä on vaikea ennustaa luotettavasti. Pitkäaikaisissa toimitussopimuksissa tulee ottaa huomioon polttoaineen vuosittaiset ja paikalliset saatavuu- den ja laadun vaihtelut.

Seospoltossa polttoaineen massavirran suuri vaihtelu vaikeuttaa polton säätöä, savukaasujen häkäpitoisuus vaihtelee paljon ja sen myötä muutkin kaasumaiset päästöt. Peltobiomassojen suuren tuhkapitoisuuden takia savukaasujen hiukkasten ominaisuudet voivat muuttua paljon pienelläkin seossuhteella ja hiukkaserottimien toiminta häiriintyä.

2.3.2 Arina- ja stokeripoltto

Arinat

Arinatekniikka on alun perin kehitetty kivihiilen polttoa varten. Nykyään sitä sovelletaan paljon biomassan polttoon 2...30 MW tehoalueella. Alle 10 MW teholuokassa arinapoltto on edelleen yleisin puun ja palaturpeen polttomenetelmä. Arinoiden ja niihin liitettyjen tulipesien rakenteet vaihtelevat paljon kattilan koon ja polttoaineen mukaan. Pääjaottelu puupolttoaineille ja palaturpeelle voisi olla /3/

- kiinteä tasoarina,
- kiinteä viistoarina,
- mekaaninen viistoarina (liikkuvat arinaraudat),
- mekaaninen tasoarina.

Arinat ovat usein em. päätyyppien yhdistelmiä ja ne eroavat toisistaan mm. arinamateriaalien ja jäähdytystapojen osalta. Pienet arinat jäähdytetään useimmiten primääri-ilmalla ja suuret arinat kattilaan kytketyllä vesikierrolla. Sekundääri- ja tertiääri-ilmalla poltetaan haihtuneet palamiskelpoiset kaasut. Polttoaine syötetään arinalle koko sen leveydeltä tasaisena kerroksena. Tämä on ensiarvoisen tärkeää palamisen hallitsemiseksi, koska polttoaine sekoittuu leveysuunnassa vain vähän. Kaasujen sekoittuminen on leijupolttoon verrattuna tehottomampaa, mikä lisää epätäydellisen palamisen seurauksena syntyvien päästöjen riskiä. /3/.

Nykytekniikalla arinalla voidaan polttaa laadultaan vaihtelevia polttoaineita tehokkaasti. Eri-tyisrakenteisilla polttimilla kosteusalue ulottuu 65 % saakka ja palakoon ylärajan määrää ensisijaisesti polttoaineen syöttötekniikka. Kattilan omakäytösähkön tehon tarve on pieni leijupolttoon verrattuna. Puutteina ovat mm. hitaat säätöominaisuudet ja liikkuvien arinarautojen huollontarve. Käyttökelpoinen säätöalue on tavallisesti 20...100 % nimellistehosta.

Kuvassa 2 on esimerkki suomalaisesta kekoarinasta, jossa leveysuuntainen sekoitus on toteutettu jakamalla arina sylinterimäisiin vyöhykkeisiin, joista joka toinen pyörii.

Jauhemaisista polttoaineista sopivat käytettäväksi sahanpuru ja kutterinlastu kuoren tai muun palamaisen polttoaineen seassa. Metsätähdehake, palaturve, laatuluokkien A ja B käytetty puu

hakkeena tai murskeena sopivat rinnakkaispolttoon, pienenä energiaosuutena myös silputtu peltobiomassa. Puupellettiä voidaan käyttää tukipolttoaineena kostean pääpolttoaineen kanssa.

Jyrsinturve ei sovellu käytettäväksi arinakattiloissa.

Valtaosa tuhkasta poistuu arinan läpi, mistä syystä savukaasujen hiukkaspuhdistimeksi riittää useimmiten syklonierotin alle 5 MW teholuokassa.



Kuva 2. BioGrate kosteiden polttoaineiden arinapoltin (MW Power). Polttoaine syötetään syöttöruuvilla alaspäin arinan keskelle kehoon, josta se kulkeutuu vähitellen ulkokehää kohti arinarautojen kehäliikkeen vaikutuksesta /3/.

Stokerit

Stokeri on ruuvisyöttöinen arinapoltin, jonka palotila on muodoltaan kaukalo, taso- tai porrasarina (kiinteä tai mekaaninen). Tekniikka on kehitetty alun perin pienkiinteistökokoluokkaan puupelleteille ja hakkeelle. Myynissä on tekniikaltaan kirjava valikoima tuotteita. Nykyisin tehoalue ulottuu noin 3 MW asti, suurimmat tehot on toteutettu mekaanisella arinalla tai kahdella rinnakkaisella polttimella. Rinnakkaispolttimien etuna on, että tehonsäätöalue on laaja, koska toinen polttimin voidaan kytkeä pois käytöstä pienen tehon aikana. Alinta tehoa rajoittaa usein savukaasujen loppulämpötilan putoaminen liian alhaiseksi. Parhaimmillaan säätöalue on 10...100 % nimellistehosta, kun kattilassa on kaksi rinnakkaispoltinta. Yli 0,5 MW teholuokan kattilat ovat pitkälle automatisoituja ja etäkäyttöisiä. Laajan tehonsäätöalueen ansiosta peruskuormaa tuottavan stokerikattilan nimellisteho voidaan asettaa hieman tavanomasta mitoitustehoa (noin 50 % huipputehosta) suuremmaksi.

Pääpolttoaineiksi soveltuvat puupelletti, rankahake, laatuluokan A käytetty puu ja palaturve. Polttoaineen tulee olla kosteudeltaan (enintään 45 %) ja palakooltaan tasalaatuista. Valtaosa tuhkasta poistuu arinakuonan mukana, mistä syystä savukaasujen hiukkaspuhdistimeksi riittää sykloni tai multisykloni.

2.3.3 Kaasutuspoltto

Pienissä polttolaitoksissa kaasutus perustuu kiinteäkerroskaasutukseen, joka voidaan toteuttaa vasta- tai myötävirtaperiaatteella. Vastavirtakaasutin on teknisesti yksinkertaisempi. Tuotekaasut johdetaan kaasukattilaan poltettavaksi. Polttoaineena käytettävän puuhakkeen ja palaturpeen tulee olla tasalaatuista, tuhkan sulamislämpötilan vähintään 900 °C ja kosteuden alle 50 %. Vastavirtakaasuttimien teholuokka on 2...20 MW ja myötävirtakaasuttimien alle 2 MW.

Suomessa on kaupallisessa käytössä vain muutama vastavirtakaasutukseen perustuva lämpökeskus 5 MW teholuokassa. Pienessä, alle 1 MW teholuokassa kaasutuspoltoilla on mahdollista päästä erittäin pieneen hiukkaspäästöön, kun polttoaineena käytetään puupellettiä. Pienissä kattiloissa kaasutuspolton ja suorapolton raja on usein häilyvä. Näistä syistä kaasutuspoltoa ei tarkastella lähemmin.

2.3.4 Kattilan lämpötila- ja painemitoitus

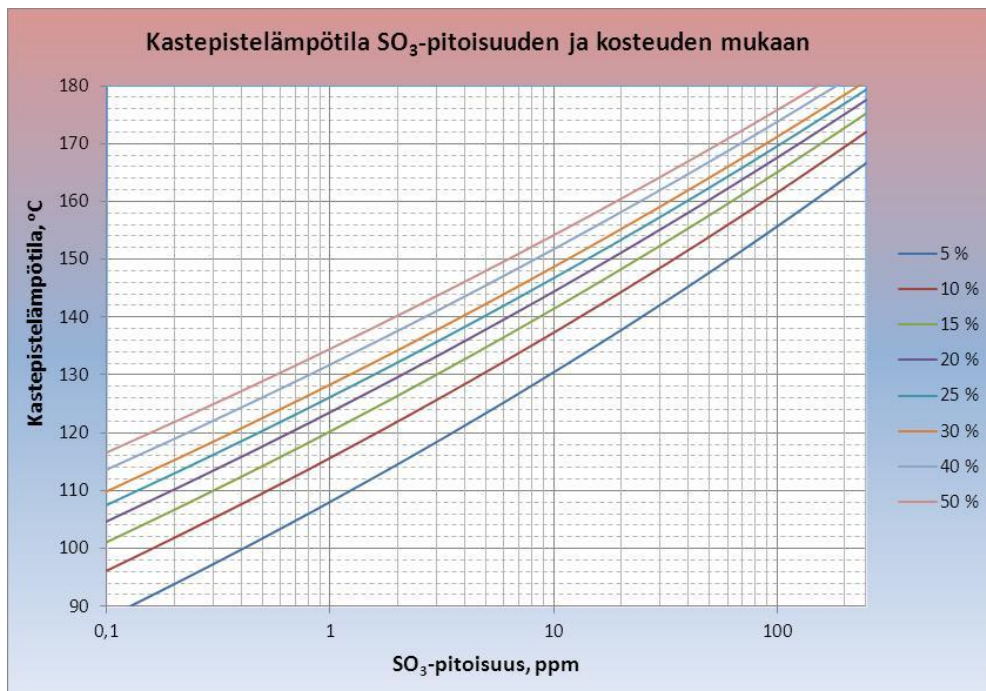
Happokastepiste

Kuva 3 esittää rikkihapon kastepistelämpötilan riippuvuutta savukaasun rikkitrioksidipitoisuudesta ja kosteudesta. On arvioitu, että savukaasujen rikkidioksidista 1...5 % hapettuu kattilassa rikkitrioksidiksi (SO₃), minkä mukaan turpeen polton savukaasujen SO₃-pitoisuus on pyörein luvuin 1...5 ppm ja puun alle 1ppm. Savukaasujen kosteus turvetta ja haketta poltettaessa on tavallisesti 15...25 tilavuusprosenttia ja pellettien poltossa noin 10 %. Kuvan 3 mukaan turpeen poltossa rikkihapon kastepistelämpötilat ovat silloin 120...140 °C, hakkeen korkeintaan 125 °C ja puupellettien enintään 115 °C. Rikkihapon kastepistelämpötilaa ei osata ennustaa tarkasti, mutta vaihteluvälit ja maksimiarvot voidaan arvioida kohtuullisen luotettavasti kuvan 3 perusteella.

Pienillä osatehoilla savukaasun lämpötila laskee, ellei kattilassa ole viimeisen konvektio-osan ohitusmahdollisuutta tai muuta lämmönsiirron tehokkuuteen vaikuttavaa toimintoa. Samalla myös ilmakerroin kasvaa, mikä laimentaa savukaasuja ja alentaa happojen kastepistelämpötiloja.

Puun ja turpeen seospoltossa kastepistelämpötilaa on vaikea arvioida laskennallisesti, koska SO₃ reagoi puun tuhkan alkalimetallien kanssa.

Rikkihapokkeen sekä typpi- ja suolahapon kastepistelämpötilat ovat edellä mainituilla lähtöarvoilla alle 70 °C, mistä syystä niistä ei aiheudu syöpymisriskiä, jos kattilaveden lämpötilan säätö (paluuv veden lämpötila vähintään 80 °C) ja savukanavien lämmöneristys on toteutettu asianmukaisesti.



Kuva 3. Rikkihapon kastepistelämpötila savukaasun rikkiatrioksidipitoisuuden ja kosteuden mukaan. Kuvan oikeassa reunassa olevat kosteudet tarkoittavat vesihöyryn tilavuusosuutta savukaasussa.

Alle 1 MW ja 110 °C

Suositus perustuu ohjeeseen /7/. Tähän luokkaan kuuluvia kattiloita ei ole tarpeen rekisteröidä eikä tehdä niille painelaitteen määräaikaistarkastusta.

Painemitoitus on tavallisesti 1,5...4 bar. Kattilat soveltuvat kohteisiin, joiden lämmitysjärjestelmän syöttö ei vaadi korkeaa lämpötilaa. Ensisijaisina kohteina ovat yksittäiset paljon lämpöä tarvitsevat kiinteistöt kuten esimerkiksi kasvihuoneet.

Puhtaan lämmönsiirtopinnan lämpötila asettuu lähelle kattilaveden lämpötilaa. Kattilaveden matalan lämpötilan takia lämmönsiirtopintojen syöpymisriski on merkittävä.

Kaukolämpökattilat

Minimivaatimuksena on 4 bar käyttöpaine ja 130 °C –lämpötila. Vaatimusten lähtökohtana on, että kattilan rakenne on riittävän vahva ja pitkäikäinen sekä lämpötekninen mitoitus kaukolämpöverkkoon liittämiseksi voidaan tehdä järkevästi. Riittävän korkealla lämpötilan mitoituksella voidaan varmistaa, etteivät lämmönsiirtimien pintalämpötilat alita rikkihapon kastepistelämpötilaa. Painelaitteen valmistajalla tulee olla laatujärjestelmä. Optimaalinen paine- ja lämpötilaluokka määräytyy tapausittain.

2.3.5 Hybridijärjestelmä, lämpöpumppu

Sarjavalmisteisena laitteena lämpöpumppu on helpokäyttöinen, turvallinen sekä halpa ja sen sovelluspotentiaali on suuri. Pienikiinteistöjen lämmityksessä porakaivot päälämmönlähteenä ja ilmalämpöpumput muun lämmön tueksi ovat lisääntyneet. Tekniikan sovellettavuus ei ole

tehosidonnainen. Kaukolämmityksessä lämpöpumppuja on käytetty 1980-luvun puolivälistä alkaen. Esimerkiksi Tukholman keskustan kaukolämmöstä suurin osa tuotetaan lämpöpumppuilla, joiden yhteisteho on noin 500 MW /6/.

Lämpöpumppulaitteiden ominaishinta on 150...250 €/kW eikä yksikkökoko vaikuta siihen juurikaan. Lämpöpumput ovat erittäin luotettavia ja niiden kunnossapitokustannukset vuodessa ovat noin 2 % laiteinvestoinnista. Käyttömiehitystä ei tarvita /6/.

Liitteen 1 arvion mukaan kesäajan lämmityksen tuotto lämpöpumpulla on taloudellisesti realistinen vaihtoehto, jos laitos on vesistön rannassa. Parhaimmillaan takaisinmaksuaika on alle 10 vuotta.

2.3.6 Automaatio ja jaksottainen käytön valvonta

Merkittävin polton säätöön ja automaatioon liittyvä parannus on ollut taajuusmuuttajien käytön yleistyminen pienen teholuokan kattiloissa. Taajuusmuuttajien avulla polttoaineen syöttöä ja puhaltimien toimintaa voidaan säätää jatkuvatoimisesti, mikä tehostaa polton hallintaa. Aiempaan tehon katkokäyttösäätöön verrattuna päästöt ovat pienemmät ja hyötysuhde korkeampi. Kattilan tehoa säädetään tavallisesti kattilaveden menolämpötilan mukaan.

Tulipesän lämpötilaa säädetään savukaasun takaisinkierätyksellä tai palamisilman määrää säättämällä. Jos lämpötila alittaa asetusarvon, lisätään polttoaineen syöttöä hetkellisesti happipitoisuuden pienentämiseksi. Jos lämpötila ei palaudu asetetulle alueelle, järjestelmä hälyttää käyttöhäiriöstä. Usein käyttöhäiriön lopullinen syy on polttoaineen huono laatu ja siitä aiheutuva häiriö polttoaineen syötössä.

Savukaasujen loppulämpötilaa voidaan säätää kaukolämmön paluuveden esilämmittimellä sekoittamalla kattilan meno- ja paluuvettä siten, että savukaasun lämpötila pysyy haluttuna kattilan tehosta riippumatta. Savukaasujen lämpöä voidaan hyödyntää myös palamisilman esilämmitykseen.

Kattilan paluuveden lämpötilaa säädetään sekoittamalla meno- ja paluuvettä. Syöpymisriskin vähentämiseksi paluuveden lämpötilan tulee olla vähintään 80 °C.

Pienten laitosten automaatio perustuu tavallisesti PC-valvomoon ja ohjelmoitavien logiikkojen käyttöön. Järjestelmään kerätään monipuolisesti laitoksen toimintatietoja (tehot, lämpötilat, paineet...), mikä helpottaa mm. häiriötilanteiden syiden selvitystä. Suurien kattilalaitosten toimintaa ohjataan ja valvotaan kehittyneempien automaatiojärjestelmien avulla.

Jaksottaisesti voidaan valvoa/8/:

- höyrykattilaa, jonka teho on enintään 20 MW ja jossa käytetään kiinteää polttoainetta tai jossa tulipesään varautunut energiamäärä voi vahingoittaa kattilaa toimintahäiriön aikana;
- muuta höyrykattilaa, jonka teho on enintään 40 MW;
- kuumavesikattilaa, jonka teho on enintään 120 MW.

Käytössä on kaksi rinnakkaista järjestelmää:

- Kaksisuuntainen gsm yhteys, jolla saadaan tiedot laitokselta soittona (hälytykset) tai tekstiviestinä. Puhelimella voidaan tehdä laitoksen tilakyselyjä, muttei ohjata laitosta. Toiminta on akkuvarmennettu, mistä syystä hälytysviesti laitoksen tilasta saadaan sähkökatkon aikana.

- Verkkoysteys, jonka kautta voidaan säätää laitosta. Suositeltavaa on, että keskeisimmät säädöt tehdään paikan päällä. Automaation ymmärrys ei ylitä kokeneen käyttäjän taitoa. Kokemus yhdistettynä nykyaikaiseen poltonohjaukseen parantaa käyttövarmuutta ja –taloutta.

Nykyinen tekniikka on varmatoimista, esimerkiksi aiempien vuosien gsm-verkon tukkeutuminen ruuhka-aikoina ei ole enää merkittävä ongelma.

Varaosien ja huollon nopea saatavuus on tarpeen varmistaa kirjallisin sopimuksin.

2.3.7 Savukaasujen puhdistimet

Puhdistimen valintaan vaikuttavat polttoaine, kattilan kokoluokka, puhdistusasteen vaatimus ja suodatetun hiukkaston hinta. Taulukossa 6 vertaillaan menetelmien puhdistustehoja ja hintoja.

Taulukko 6. Hiukkaspuhdistimien kustannusarvioita, päästötasoja ja painehäviöitä /5/.

Puhdistuslaite	Polttoaine	Teho MW _{pa}	Investointi €/MW _{pa}	Käyttökust. €/MWh _{pa}	Päästötaso mg/m ³ n	Painehäviö mbar
Sähkösuodatin	kaikki	alle 5	40 000	ei tietoa	15–50	2–3
	kaikki	5–50	20 000	0,1		
	kaikki	50–150	15 000	ei tietoa		
	kiinteä ja lipeä	> 150	10 000	ei tietoa		
	neste	> 150	7 000	ei tietoa		
Kuitusuodatin	kaikki	5–50	18 000	0,3	5–25	10–20
	kiinteä	> 150	13 000	0,2		
	neste	> 150	10 000	ei tietoa		
Pesuri + LTO	kaikki	5–50	35 000	0,3	50–500	10–15
Pesuri	kaikki	5–300	60 000	0,5	50–500	10–15
	kaikki	300–1 000	80 000	0,3		
	kaikki	yli 1 000	40 000	ei tietoa		
Sykloni / multi-sykloni	kaikki	alle 5	6 000	ei tietoa	20–1500	10–20
	kaikki	5–50	1 600	0,1		

Multisykloni

Karkeille hiukkasille syklonierottimien kustannustehokkuus on selkeästi paras. Haittoina ovat tukkeutumisriski suurilla savukaasun hiukkas- ja kosteuspitoisuuksilla sekä heikko keräysteho pienhiukkasille. Tukkeutumisriskiä voidaan pienentää esimerkiksi paineilmasykeillä.

Multisyklonit soveltuvat hyvin puhdistimiksi pienen kokoluokan arinakattiloihin, joiden savukaasujen hiukkaspitoisuudet ja kosteudet ovat keskimäärin pienempiä kuin leijupetikattiloissa sekä puupolttoaine- että turvekäytössä. Leijupedeissä poltetaan tavallisesti kostempaa polttoainetta ja ilmakertoimet ovat pienempiä kuin pienissä arinakattiloissa.

Sähkösuodatin

Leijupetikattiloihin sähkösuodatin on varma valinta sekä puulle että turpeelle, tosin melko kallis. Hiukkasten sähkönjohtavuus vaikuttaa erotustehoon, mistä syystä päästöt voivat vaihdella polttoaineen ja polton säätöjen mukaan. Etuina ovat pienet käyttökulut. Jos polttoaineiden tuhkapitoisuudet vaihtelevat paljon, kannattaa esierottimeksi asentaa sykloni tasaamaan vaihtelua.

Pesuri

Valtaosa Suomessa polttolaitoksilla käytettävistä märkäerottimista on tyypiltään rikin poistoon tarkoitettuja pesureja, joiden edessä on hiukkaserotin. Jos esierottimena on sykloni, pesuri koostuu erillisestä karkeiden hiukkasten märkäerottimesta ja lämmön talteenottoyksiköstä (LTO), joka on tavallisesti täytekappalekolonni. Hiukkasten märkäpesua ei tarvita, jos hiukkaserottimena on sähkösuodatin.

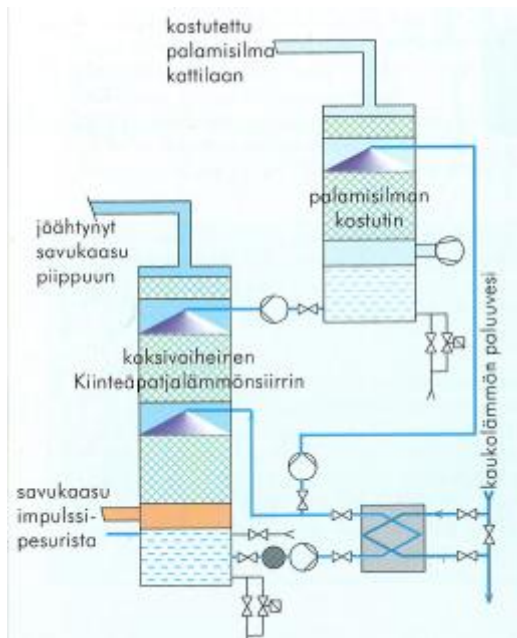
Ensisijaisena hankintaperusteena on ollut savukaasujen vesihöyryn lauhdelämmön talteenotosta saatava taloudellinen hyöty. Lauhde-energialla esilämmitetään kaukolämmön paluuvettä, kuva 4. Yhteistuotannossa paluuveden esilämmitys pienentää höyryturbiinin jäähdystystä ja sähkötehoa, mikä heikentää pesurin taloudellista kannattavuutta. Tästä syystä Suomessa pesureja käytetään eniten lämmityskattiloissa. Hiukkaserottimina pesuilla ei ole suurta taloudellista merkitystä, koska ne erottavat tehokkaimmin karkeita hiukkasia kuten hinnaltaan edulliset multisyklonitkin.

Rikkidioksidin ja vetykloridin (HCl) erotukseen pesurit ovat tehokkaita. Erotusaste kasvaa päästökaasun alkupitoisuuden mukana. Esimerkiksi turpeenpolton rikkidioksidin (ja hiukkasten) erotusaste on tavallisesti 80...98 %. Hiukkasten mukana pesuveteen erottuu myös raskasmetalleja. Rikkidioksidin erotusasteeseen vaikuttavat pesuveden lämpötila ja pH. Myös HCl:n erotusaste on korkea, useimmiten 70...95 %. Lauhdevesi johdetaan selkeytysaltaasta neutraloituna ja suodatettuna viemäriin tai vesistöön. Ojaan johdettava lauhdevesi saostetaan kemiallisesti, selkeytetään ja suodatetaan. Neutralointikemikaalin (tavallisesti NaOH) kulutus kasvaa rikkipitoisuuden mukana, mikä lisää kustannuksia.

Pesurin lauhdeveden ja tuhkalietteen käsittelyn vaatimuksista tulee sopia etukäteen paikallisen ympäristöviranomaisen kanssa.

Pesurit ovat taloudellisesti edullisimpia kosteita puupolttoaineita käyttävissä lämpökeskuksissa. Niissä hiukkasten erotusaste on melko vaatimaton, koska pienhiukkasten osuus lentopölyssä on suuri. HCl:n erotuksesta huolimatta neutralointikemikaalin käyttötarve on pieni, koska puun emäksinen tuhka neutraloi lauhdevettä. Kuorta ja purua käyttävillä laitoksilla pesurin lämmön talteenotto teho on parhaimmillaan noin 30 % kattilan tehosta, jos kaukolämmön pa-

luuveuden lämpötila on matala (esimerkiksi 45 °C) ja palamisilma kostutetaan pesurivedellä. Kostutuksen ansiosta pesurista saadaan suurempi ja tasaisempi LTO-teho kaukolämmön paluuveden lämpötilan vaihdellessa. Pesuri toimii tehokkaimmin kattilan nimellistehon alueella. Pienillä osatehoilla ilmakerroin kasvaa ja savukaasut laimenevat, mistä syystä LTO-tehon osuus pienenee.



Kuva 4. Savukaasupesurin lämmön talteenotto-osan kytkeä kaukolämpöverkkoon ja palamisilman kostutinta.

Kattilan ja pesurin yhteenlaskettu teho voi olla suurempi kuin tehollisen (alemman) lämpöarvon mukaan määritetty polttoainetehto, jossa tapauksessa laitoksen laskennallinen hyötysuhde on yli 100 %. Tämä aiheutuu siitä, että teholliseen lämpöarvoon eivät sisälly polttoaineen vedystä palamisessa muodostuneen ja kosteusveden haihdutuksessa syntyneen vesihöyryn lauhdelämmöt. Väärinkäsitysten välttämiseksi on suositeltavaa, että savukaasupesurilla varustetun laitoksen kattilateho ja pesurin LTO-teho ilmoitetaan erillisinä arvoina.

2.4 Paloturvallisuus

Suurin paloturvallisuuden riski on takapalon vaara, mistä syystä kattilat on varustettu automaattisesti laukeavalla sammutuksella. Näiden varolaitteiden toimintakunto tulee varmistaa säännöllisesti. Tulipesän riittävä alipaine tulee varmistaa jatkuvatoimisella savukaasupuhaltimen pyörimisnopeuden säädöllä. Takapalo kehittyy useimmiten häiriötilanteiden (sähkökatkot, polttoaineen syöttölaitteiden ja puhaltimien laiterikot ym.) seurauksena. Yksityiskohtaiset turvallisuusohjeet löytyvät lähteestä ”Kattilalaitosten turvallisuusohjeet” (KLTk 2007) sekä 30 kW... 1 MW kattiloille (kattilaveden lämpötila on alle 110 °C) julkaisuista ”Kiinteän polttoaineen lämpökeskuksen paloturvallisuus” (Finanssialan Keskusliitto; Ohje 2006 ja Tapiola; Ohje 2008/E70).

Seuraavassa käydään läpi tavanomaisia paloturvallisuusjärjestelmiä täydentäviä tai osittain korvaavia menetelmiä, joilla voidaan nopeuttaa palovaaran havaitsemista ja alkaneen palon ilmaisuja sekä pienentää pölyräjähdysriskiä. Lähtökohdiana on, että kpa-keskuksissa palot alkavat useimmiten kytemällä ja kehittyvät hitaasti paljon lämpöä tuottavaksi liekkipaloksi.

Toimivan lopputuloksen saamiseksi on suositeltavaa ottaa yhteyttä paikalliseen paloviranomaiseen ja vakuutusyhtiöön jo suunnitteluvaiheessa. Olennaista on, että kaikkien osapuolten kesken päästään yhteisymmärrykseen palonsuojauksen tasosta.

2.4.1 Häkäilmaisimet

Kytevässä palamisessa vapautuu paljon häkää, mistä syystä häkävaroittimella saadaan nopeasti tieto alkaneesta palosta. Häkäilmaisimia on kolmea perustyyppiä kaasuanturin toimintaperiaatteen mukaan:

- puolijohde, tavallisesti tinaoksidianturi (SnO_2)
- sähkökemiallinen kenno
- mikrokalorimetri (katalyyttikenno)

Näistä kattilalaitoskäyttöön soveltuu parhaiten puolijohdeilmaisimien. Sähkökemiallisen kennon etuna on hyvä selektiivisyys ja heikkoutena on anturin lyhyt kesto. Jos valvottavalla alueella on pysyvä taustapitoisuus häkää, kenno ”kuluu” nopeasti ja on vaihdettava vähintään 2 vuoden välein. Katalyyttikenno ei ole selektiivinen, vaan reagoi kaikkiin palaviiniin kaasuihin, mistä syystä virheellisten hälytysten riski on muita ilmaisimia suurempi.

Puolijohdeanturi on riittävän selektiivinen häkäkaasulle. Myynnissä olevissa laitteissa ohjauskeskukseen voidaan asettaa useita hälytystasoja:

- alempi, esimerkiksi HTP-arvo (haitalliseksi tunnettu pitoisuus /13/) 30 ppm (8 h, kattilahuone) tai 75 ppm (15 min, siilot ja kuljettimet) varoittamaan kohonneesta pitoisuudesta,
- korkeampi pitoisuus hälyttämään mahdollisesta palonalusta ja vielä ylempi ilmoittamaan ylittyneestä mittausalueesta.

Taustapitoisuus on peräisin puusta ja turpeesta, joista vapautuu pieniä pitoisuuksia häkää ja hiilivetyjä. Pitoisuustasot vaihtelevat paljon kohteittain, HTP-arvot ovat hyvä lähtökohta alemmaksi hälytysrajaksi kpa-laitoksilla. Ylemmän hälytysrajan oikea taso määräytyy sekin tapauksittain, tavallisesti järkevä hälytystaso on noin sadasta ppm muutama sataan ppm.

Häkäilmaisimet soveltuvat käytettäviksi polttoainesiiloissa, koteloiduissa kuljettimissa ja kattilahuoneessa sekä erityisesti murskainten palosuojaukseen. Ilmaisimet asennetaan valvottavan tilan yläosaan. Niiden tulee olla termостоituja, mikä hidastaa niiden likaantumista ja varmistaa toimivuuden valvottavan tilan lämpötilan ja kosteuden vaihdellessa. Käyttölämpötila-alue on $-30...55\text{ }^\circ\text{C}$. Häkäilmaisinjärjestelmää ei tule kytkeä automaattiseen sammutukseen, jos laitoksella on miehitys.

Laitteista on usean vuosikymmenen kokemus ja ne ovat varmatoimisia. Käyttäjän kannalta on olennaista, että ilmaisimet on asennettu oikein ja mitta-alueet sekä hälytysrajat valittu laitoksen tarpeisiin sopiviksi.

Hintaluokka (vuonna 2012): Ohjauskeskus noin 2 500 euroa ja ilmaisimien noin 650 euroa/kpl. Esimerkiksi 5 ilmaisimen järjestelmän hinta on noin 6 000 euroa. Jos laitoksen hälytyskeskus on riittävän monipuolinen, ei erillistä ohjauskeskusta välttämättä tarvita.

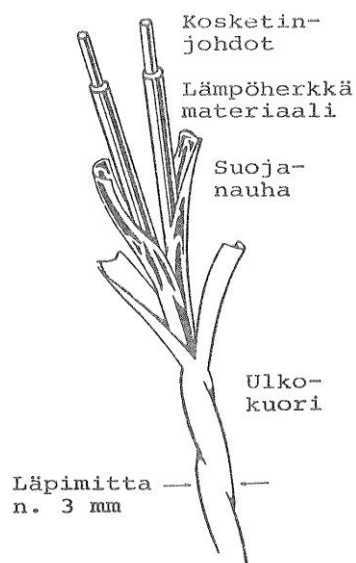
Merkittävän turvallisuusparannuksen ja kohtuullisen hankintahinnan takia häkäilmaisinjärjestelmä suositellaan hankittavaksi kaikkiin uushankinta- ja perussaneerauskohteisiin 0,5...30

MW teholuokassa. On mahdollista, että vakuutusmaksuista saa alennusta parantuneen palosuojauksen perusteella.

2.4.2 Lämpöilmaisinkaapeli

Ilmaisinkaapelin toiminta perustuu kahden johtimen välisen eristeen pehmenemisestä aiheutuvaan oikosulkuun, kuva 5. Eristetyt johtimet on punottu kimpuksi ja ne puristuvat toisiaan vasten. Kaapelin pää on kytketty jännitelähteeseen ja kaapelissa kulkee pieni virta. Toimintalämpötilassa termoplastinen eriste pehmenee ja antaa myöten puristusvoimalle, jolloin johtimet oikosulkeutuvat ja ilmaisimien hälyttää. Johtimina voidaan käyttää metalliseoksia, joiden sähkönjohtavuus on suurempi kuin puhtailla metalleilla. Kun johtimien ominaisvastus (ohmia/metri) tunnetaan, saadaan ohjauskeskuksesta tieto oikosulkukohdasta.

Myynnissä on tekniseltä toteutukseltaan edellä kuvattua monipuolisempia tuotteita, joissa ilmaisu perustuu kaapelin sähköisten ominaisuuksien muuttumiseen lämmön vaikutuksesta. Ilmaisimissa on neljä johdinta, joista kaksi valvoo lepovirralla kaapelin kuntoa ja kaksi johtimien välistä vastusta, joka pienenee lämpötilan noustessa. Hälytyksen jälkeen kaapeli palautuu normaaliin tilaan, kun lämpötila laskee, ellei lämpötila ole ylittänyt kaapelille sallittua ylikuumenemisrajaa. Toteutustapoja on monia muitakin, myynnissä on esimerkiksi lämpötila-herkkään valokuituun perustuvia tuotteita.



Kuva 5. Lämpöilmaisinkaapelin perusrakenne.

Ilmaisinkaapeleita on saatavana eri lämpötiloissa toimivina, useimmiten 70...140 °C alueella. Tavanomaisiin lämpöilmaisimiin verrattuna ilmaisinkaapeleilla on monia etuja:

- helppo asentaa, voidaan sijoittaa kaapelihyllyjen päälle ja kuljetintunneleihin
- voidaan asentaa suoraan kontaktiin laakeripesiin valvomaan ylikuumenemista, kohteina mm. kuljettimien päätytelojen ja hihnojen kannatinrullien laakerit,
- valvoo koko kaapelin pituutta ja tarvittaessa järjestelmää on helppo laajentaa.

Ilmaisinkaapelien hyöty määräytyy tapauskohtaisesti eikä yleisiä suosituksia niiden käytöstä tarvita.

2.4.3 Kipinäilmaisimet

Kipinäilmaisimet on tarkoitettu ensisijaisesti kohteisiin, joissa on pölyräjähdysvaara, jonka voi aiheuttaa esimerkiksi polttoainekuorman mukana tullut palopesäke. Palo voi alkaa laitoksen polttoaineen käsittelylaitteista, kuten murskaimelta tai kiekkoisulalta hankauslämmön seurauksena.

Alun perin kipinäilmaisimet on kehitetty käytettäväksi suljetuissa pölyputkistoissa, mutta niitä voidaan soveltaa myös mekaanisiin kuljettimiin. Toiminta perustuu kuumien kipinöiden lähettämän lämpösäteilyn ilmaisuun. Ilmaisimia on kahta perustyyppiä:

- pii-ilmaisimien (Si-), jonka havaintokaista on 0,8...1,1 µm ja
- lyijysulfidi-ilmaisimien (PbS-), jonka havaintokaista on rajattu päivänvalosuodattimella alueelle 1,5...3,0 µm.

Si-ilmaisimet reagoivat herkästi päivänvaloon, mistä syystä ne eivät sovellu käytettäväksi kplaitoksissa mekaanisten kuljettimien ja käsittelylaitteiden yhteydessä.

PbS-ilmaisimet havaitsevat Si-ilmaisimia herkemmin kipinät ja sietävät luonnon- ja loisteputken valoa. Taustavalon lisääntyminen heikentää havaintoherkkyyttä ja virrehälytysten riski kasvaa, mistä syystä sijoituspaikka kannattaa suojata ulkopuoliselta valolta. Kipinäilmaisimet tulee kohdistaa putoavaan ainevirtaan, jossa polttoainekerros hajoaa ja kipinät tulevat esiin, esimerkiksi kuljettimen pudotuskuiluun tai kiekkoisulan alle. Kiinteän polttoainekerroksen sisältä, kuten esimerkiksi kuljetinhinnan päältä, ilmaisimet eivät havaitse kytevää paloa.

Pölyputkistosovelluksissa ilmaisimen hälytysviesti laukaisee automaattisammutuksen tai sulukupellin, joka ohjaa pölyn ulos putkistosta. Hälytys- ja sammutuskriteerit voidaan valita monipuolisesti. Mekaanisten kuljettimien ja käsittelylaitteiden osalta palopesäkkeen poistoon tai sammutukseen ei ole yleispätevää keinoa, vaan menettely tulee ratkaista tapauskohtaisesti.

3 Palamisen hallinta ja päästöt

3.1 PINO-normi

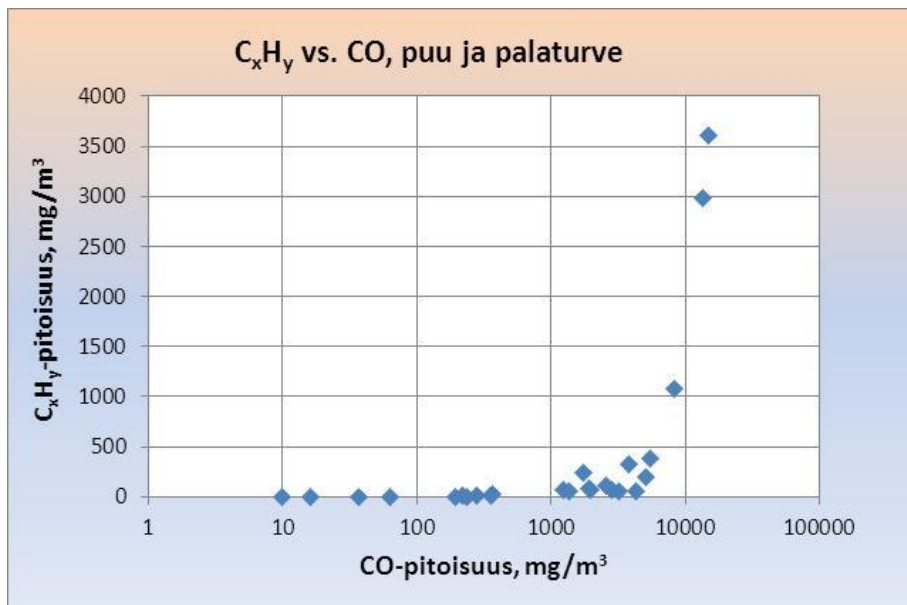
PINO-normi eli asetus 445/2010 koskee polttoaineteholtaan yli 5 MW, mutta alle 50 MW energiantuotantoyksiköitä ja niihin kuuluvien teholtaan yli 1 MW yksiköitä. Asetusta sovelletaan ympäristönsuojelun vähimmäisvaatimuksena toimintaan, johon tarvitaan ympäristönsuojelulain mukainen lupa. Asetus kattaa polttoainekohtaiset päästöraja-arvot, päästöjen leviämiseen liittyvät vaatimukset, sekundääriset päästöt, meluntorjunnan sekä laitoksen toiminnan ja sen päästöjen ja vaikutusten tarkkailun. Päästöraja-arvojen osalta lähtökohtana on BAT:n soveltaminen.

Siirtymäaika olemassa oleville laitoksille on vuoden 2017 loppuun saakka.

3.1.1 Käyttöparametrien yhteys päästöihin

Päästöjen jatkuvatoiminen mittaus ei kustannussyistä tule tavallisesti kysymykseen pienissä laitoksissa, mistä syystä palamisen käyttöparametrien vaikutuksen tunteminen päästöihin on tärkeää. Eniten päästöihin suoraan vaikuttava säätösuure on savukaasujen häkäpitoisuus. Kuvan 6 mukaan hiilivetyjen päästöt pysyvät pieninä, kun CO-pitoisuus on alle 1 000 mg/m_n³ (kuiva kaasu 6 % O₂). Kun häkäpitoisuus pysyy matalana, ovat muutkin terveydelle haitalliset

päästöt pieniä. Häkäpitoisuuden hallinnalla voidaan vaikuttaa mm. PAH-yhdisteiden päästöihin ja pienhiukkasten koostumukseen.



Kuva 6. Hiilivetypäästö kasvaa jyrkästi, kun häkäpitoisuus ylittää kynnyksarvon. Pitoisuudet on redusoitu kuivaan savukaasuun 6 % happipitoisuudessa.

Häkäpitoisuuden hallinnan kannalta on olennaista, että palamislämpötila on riittävän korkea ja kaasujen sekoittuminen tehokasta. Leijupetikattiloissa kaasut sekoittuvat tehokkaasti, mistä syystä häkäpitoisuuden hallinta on niissä varmempaa kuin arinapoltoissa. Tavallisin säätötapa on, että kattilan tehontarve (menoveden lämpötila) ohjaa polttoaineen syötön ja ensiöilman määrää ja savukaasun pitoisuusarvot (O₂ ja CO) toisioilman määrää. Tulipesän yläosan lämpötilan mittaus ohjaa savukaasun takaisinkierrätyksen määrää.

Polttoaineen laatu on olennainen päästöihin ja hyötysuhteeseen vaikuttava tekijä etenkin pienessä teholuokassa. Kosteudeltaan ja palakooltaan tasainen polttoaine helpottaa polton hallintaa ja vähentää haitallisten päästöjen määrää ja käyttöhäiriöitä. Tulipesän muuraukset kohottavat ja vakauttavat tulipesän lämpötilaa, mikä pienentää häkäpitoisuuksia.

3.1.2 Omaehtoinen tarkkailu ja dokumentointi

PINO-normissa on määritelty kattavasti päästöjen ja eri toimintojen tarkkailusta 5...50 MW laitoksilla. Vastaavia käytäntöjä on hyödyllistä soveltaa monilta osin pienemmässäkin teholuokassa. Olennaisia seikkoja ovat mm. polttoaineen laadun seuranta ja toimitusten toteutus siten, että lähiasutukselle aiheutuvat haitat minimoidaan. Yleisestä siisteydestä huolehtiminen parantaa käyttövarmuutta ja –turvallisuutta sekä luo mielikuvan laadukkaasta toiminnasta ja lähiasukkaiden terveys- ja viihtyvyysarvojen kunnioittamisesta.

3.2 Päästöt ilmaan

Päästöjä tarkastellaan ensisijaisesti 0,5...5 MW teholuokassa, jossa polttotekniset toteutukset ja päästöjen vähentämistekniikat eivät ole vakiintuneet samassa määrin kuin suuremmassa laitospoissa. Pienessä teholuokassa päästöjen terveys- ja viihtyvyyshaitat ovat keskeisimpiä asioita. Olennaisinta on hiukkaspäästöjen vähentäminen, typen ja rikin oksidien päästöt ovat tästä näkökulmasta toissijaisia.

3.2.1 Todelliset päästöt kenttäoloissa (CO, NO_x ja SO₂)

Häkä

CO-päästöjen määrä vaihtelee kattiloittain paljon alle 5 MW laitoksissa, hetkelliset pitoisuudet ovat karkeasti arvioiden alueella 20...10 000 mg/m_n³. Alue on niin laaja, ettei yleisen päästökertoimen ilmoittaminen ole järkevää. Eniten päästön suuruuteen vaikuttaa polttoaineen laatu, jonka vaihtelut vaikeuttavat polttoaineen tasaista syöttöä kattilaan. Suurimmat häkäpitoisuudet tulevat pурсkeina syöttöhäiriöiden aikana. Lisäksi päästöön vaikuttaa pienten kattiloiden instrumentoinnin puutteet vanhoissa kattiloissa, joista puuttuvat sekä happi-, että häkämittaukset. Stokeripolton ja lambda-anturien käytön yleistymisen myötä tilanne on parantunut tuntuvasti. Uusiin teholtaan yli 0,5 MW kattiloihin asennetaan useimmiten happimittaus, jonka avulla säädetään toisioilman määrää.

Uusissa, teholtaan yli 5 MW kattiloissa on käytössä happimittauksen lisäksi CO:n pitoisuusmittaus. Hyvin toimivissa kattiloissa CO-pitoisuudet ovat alle 500 mg/m_n³.

NO_x

Typen oksidien muodostuminen on mutkikas reaktioketju. Päästön määrään vaikuttavat polttoaineen kosteus, typpipitoisuus sekä palamiskaasujen lämpötilan ja happipitoisuuden jakauma tulipesässä. Alle 30 MW teholuokassa typen oksidien päästöön voidaan vaikuttaa palamisilman vaiheistuksella ja savukaasujen takaisinkierrätyksellä.

Puupolttaineilla typen oksidien päästöt ovat 100...400 mg/m_n³ alueella, kun jäännöshappipitoisuus on alle 8 %.

Turpeen polton NO_x-päästöt ovat useimmiten 400...650 mg/m_n³, vaikeimpia hallittavia ovat vanhat arinakattilat.

SO₂

Rikkidioksidipäästöt määräytyvät ensisijaisesti polttoaineen rikkipitoisuuden mukaan, mutta tuhkan mineraaliaineksen kalium, natrium ja kalsium sitovat osan rikistä tuhkaan. Puun rikkipitoisuus on pieni ja tuhka sisältää paljon kaliumia ja kalsiumia, mistä syystä valtaosa rikistä jää tuhkaan. Puun polton rikkidioksidipäästöistä on vain vähän mitattuja tietoja. Suppean aineiston pohjalta arvioituna puun polton rikkidioksidipäästö on enimmillään noin 20 mg/m_n³ (kuiva kaasu, redusointi 6 % O₂-pitoisuuteen).

Turpeenpoltossa polttoaineen omasta rikistä sitoutuu tuhkaan 10...30 %, tehokkaimmin leijukerros-poltossa. Savukaasujen rikkipitoisuudet ovat tavallisesti alueella 350...500 mg/m_n³. Runsasrikkisiltä soilta tuotettujen polttoturpeiden savukaasujen SO₂-pitoisuudet voivat olla 750 mg/m_n³ tasolla.

3.2.2 Tekniikka- ja polttoainekohtaiset päästöraamit

Häkäpitoisuuksien tavoitearvoja tarkastellaan kohdassa 4.2. Tämän suosituksen enimmäisrajarvot koskevat uusia kattiloita. Puun ja turpeen seospolton päästörajat lasketaan asetuksessa 445/2010 esitetyn kaavan mukaan. Laitoksen toiminnan (käyttö, päästöt, melu, jätevirrat ym.) sekä sen päästöjen vaikutusten tarkkailussa ohjenuorana on asetuksen 445/2010 mukaiset käytännöt (1...5 MW rinnakkaiskattilat) myös 0,5...5 MW teholuokassa.

Stokeri- ja arinapoltto, teholuokka 0,5...5 MW

Hiukkaset

Syklonierotin on toimiva ja BAT:n mukainen perusratkaisu puun ja turpeen poltolle. 200 mg/m_n^3 enimmäispäästöraja sopii tavoitetasoksi myös yksittäisille 0,5...5 MW tehoalueen uusille kattiloille.

Typen oksidit

Palamisilman vaiheistus on riittävä vähennystekniikka. Puupolttoaineille 375 mg/m_n^3 ja turpeelle 500 mg/m_n^3 ovat sopivia tavoitetasoja yksittäisille 0,5...5 MW teholuokan uusille kattiloille.

Rikkidioksidi

PINO-asetuksen mukaiset raja-arvot tavoitetasoiksi myös yksittäisille 0,5...5 MW uusille kattiloille eli puupolttoaineille 200 mg/m_n^3 ja turpeelle 500 mg/m_n^3 . Runsasrikkiset turpeen suositellaan ohjattaviksi kattiloihin, joissa on pesuri tai rinnakkaispoltto puun kanssa. Menetely on polttoainetoimittajan ja lämmöntuottajan välinen sopimusasia.

Arinapoltto, 5...10 MW teholuokka

Hiukkaset

Perusvaihtoehtona erottimeksi on multisykloni, tarvittaessa sähkösuodatin polttoaineen tuhkapitoisuuden ja lentöpölyn hiukkaskoon mukaan. Pitoisuusraja asetuksen 445/2010 mukaisesti 50 mg/m_n^3 turpeelle ja puupolttoaineille.

Typen oksidit ja rikkidioksidi kuten edellä.

Kerrosleijukattilat, 5...10 MW

Hiukkaset

Perusvaihtoehtona sähkösuodatin. Sykloni/multisykloni on mahdollinen vaihtoehto pesurin esierottimena. Asetuksen 445/2010 mukainen pitoisuusraja 50 mg/m_n^3 puupolttoaineille ja turpeelle.

Typen oksidit ja rikkidioksidi kuten edellä.

Kerrosleijukattilat 10...30 MW

Hiukkaset

Perusvaihtoehtona sähkösuodatin. Pitoisuusraja 40 mg/m_n^3 .

Muut kuten edellä.

3.2.3 Vertailu Keski-Euroopan maiden päästörajoihin

Taulukossa 7 esitetään puupolttoaineiden päästöraja-arvojen vertailu Itävallan, Sveitsin, Saksan ja Suomen kesken. Kaikki pitoisuudet (mg/m_n^3) on redusoitu 6 % happipitoisuuteen kuivassa kaasussa ja pyöristetty kahden merkitsevän numeron tarkkuuteen. Hiukkasten ja typen oksidien osalta raja-arvot ovat melko yhdenmukaisia 1...5 MW tehoalueella.

Taulukko 7. Enimmäispäästöjen raja-arvot puupolttoaineille Itävallassa, Sveitsissä, Saksassa /16/ ja Suomessa teholuokittain redusoituna 6 % O₂-pitoisuuteen kuivassa savukaasussa, mg/m_n^3 . Suluissa olevat luvut tarkoittavat kansallisen lainsäädännön mukaan redusoituja pitoisuuksia.

Itävalta (red. 13 % O₂)

Tehoalue	Hiukkaspitoisuus	NO _x -pitoisuus	Häkäpitoisuus
< 2 MW	280 (150)	560 (300)	ei raja-arvoa
2...5 MW	230 (120)	560 (300)	470 (250)
> 5 MW	94 (50)	380...560 (200...300)	470 (250)

Sveitsi (red. 13 % O₂)

Tehoalue	Hiukkaspitoisuus	NO _x -pitoisuus	Häkäpitoisuus
< 2 MW	280 (150)	470 (250)	940...7 500 (500... 4 000)
2...5 MW	94 (50)	470 (250)	470 (250)
> 5 MW	94 (50)	470 (250)	470 (250)

Saksa (red. 11 % O₂)

Tehoalue	Hiukkaspitoisuus	NO _x -pitoisuus	Häkäpitoisuus
< 2,5 MW	150 (100)	380 (250)	380 (250)
2,5...5 MW	75 (50)	380 (250)	380 (250)
> 5 MW	30 (20)	380 (250)	380 (250)

Suomi (red. 6 % O₂)

Tehoalue	Hiukkaspitoisuus	NO _x -pitoisuus	Häkäpitoisuus
1...5 MW	200	375	ei raja-arvoa
5...50 MW	40...50	375	ei raja-arvoa

3.3 Sekundääriset päästöt

3.3.1 Tuhkan käsittely

Poltossa muodostuvat pohja- ja lentotuhkat sekä pesurien lietteet luokitellaan lähtökohtaisesti jätteiksi. Jätteet luokitellaan niiden syntyvän, koostumuksen tai muun tekijän pohjalta. Jätteiden luokittelussa on Suomessa käytössä ympäristöministeriön asetus yleisimpien jätteiden ja ongelmajätteiden luettelosta (YMa 1129/2001), joka pohjautuu EY:n komission päätökseen Euroopan jäteluettelosta (2000/532/EY).

Tuotannon harjoittajan on oltava selvillä tuotannossaan syntyvän jätteen määrästä ja laadusta sekä jätteen ympäristö- ja terveysvaikutuksista. Toiminnanharjoittajan on pidettävä kirjaa syntyvistä jätteistä, jos jätettä syntyy vähintään 100 tonnia vuodessa tai toiminnassa syntyy

vaarallisia jätteitä. Kirjanpitoon on sisällytettävä tiedot syntyneen jätteen lajista, laadusta, määrästä ja toimituspaikasta sekä mahdollisesta käsittelystä. Kirjanpitotiedot on säilytettävä kirjallisesti tai sähköisesti vähintään 6 vuotta. (Jätelaki 646/2011).

Turvetta poltettaessa 100 tonnin jätemäärä vastaa noin 2 MW kattilan tuottamaa vuosittaista kuivan tuhkan määrää ja puuta poltettaessa noin 5 MW kattilan tuhkamäärää.

Jätelainsäädäntö ja ympäristöhallinnon laatimat jätesuunnitelmat linjaavat, että tuhkat pitäisi ensisijaisesti hyödyntää, jos se on teknisesti mahdollista eikä taloudellisesti aiheuta kohtuuttomia kustannuksia jätteen muuhun käsittelyyn verrattuna. Jätelain etusijajärjestyksen mukaan jätteet tulisi ensisijaisesti hyödyntää materiaalina ja viimeisenä vaihtoehtona sijoittaa kaatopaikalle. Puupolttoaineiden ja muiden kotimaisten polttoaineiden tuhka tulee ensisijaisesti hyödyntää lannoitevalmisteena ja toissijaisesti maarakentamisessa.

Kaikkeen jätteen laitospäiseen tai ammattimaiseen hyödyntämiseen ja käsittelyyn tarvitaan eräitä poikkeuksia lukuun ottamatta ympäristönsuojelulain (86/2000) 28 §:n mukainen ympäristölupa. Ympäristölupaa haetaan kunnan ympäristölupaviranomaiselta, jos vuosittain käsiteltävä tai hyödynnettävä määrä on alle 10 000 tonnia ja aluehallintovirastosta, jos määrä on 10 000 tonnia tai sen yli. Ilman ympäristölupaa tuhkia on mahdollista hyödyntää lannoitevalmisteina, jos lannoitelainsäädännön ehdot täyttyvät sekä ilmoitusmenettelyllä maarakentamisessa, jos maarakennusasetuksen (VNa 591/2006) ehdot täyttyvät.

Kun savukaasupesurin lauhdeveden käsittelyssä syntyvä tuhkaliete noudetaan erikseen, toimitetaan se laitokseen, jonka ympäristöluvassa on sallittu lietteiden vastaanotto ja käsittely. Jos tuhkien kuljetuksessa käytettävä yrittäjä toimii ammattimaisena jätteiden kuljettajana tai välittäjänä, sen tulee olla rekisteröitynyt ELY-keskuksen ylläpitämään jätehuoltorekisteriin. Rekisteröitymistä ei tarvita, jos tuhkan noutaja ja hyödyntäjä eivät toimi ammattimaisesti jätteenkäsittelijöinä (esimerkiksi maatalousyrittäjä).

Jätelain (121 §) siirtoasiakirjavaatimus ei koske kattilan pesussa tai savukaasupesurissa syntyviä lietteitä.

Tuhkien lannoitekäyttö

Lannoitevalmistelaki 539/2006 säätelee lannoitevalmisteiden valmistusta, markkinoille saatamista, tuontia ja vientiä. Laki edellyttää muun muassa kaikilta toimijoilta omavalvonnan järjestämistä ja orgaanisia lannoitevalmisteita valmistavilta laitoksilta laitoshyväksyntää. Lain tavoitteena on turvata markkinoille saatettavien lannoitevalmisteiden puhtaus ja turvallisuus. **Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa lannoitevalmisteista 24/11** säädetään lannoitevalmisteiden tyypeistä, tyyppinimiryhmistä ja tyyppinimiryhmäkohtaisista vaatimuksista sekä lannoitevalmisteiden laatu-, merkintä-, pakkaus-, kuljetus-, varastointi-, käyttö- ja muista vaatimuksista sekä lannoitevalmisteiden raaka-aineista. Elintarviketurvavirasto (Evira) valvoo ja pitää yllä tyyppinimiluetteloa. **Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa 13/07 lannoitevalmisteita koskevan toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta** säädetään toiminnanharjoittajan ilmoitusvelvollisuudesta, tiedostonpitämisvelvollisuudesta, omavalvontavelvollisuudesta, ennakoilmoitusvelvollisuudesta sekä lannoitevalmisteita koskevan valvonnan järjestämisestä.

Tuhkalannoitteena tai sen raaka-aineena voidaan käyttää puun, turpeen tai peltobiomassan pohja- ja lentotuhkaa. Tuhka on käsiteltävä siten, että pölyäminen on mahdollisimman vähäistä. Lannoiteasetuksessa on annettu raja-arvot haitallisten metallien enimmäispitoisuuksille ja minimivaatimukset ravinteille, jotka lannoitevalmisteena tai niiden raaka-aineena käytettävän tuhkan tulee täyttää. Vaatimukset ovat erilaisia metsä- ja peltolannoitekäyttöön tarkoitetuille tuhkillle.

Suomessa toimii yrittäjiä, jotka vastaanottavat lannoitekäyttöön soveltuvaa tuhkaa, rakeistavat tuhkan ja toimittavat edelleen metsälannoitekäyttöön. Tuhkan tuottajan on ennen lannoitevalmisteen tai sen raaka-aineen markkinoille saattamista tai valmistusta markkinoille saattamista varten tehtävä ilmoitus elinkeinotoiminnan aloittamisesta Eviralle. Ilmoitukseen on liitettävä kuvaus toiminnan järjestämisestä, valmisteen tuoteselosteet ja kirjallinen omavaltasuunnitelma. Myös toiminnan muutoksista ja lopettamisesta on ilmoitettava viipymättä kirjallisesti. Ilmoitukset tulee tehdä Eviran julkaisemilla lomakkeilla.

Tuhkien maarakennuskäyttö

Tuhkien hyödyntäminen maarakentamisessa vaatii ympäristöluvan. Tuhkien maarakennuskäyttöä on kuitenkin yritetty helpottaa **Valtioneuvoston asetuksella eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (VNa 591/2006)**. Turpeen ja puun polton tuhkia voidaan hyödyntää tietyissä asetuksessa määritellyissä maarakennuskohteissa ilmoitusmenettelyllä, mikäli asetuksessa esitetyt perustutkimusten ja laadunvalvonnan raja-arvot haitallisten aineiden kokonaispitoisuuksille ja liukoisuuksille alittuvat.

Ympäristökelpoisuuden lisäksi tuhkien tulee olla myös teknisesti soveltuvia maarakentamiseen. Vaadittavat ominaisuudet ja käytettävät tutkimusmenetelmät määräytyvät käyttökohteen vaatimusten mukaan.

Kaatopaikkasijoitus

Suomessa jätteiden kaatopaikkakelpoisuutta säätelee valtioneuvoston päätös kaatopaikoista (Vnp 861/97), joka on annettu Euroopan unionin kaatopaikkadirektiiviin (99/31/EY) perustavasti. Valtioneuvoston päätöksessä esitetään vaatimukset jätteiden kaatopaikkakelpoisuuden arvioimiseksi ja ne rajoitukset, jotka koskevat jätteiden sijoittamista kaatopaikoille. Periaatteet ja menettelyt jätteen kaatopaikkakelpoisuuden arvioimiseksi on esitetty Valtioneuvoston asetuksessa (202/2006) kaatopaikoista annetun valtioneuvoston päätöksen muuttamisesta.

Vuoden 2011 alussa voimaan astunut jäteverolaki (1126/2010), laajentui koskemaan myös kaatopaikoille sijoitettavia lentotuhkia sekä yksityisiä kaatopaikkoja. Kaatopaikalle sijoitettavasta jätetonnista täytyy maksaa jäteveroa 40 euroa. Vuoden 2013 alusta jätevero nousee 50 euroon tonnilta. Veroa ei tarvitse suorittaa jätteistä, jotka hyödynnetään kaatopaikalla sen perustamisen, käytön tai käytöstä poistamisen kannalta välttämättömissä rakenteissa.

3.3.2 Savukaasupesurien lauhdeveden käsittely

Puhdistinlaitteiden jätevesien käsittelystä on säädetty asetuksessa 445/2010. Toiminnanharjoittajan on selvitettävä energiantuotantolaitoksen jätevesien määrä ja laatu. Vesiympäristölle

haitallisten aineiden enimmäispitoisuudet on määritelty valtioneuvoston asetuksen 1022/2006 liitteessä 1.

Lauhteen johtamista yleiseen viemäriin vaikeuttavat eniten veteen liuenneet sinkki, lyijy ja kadmium. Kiintoainepitoisuudet ja pH-arvot vaihtelevat paljon. Jos pesurin lämmön talteenottoaste on korkea, suuri lauhdevesimäärä laimentaa vedessä olevien haitta-aineiden pitoisuuksia. Lauhdeveden määrä on 2...8 m³ päivässä 1 MW polttoainetehoa kohti. Aihetta tarkastellaan laajemmin lähdeviitteessä /15/.

Asetuksen 445/2010 mukaan viemäriin ja vesistöön johdettavat pesurissa ja lauhduttimessa muodostuvat lauhdevedet on neutraloitava, selkeytettävä ja suodatettava. Ojaan johdettavat lauhdevedet on saostettava kemiallisesti, selkeytettävä ja suodatettava.

Asetukseen kuulumattomien yksittäisten 0,5...5 MW kattiloiden osalta lauhdevesien käsittelyn vaatimuksista on mutkattominta sopia paikallisen ympäristöviranomaisen kanssa.

4 Kattiloiden tehokkuuden tunnusluvut

4.1 Palamisen puhtaus

Ensisijainen palamisen puhtauden indikaattori on savukaasujen häkäpitoisuus. Typen oksidien päästöjä lukuun ottamatta häkäpitoisuuden alentaminen vähentää muiden haitallisten ja erityisesti terveydelle haitallisten päästöjen määrää. Häkäpitoisuuden merkitys laitoksen toiminta-arvoihin muuttuu kattilakoon mukaan.

Suurien laitosten polttotekniikka, instrumentointi ja automaatio ovat korkeatasoisia. Niissä savukaasujen häkäpitoisuus voidaan säätää pieneksi kasvattamatta merkittävästi ilmakerrointa ja tehohäviöitä. Tästä syystä suurten kattiloiden päästöjen ja hyötysuhteen optimin säätöarvot ovat lähekkäin.

Pienissä kattiloissa häkäpitoisuuden alentaminen edellyttää ilmakertoimen kasvattamista, mikä useimmiten heikentää hyötysuhdetta enemmän kuin CO-päästön pienentämisestä saatu pieni häviövähennys. Hyötysuhteen ja päästöjen optimitoiminta-arvot ovat kaukana toisistaan. Keskimääräisen häkäpitoisuuden alentaminen ja sen vaihteluiden hallinta ovat tärkein päästöihin vaikuttava asia alle 5 MW kattiloissa. Merkittävä edistys tältä osin on saatu taajuusmuuttajien käytön (puhaltimet ja polttoaineen syöttölaitteet) lisääntymisen myötä. Tämä ei poista häkämittaukseen perustuvan säädön tarvetta pienissä kattiloissa. Teknisesti se on helppo toteuttaa.

4.2 Savukaasujen säätö- ja mitoitusarvojen suositukset

4.2.1 Savukaasun lämpötila ja happipitoisuus

Savukaasujen jäännöshappipitoisuus vaikuttaa häkäpitoisuuteen ja loppulämpötila kattilan syöpymisriskiin, molemmat hyötysuhteeseen. Savukaasun loppulämpötilojen suositukset ovat

Kattilan nimellisteho	Savukaasun loppulämpötila	Savukaasun lämpötila osateholla
0,5 – 2 MW	< 180 °C	> 120 °C
2 – 30 MW	< 150 °C	> 120 °C

Suositus pätee myös silloin, kun käytetään pesuria, jolloin savukaasun lämpötila tarkoittaa pesurille tulevaa kaasua.

Savukaasun loppulämpötilan tulee olla niin korkea, ettei savukaasujen rikkihapon kastepiste alitu millään tehoalueella savukanavissa tai piipussa.

Kun kattila toimii nimellisteholla, savukaasun happipitoisuuden (mitattuna kuivasta kaasusta) keskimääräiset suositusarvot ovat

Kattilan nimellisteho	Savukaasun happipitoisuus
0,5 – 2 MW	< 8 %
2 – 30 MW	< 6 %

Kuivasta savukaasusta mitattu häkäpitoisuuden tavoitearvo on alle $1\,000\text{ mg/m}_n^3$ (kuiva kaasu, red. 6 % O_2) 5... 30 MW teholuokassa.

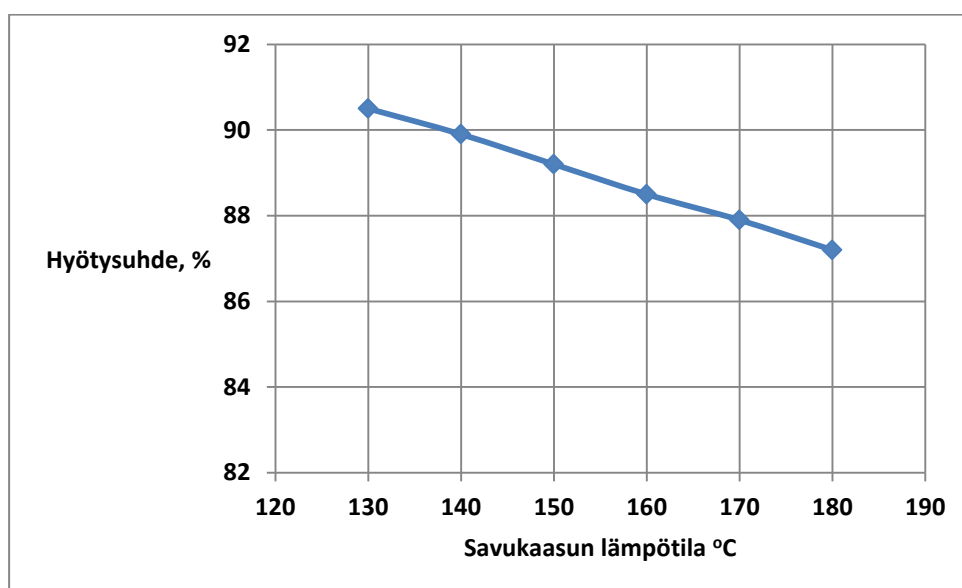
4.2.2 Arinakuona ja lentopöly

Arinakuonan ja lentotuhkan palamiskelpoisen aineen massaosuuksien tavoitetasot ovat

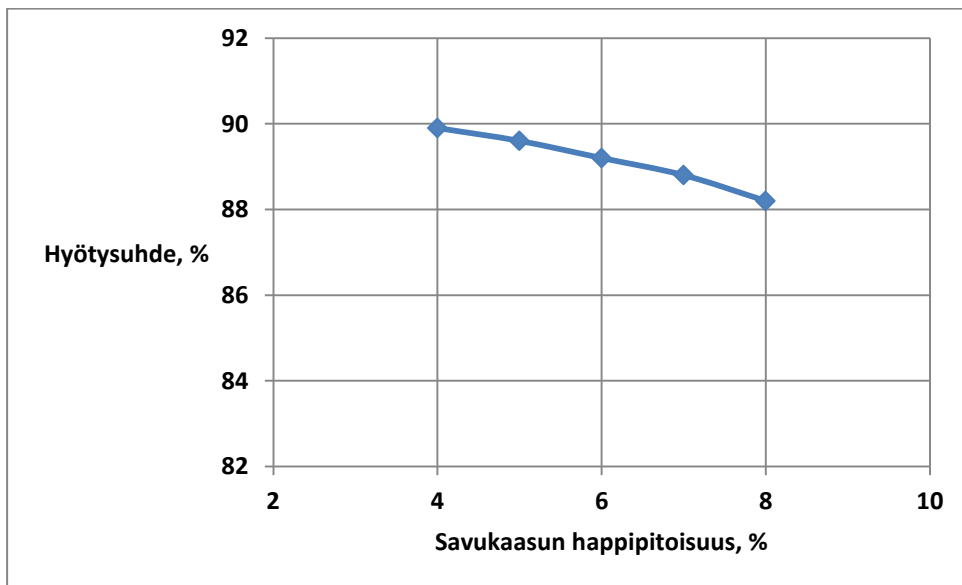
Polttotapa	Polttoaine	Arina/Pohjakuona	Savukaasun hiukkaset
Arina ja stokeri	Hake	< 50 %	< 50 %
	Palaturve	< 30 %	< 30 %
Leijukerros	Hake/Jyrsinturve	< 10 %	< 10 %

4.2.3 Kattilan hyötysuhde

Hyötysuhteeseen vaikuttavat eniten savukaasun loppulämpötila ja savukaasun happipitoisuus. Kuvissa 7 ja 8 esitetään savukaasun lämpötilan ja happipitoisuuden vaikutus hyötysuhteeseen.

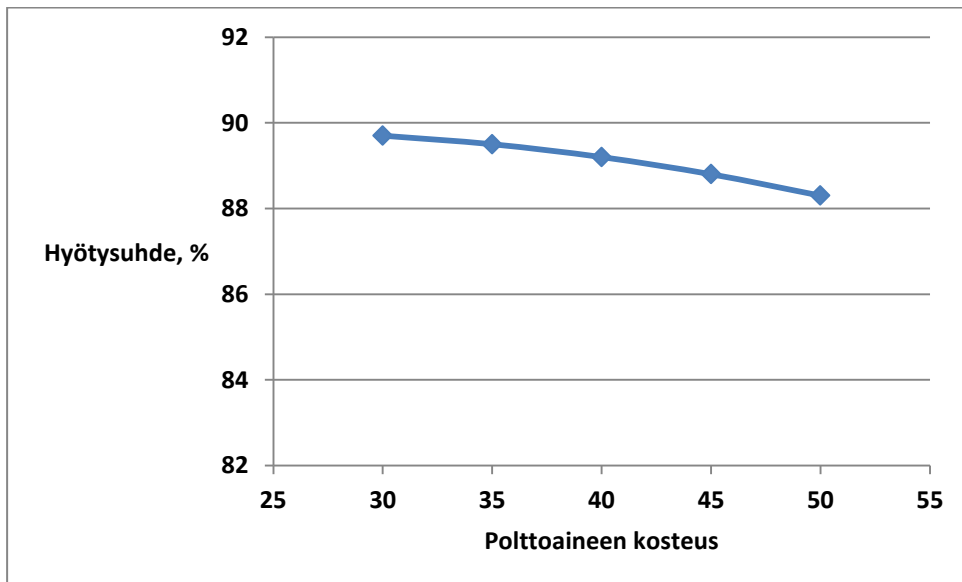


Kuva 7. Esimerkki savukaasun lämpötilan vaikutuksesta hyötysuhteeseen.



Kuva 8. Esimerkki savukaasun happipitoisuus vaikutuksesta hyötysuhteeseen

Kuvassa 9 esitetään polttoaineen kosteuden vaikutus kattilan hyötysuhteeseen, arviossa ei ole otettu huomioon kosteuden vaikutusta palamisen hyvytyteen.



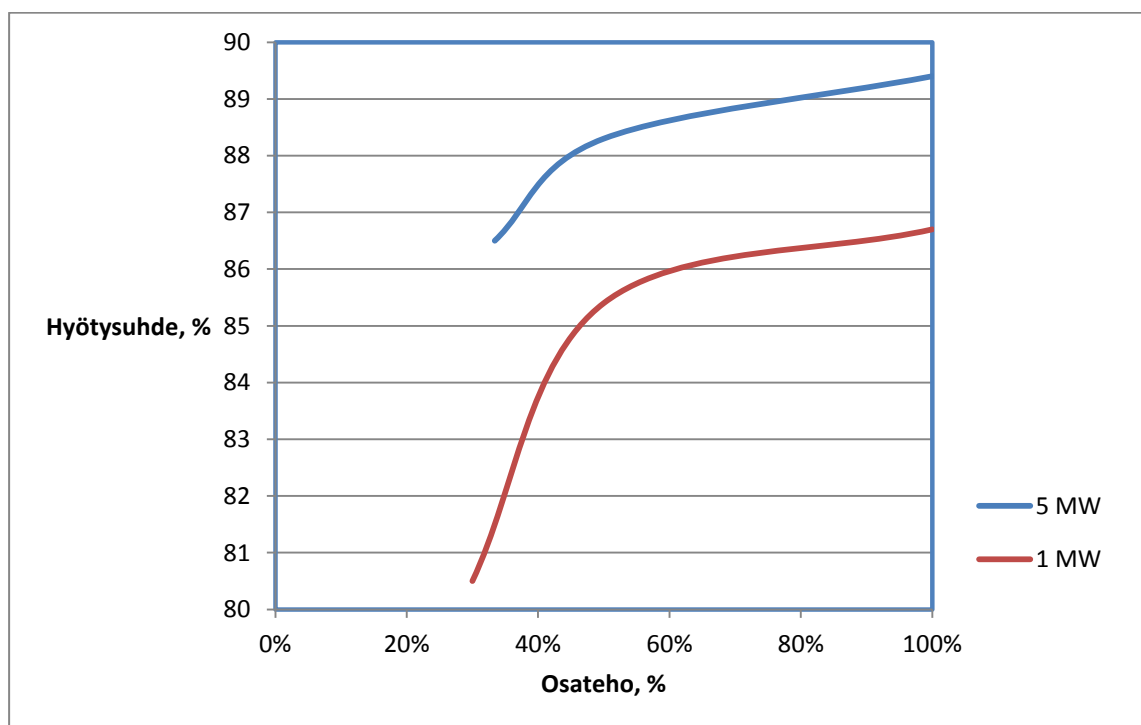
Kuva 9. Esimerkki polttoaineen pelkän kosteuden vaikutuksesta kattilan hyötysuhteeseen

Kattilan hyötysuhteeseen vaikuttavat kosteuden, savukaasun lämpötilan ja savukaasun happipitoisuuden ohella palamiskelpoisten kaasujen (CO-pitoisuus) ja palamiskelpoisen ainesosan määrä lentopölyssä ja pohja/arinakuonassa. Laskelmissa on otettu huomioon kattilan säteily- ja johtumishäviö.

Palamiskelpoisen kaasun vaikutus hyötysuhteeseen on melko pieni, kun savukaasun häkäpitoisuus on kohtuullisen pieni. Noin 0,2 % (2 000 ppm = 2 500 mg/m³) CO-pitoisuus heikentää hyötysuhdetta noin 1 prosenttiyksikön.

Savukaasun hiukkasten ja arina/pohjakuonan palamiskelpoisen aineen osuus on myös kohtuullisen pieni nykyaikaisissa laitoksissa. Koska häviölaskennassa polttoaineen tuhkapitoisuudella on olennainen merkitys, voidaan puunpoltossa hyväksyä korkeampi palamiskelpoisen osuus kuin turpeella.

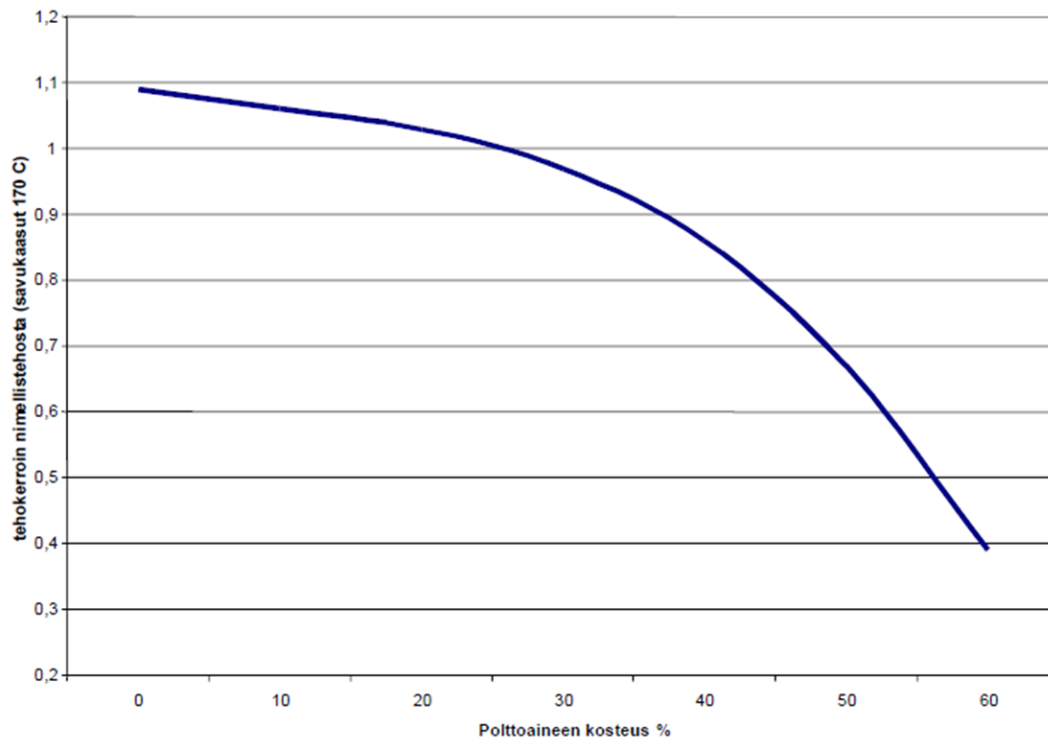
Kuvassa 10 esitetään esimerkki hyötysuhteen muuttumisesta kattilan tehon mukaan. Kuvassa on oletettu pienessä kattilassa savukaasun loppulämpötilan alenevan merkittävästi kattilan tehon mukaan, samoin savukaasun happipitoisuus kasvaa suhteessa pienessä kattilassa enemmän kuin suuremmassa kattilassa. Alle 1 MW kattiloissa pienillä osatehoilla säteily- ja johtumishäviön osuus häviöistä on suuri.



Kuva 10. Esimerkki kattilan hyötysuhteesta tehon mukaan.

4.2.4 Polttoaineen kosteuden vaikutus kattilasta saatavaan tehoon

Kuvassa 11 on esimerkki polttoaineen kosteuden vaikutuksesta kattilasta saatavaan tehoon.



Kuva 11. Esimerkki kosteuden vaikutuksesta kattilan tehoon /10/.

Mitoituskosteutta suurempi kosteus alentaa kattilasta saatava tehoa. Samalla kattilan hyötysuhde alenee merkittävästi.

4.3 Yhteenveto tarvittavasta automaatiosta

Automaatioon ja valvontaan suositellaan sisältyvän 0,5...5 MW tehoalueen laitoksilla:

Kiinteistö

- Kameravalvonta (piha, polttoaineen vastaanotto, siilot ja käsittelylaitteet, kattilahuone, valvomo)
- Häkäilmaisimet polttoaineen käsittelylaitteisiin, kattilahuoneeseen ja valvomoon tavanomaisen palonvalvonnan lisäksi
- Muut viranomaisten edellyttämät ja omaan käyttöön tarvittavien toimintatietojen keruu

Polttoaineen käsittely

- Syöttösiilojen ja –suppiloiden ylä- ja alarajavalvonta
- ”Ruuhkavahdit”, esimerkiksi kuljettimien risteyskohtiin
- Polttoaineen syötön portaaton säätö tehontarpeen mukaan (taajuusmuuttajakäytöt)

Poltto ja kattila

- Säättöimilaitteissa (puhaltimet, pumput) taajuusmuuttajakäytöt
- Savukaasujen lämpötila- jäännöshappimittaus
- Polttotehon portaaton säätö (tavallisesti menoveden lämpötilan mukaan)
 - Ensiöilman määrä tehontarpeen mukaan
 - Toisioilman määrä savukaasujen happipitoisuuden mukaan
 - Erilliset puhaltimet ensiö- ja toisioilmalle

- Tulipesän lämpötilan mittaus ja säätö
 - Perussäätö tavallisesti savukaasujen takaisinkierätyksellä ja ilmanjaolla (vaikuttaa NO_x- ja CO-päästöihin)
 - Lämpötilan asetusarvot (minimi ja maksimi) määräytyvät tapauksittain
- Tulipesän alipaineen mittaus ja säätö
 - Alipaineen asetusarvon mukaan säätyvä savukaasupuhallin
 - Hälytys takapalon vaarasta
- Paluuveden lämpötilan säätö, asetusarvo 80...85 °C
- Palamisen puhtaus
 - Pienissä kattiloissa varmistetaan tulipesän lämpötilaa ja jäännöshappipitoisuutta säätämällä
 - Luotettava tieto palamisen puhtaudesta vaatii savukaasujen häkäpitoisuuden määrittämisen (mittausvelvoite yli 5 MW kattiloissa)
 - Savukaasujen häkäpitoisuus enintään 1 000 mg/m³.

5 Yleiset suositukset laitosta hankittaessa

Tässä suosituksessa varsinaiseen hankintaan sovelletaan suurelta osin lähdeviitettä 10, jossa tarkastellaan teholtaan enintään 1 MW hakelämpökeskuksen hankintaa. Lähteen tietoja on päivitetty uusien asetusten ja ohjeiden osalta. Ohjeistoa hyödynnetään siltä osin kuin ne koskevat kaukolämmitysjärjestelmiä, joihin kuuluvat mm. pienehkön kunnan keskustaajamat sekä erilliset muutaman kymmenen kiinteistön asuntoalueet, joiden tarvitsema lämpö tuotetaan keskitetysti. Lämmönjakeluverkon teknisiä kysymyksiä ei tarkastella tässä yhteydessä.

5.1 Valmistelu

Esisuunnittelun perusteella syntyvät kattilalaitoksen tekniset päätökset sekä mitoitetaan järjestelmä. Teknis-taloudellisia sekä ympäristövaikutuksia on tarpeen arvioida pitkällä aikavälillä, jos mahdollista laitoksen koko elinkaaren mukaan. Tulosten perusteella arvioidaan hankinnan kannattavuutta. Tämä valmisteluvaihe tulee tehdä huolellisesti, koska alkuvaiheessa tehtyjen virheiden korjaaminen myöhemmin on usein hankalaa ja kallista. Esisuunnittelu edellyttää asiantuntemusta monista teknisistä asioista, mutta myös paikallistuntemuksella on suuri merkitys. Jos tilaajalla ei ole kokemusta kpa-laitoksen hankinnasta, on järkevää tilata valmistelu kokeneelta asiantuntijalta.

Alustava tarkastelu tehdään tavallisesti suuntaa antavien tunnuslukujen avulla, kuten esimerkiksi lämmitettävien rakennuskuutiometriä (r-m³) suhde lämpöverkon pituuteen. Asuin- ja liikerakennuksien osalta tämän tunnusluvun tulisi olla yli 40 r-m³/verkostometri, jotta hanke olisi kannattava. Teollisuuslaitosten ja vastaavien rakennusten lämmitysenergian tarvetta ei voida arvioida pelkästään rakennuksen tilavuuden perusteella, vaan esimerkiksi aikaisempien energiankulutusmäärien mukaan. Lisäksi on tarpeen arvioida, muuttuuko lämmitystehon tarve tulevaisuudessa.

Kun tarkasteltavat kiinteistöt on valittu, määritetään niiden lämmitystehon tarpeet ja vuotuiset energiankulutukset. Tulosten perusteella arvioidaan tarkemmin, mitkä kiinteistöt olisi tarkoituksenmukaista liittää keskitettyyn lämmitykseen.

Kpa-kattila mitoitetaan usein peruslämmityskattilaksi, jonka teho ei yksinään riitä kovimpien pakkasten aikaiseen lämmitykseen. **Laitteiden mitoitus on syytä antaa asiantuntevan**

suunnittelijan tehtäväksi. Erityisesti lämpimän käyttöveden vaikutus mitoitustehoon on määritettävä tapauskohtaisesti.

Rakennuttajan tulee selvittää verkkoon liittyvän kiinteistökannan perustiedot ennen suunnittelun toimeksiantoa. Mitoitukseen vaikuttavia tietoja ovat esimerkiksi rakennusten

- pinta-alat ja tilavuudet,
- käyttötarkoitukset,
- käyttäjät,
- ilmaston käyttöajat,
- lämpimän käyttöveden käyttöajat ja määrät,
- nykyiset lämmitystavat ja lämmityslaitteiden kunto,
- lämmitysenergian kulutustiedot lähivuosilta.

Ennen lopullisen suunnittelun aloitusta on suositeltavaa vieraillla toimivilla kaukolämpölaitoksilla perehtymässä laitostekniikkaan, polttoaineiden hankintaan ja kaukolämpöliiketoimintaan haastatteleamalla laitosten käyttäjiä sekä taloudesta vastaavia henkilöitä.

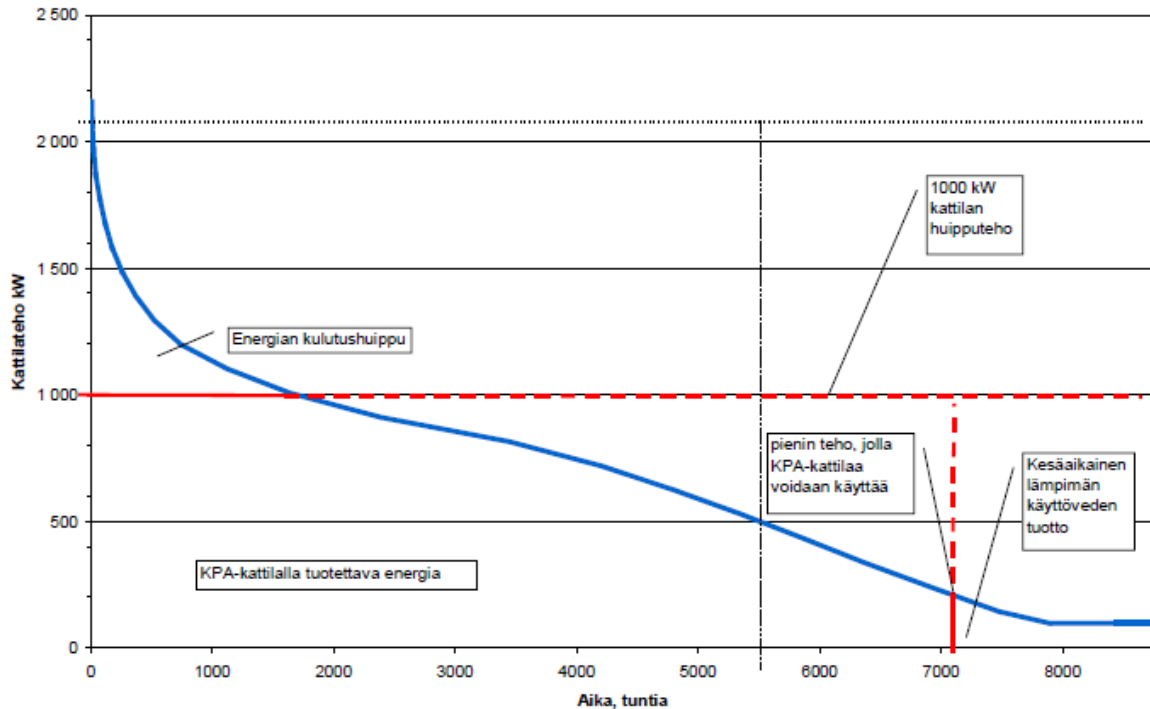
5.1.1 Kpa-kattilan tehon mitoitus

Kiinteän polttoaineen kattilaa ei ole tarkoituksenmukaista mitoittaa lämmitysverkon maksimitehon mukaan. Poltto on puhtainta ja tehokkainta kattilan toimiessa lähellä nimellisteho (70...100 %), mistä syystä kpa-kattila soveltuu peruslämmön tuottajaksi, jonka kuorma on tasainen ja nimellistehon käyttöaika mahdollisimman suuri. Pienellä osateholla palamisen hallinta vaikeutuu ja hyötysuhde pienenee ilmakertoimen sekä säteily- ja johtumishäviöiden osuuden kasvun takia. Mitoitustehon kasvaessa kpa-kattilan hinta kasvaa paljon enemmän kuin esimerkiksi kevytöljykattilan, minkä takia alempi mitoitusteho on taloudellisesti järkevä, vaikka kpa-kattilan säätöalue riittäisi kattamaan koko tehoskaalan. Peruskuormakattilan optimimitoitusteho on tavallisesti 40...60 % lämmitysverkon maksimitehosta ja kpa-kattilalla tuotetun energian osuus 80...90 % kokonaislämmöntarpeesta.

Nimellistehon käyttöaika määritellään kattilalla tuotetun vuotuisen energian mukaan. Se kertoo, montako tuntia kattilaa tulisi käyttää nimellisteholla, jotta saavutettaisiin vuotuinen energiantuotanto. Asuin- ja toimistorakennusten lämpöverkon nimellistehon käyttöaika on tavallisesti noin 2 500 h/a. Peruslämpöä tuottavan kpa-kattilan nimellistehon käyttöajan tulisi olla vähintään 4 000 h/a.

Kuvassa 12 esitetään huipputeholtaan 2 100 kW verkon tehontarpeen pysyvyyskäyrä. Lämmitysverkon tarvitsema vuosienergia on loivan sinisen käyrän alapuolinen pinta-ala. Peruslämmityskattilan nimellisteho on 1 000 kW ja se on kuvattu punaisella katkoviivalla. Kattilan käytön alarajana on pidetty 20 % mitoitustehosta eli 200 kW. Kuvan mukaan peruskuormakattilan nimellistehon käyttöaika on 5 500 tuntia.

Jos kpa-kattila mitoitettaisiin täyden huipputehon mukaan, olisi sen nimellistehon käyttöaika noin 2 600 tuntia ja lämmöntuotanto suurin piirtein sama kuin 1 000 kW peruslämpökattilalla. Investointi- ja käyttökulut olisivat paljon peruslämpökattilaa suuremmat.



Kuva 12. Lämmitystehon pysyvyyskäyrä /10/.

5.1.2 Apukattiloiden mitoitus

Jos kpa-kattila mitoitetaan peruslämmityskattilaksi, tarvitaan apukattila puuttuvan energiaosuuden tuottamiseen. Tavanomaisten yksittäisten kiinteistöjen lämmitys on usein mitoitettu siten, että kpa- ja apukattilan yhteisteho on hieman enimmäistehon tarvetta suurempi. Peruslämmityskattilan vikaantuessa ei apukattilalla voida tuottaa täyttä tehoa, mutta pystytään ylläpitämään talvellakin riittävä lämmitysteho, ettei kiinteistö vaurioidu.

Kaukolämpöverkoissa ja kiinteistöissä, joissa lämmönsaanti on turvattava täysimääräisesti kaikissa oloissa, mitoitetaan apukattilat siten, että niillä voidaan tuottaa kaikki tarvittava energia. Esimerkiksi 1 MW tehoisessa lämmitysverkossa kattilamitoitus voisi olla sellainen, että kesällä käytetään 300 kW apukattilaa ja lämmityskaudella peruslämpö tuotetaan 500 kW kpa-kattilalla, jonka rinnalla käytetään toista 700 kW apukattilaa. Apukattilat riittäisivät tuottamaan tarvittavan 1 MW tehon, vaikka kpa-kattila olisi pois käytöstä. Käyttökelpoinen vaihtoehto olisi käyttää yhtä 1 MW apukattilaa.

Pienissä laitoksissa kevytöljykäyttöinen apukattila on luonteva valinta. Puupelletti on varteenotettava vaihtoehto.

5.1.3 Polttoaineen hankinta ja käyttöorganisaatio

Polttoaineen hankinnasta ja laitoksen tulevista käyttäjistä on syytä olla käsitys jo aikaisessa vaiheessa. Käyttötapa vaikuttaa hälytysjärjestelmien toteutukseen ja automaatioon. Laitoksen pääkäyttäjät tulee perehdyttää hyvin laitostekniikkaan. Tähän liittyvät toimet ja niihin liittyvät vastuut tulee kuvata selkeästi viimeistään hankintasopimuksessa.

Lämpöyrittäjätyyppisessä toiminnassa käyttäjät määrittelevät myös polttoaineen toimitusketjun. Polttoaineen toimitustapa vaikuttaa sekä varastojen kokoon että tyyppiin ja koko laitoksen tekniseen toteutukseen ja siten myös hankintahintaan.

Ennen tarjouskyselyjä tulee määritellä polttoaine, jolle laitos mitoitetaan. Mitoituspolttoaineen riittävä saatavuus suurimman tehontarpeen aikana tulee varmistaa.

Puun ja turpeen osalta tärkein laatutekijä on polttoaineen kosteus, joka vaikuttaa poltto- ja käsittelytekniikan valintoihin ja mitoitukseen. Kosteuden vaikutus laitoksen hankintahintaan ja käyttökuluihin on merkittävä. Muutenkin polttoaineen tulee olla tasalaatuista, kappalekoon ja irtotiheyden vaihtelut vaikeuttavat polton hallintaa. **Maksuperusteena tulee olla polttoaineen energiasisältö.**

Polttoainevaraston koko on suositeltavaa mitoittaa siten, ettei viikonloppuina ole täyttötarvetta.

5.1.4 Luvat ja ympäristövaatimukset

Valmisteluvaiheessa selvitetään kunnan rakennustarkastajalta, onko laitoksen rakentamiselle suunniteltuun paikkaan kaavoituksen asettamia esteitä. Lisäksi selvitetään, onko laitos ympäristöluvanvarainen vai voiko sen rekisteröidä ympäristönsuojelun tietojärjestelmään (YSL 30 §).

Ympäristöviranomaisilta tulee varmistaa millaisia päästö- ym. vaatimuksia laitokselle asetetaan. Hankinnan etenemisen kannalta on ensiarvoisen tärkeää, että alusta pitäen tiedonkulku on avointa ja asioista sovitaan yhdessä.

5.1.5 Laitoksen tekniset laatutavoitteet

Valmisteluvaiheen teknisesti vaikein osa-alue on laitoksen laatutavoitteiden määrittely. Lähtökohdana on paras käyttökelpoinen tekniikka. Tavoite tarkoittaa sellaista tekniikan tasoa, mikä on ympäristövaatimusten, laitoksen käytön ja taloudellisten resurssien kannalta saavutettava ilman kohtuuttomia kustannuksia. Parhaaseen käyttökelpoiseen tekniikkaan kuuluu myös laitteiden valitseminen ja laitoksen sijoittaminen niin, että melupäästöt ovat mahdollisimman pienet. Laatutavoitteiden määrittelyyn vaikuttavat mm. seuraavat seikat:

- hälytysjärjestelmän taso,
- ympäristönsuojelun ja erityisesti ilmansuojelun vaatimukset,
- automaation taso
- käyttövarmuustavoitteet,
- laitoksen hyötysuhdevaatimukset,
- kunnossapidon vaatimukset.

Suunnitteilla olevan laitoksen lähiympäristön asukkaiden asenteet saattavat olla hyvinkin kielteisiä koko hanketta kohtaan. Silloin voi olla tarkoituksenmukaista korottaa hieman vaatimustasoa, vaikka ratkaisut eivät olisikaan teknis-taloudellisesti perusteltavissa. Tärkeitä seikkoja ovat laitoksen yleinen siisteys (sisällä sekä ulkona) ja etteivät polttoainetoimitukset aiheuta tarpeetonta häiriötä lähiasukkaille. Erityisesti tulee varmistua, ettei polttoaineen vastaanotosta tai kuljetuskaluston rakenteista leviä polttoainetta ympäristöön.

5.1.6 Hankkeen kannattavuus

Kun lämmityslaitokseen liittyvät kiinteistöt on alustavasti määritelty, niiden tehontarpeet laskettu, lämpöputkireitti ja putkiston koko sekä materiaali valittu sekä kattilalaitoksen keskeiset tekniset ominaisuudet päätetty, voidaan arvioida investointien suuruutta ja hankkeen taloudellisuutta. Kattilalaitoksen hankintahinta arvioidaan laitetoimittajilta pyydettyjen budjettitarjosten perusteella (sovelletaan kohdan 5.2.1 tarjouskyselypohjaa, hinnat vain päälaitteista kuten vastaanottoasema, kuljettimet, kattila rakennus).

Kustannusarvioon tulee sisällyttää ainakin seuraavat asiat:

- lämmityslaitos kaikkine varusteineen ja rakenteineen,
- lämmitysverkosto maanrakennustöineen,
- muutostyöt kiinteistöissä,
- suunnittelu ja valvonta.

Paikallisesta ELY-keskuksesta on syytä selvittää ainakin alustavasti, onko hankkeeseen saata- vissa taloudellista tukea.

Investointikustannusten pohjalta voidaan arvioida, millaisella hinnalla lämpöä pitäisi myydä kustannusten kattamiseksi kohtuullisessa ajassa. Tulosta verrataan vaihtoehtoihin kiinteistö- kohtaisiin lämmitysmuotoihin, kuten kevytöljy-, pelletti- ja suora sähkölämmitys sekä lämpö- pumppulämmitys (lämmönlähteenä porakaivo tai vesistö).

Jos lämmityslaitos aiotaan antaa yrittäjän tai yrittäjien hoidettavaksi, määritetään omakustan- nushinta, joka tuotetusta lämpöenergiasta voitaisiin yrittäjälle enintään maksaa. Hinnan pitäisi olla sellainen, että toiminta on yrittäjälle taloudellisesti kannattavaa pitkälläkin aikavälillä.

Jos laitoksen rakentamiseen päädytään, aikataulutetaan hanke, varmistetaan rahoitus ja käyn- nistetään hankinnat.

5.2 Tarjouskyselyt

Ennen varsinaisen hankinnan aloittamista on tehtävä tarpeelliset lisäselvitykset ja esisuunnit- telun päivitykset. Erityisesti varmistetaan, mitkä kiinteistöt sitoutuvat liittymään keskitettyyn lämmitykseen. Lämmitysverkko on mitoitettava ainakin alustavasti, ennekuin tarjouskyselyjä laitoksesta voidaan tehdä, jotta pumput ja paisuntasäiliöt voidaan mitoittaa. Kaavoituksen ja maanomistuksen aiheuttamat rajoitukset lämpökeskuksen ja lämpöverkoston rakentamiseen on selvitettävä.

Julkisyhteisöjen on otettava huomioon hankintalain (348/2007 ja muutossäädös 321/2010 sekä erityisalojen hankintalaki 349/2007 24 §) vaatimukset ja viimeiset vahvistetut kansalliset ja EU-kynnysarvot kilpailutusta varten. Tätä kirjoitettaessa uusimmat hankintojen vahvistetut kynnysarvot ovat vuodelta 2010 (lähdeviitteet 11 ja 12). Erikoisalojen rakennusurakoiden nykyinen kynnysarvo on 5,278 milj. euroa, mikä ei tavallisesti ylity alle 5 MW laitoshan- keissa, ellei urakkaan sisälly kaukolämpöverkon rakentamista. Kynnysarvon ylittävistä han- kinnoista on ilmoitettava julkisten hankintojen sähköisessä ilmoitusportaalissa HILMA- kanavalla (www.hankintailmoitukset.fi). Saneerauksissa tulee varmistaa etukäteen, sovelle- taanko hankintaan tavaroita ja palveluja vai rakennusurakoita koskevaa kynnysarvoa. Hankin- talaki koskee myös suunnittelun toimeksiantoja.

0,5...5 MW tehoalueen kpa-kattilalaitoksen hankinta on suositeltavaa kokonaisvastuurakkana (kvr-urakka), jolloin laitoksen toimittaja vastaa sen suunnittelusta ja toimintakuntoon saattamisesta. Polttoainevarastot ja polttoaineen käsittelylaitteet sekä lämpökeskuksen sisälle tulevat putkistot sisällytetään yleensä samaan urakkaan kattilalaitoksen kanssa. Lämpökeskuksen ja vastaanottoaseman ulkopuoliset sähköasennukset voidaan urakoida erikseen.

Kattilalaitoshankintaan sisältyy yleensä perustus- ja muita rakennustöitä, jotka eivät välittömästi liity laitoksen toimitukseen. Usein on perusteltua rajata ne erikseen tilaajan suoritettavaksi. Kiinteistöjen rakennusautomaatiotyöt on syytä urakoida erikseen.

Tarjouskyselyt lähetetään rakennuttajan hankintakäytännön mukaisesti laitostoimittajille. Yli viidelle toimijalle ei samaa kyselyä ole syytä lähettää kuin poikkeustapauksissa.

Tarjouspyynnössä tulee mainita tarjouksen vertailuperuste: joko halvin hinta tai kokonaistaloudeltaan edullisin tarjous. Kokonaistaloudellisuus on suositeltavampi valintaperuste. Jos valintaperusteena on kokonaistaloudellisuus, on mainittava kaikki hinnan lisäksi vaikuttavat arviointikriteerit painoarvoineen eikä muita kriteerejä voida käyttää. Painoarvot voidaan ilmaista myös ilmoittamalla kohtuullinen vaihteluväli. Jos vertailuperusteiden suhteellisen painotuksen ilmaiseminen ei ole perustellusti mahdollista, ne on ilmoitettava tärkeysjärjestyksessä. Hankintaan liittyviä menettelytapoja kuvataan tarkemmin lähdeviitteessä 11.

Tarjouksen laatimiseen on tarpeen varata aikaa 3...4 viikkoa. Julkisyhteisön on otettava huomioon hankintalain vaatimukset, mistä syystä aikataulu voi venyä. Tarjouskyselyssä on syytä mainita, milloin tarjoukset avataan ja saavatko tarjoajat osallistua tilaisuuteen. Tarvittaessa tarjouskysely voidaan antaa ulkopuolisen asiantuntijan tehtäväksi.

5.2.1 Tarjouspyynnön tekninen osa

Jos valintaperusteena on kokonaistaloudeltaan edullisin tarjous, tulee tarjouksen sisältää käyttö- ja kunnossapitokustannusten arviointiin tarvittavat tiedot. Seuraavassa on esimerkki tarjouskyselyn teknisen määrittelyosan sisällöstä:

Tilaajan määrittelemät lähtötiedot

- aluelämpökeskuksen kpa-kattila, nimellisteho: 2 MW
- lämmitettävät kiinteistöt: kunnan virastotalo, koulu, päiväkotit ja asuinrakennukset, ei teollisuuskiinteistöjä
- pääpolttoaine: metsähake, kosteus 40...55 %, kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo 19 MJ/kg
- rinnakkaispolttoaine: palaturve, kosteus 30...45 %, kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo 21 MJ/kg
- mitoituspolttoaine: metsähake, kosteus 45 %
- käyttöpaine ja lämpötila: 4 bar ja 130 °C
- savukaasupäästöjen enimmäisarvot: hiukkaspitoisuus 200 mg/m_n³ redusoituna 6 % happipitoisuuteen kuivassa savukaasussa, NO_x ja SO₂ asetuksen 445/2010 mukaan
- savukaasun jäännöshappipitoisuuden ja tulipesän lämpötilan mittaus sisältyvät toimitukseen
- lyhyt kuvaus polton ohjauksesta
- varavoimakone (POK) sisältyy tarjoukseen
- optiona savukaasujen häkäpitoisuuden mittaus, alue 0...5 000 ppm tilavuusosuutta, hinta ja arvio vuotuisista kunnossapitokuluista

- savukanavaan asennetaan hiukkasmittausstandardin SFS-EN 13284-1 edellyttämät yhteydet savukanavaan
- kvr-urakka: sisältää 200 i-m³ polttoainevaraston, polttoaineen käsittelylaitteet sekä lämpökeskuksen ja vastaanottoaseman LVIS-työt
- toimitusaika: sovitaan erikseen hankintasopimuksessa, mutta viimeistään xx.yy.zzzz.
- vertailuperuste: kokonaistaloudellisesti edullisin tarjous (kriteerit esimerkiksi: 35 % hinta, 25 % kunnossapito + käytettävyys, 20 % hyötysuhde, 15 % materiaalit, 5 % toimitusaika)

Tarjouksesta tulee käydä ilmi

- kokonaishinta maksuehtoineen, liitteenä erittely (budjettitarjouksissa vain päälaitteet)
- hyötysuhdetakuut 100 %, 50 % ja pienimmällä käyttöteholla standardin SFS-EN 12952-15 mukaan laskettuna, taserajana kattilan seinät ja peruslämpötila 25 °C, jos poiketaan standardista, niin miltä osin ja miten
- rinnakkaispolttoaineen maksimiosuus seoksessa
- tehoalue ja kosteuden vaikutus: minimi- ja maksimiteho kuivimmilla ja kosteimmilla polttoaineilla
- omakäyttösähkön teho, siihen kuuluvat laitteet on lueteltava ja niiden yhteiselle sähköteholle asennettava erillinen sähkötehon mittaus
- miehitysvaatus
- käytettävyystakuu, h/a tai %
- takuu-aika ja takuehdot (tarvittaessa tarkempi erittely takuiden kattavuudesta liitteenä)
- käyttöönottokoulutus
- takuuajan huollot ja mahdolliset myöhemmät huoltosopimukset
- varaosien saanti
- takuunaikainen vakuus, % kauppahinnasta
- tekninen erittely: materiaalit ja ainevahvuudet, tärkeimpien laitteiden (pumput, puhaltimet, automaatio ym.) valmistajat (*antaa tarjouksen pyytäjälle kuvan toimituksen laadusta*)
- referenssilista yli 1 MW kpa-kattiloiden toimituksista 5 viimeisen vuoden ajalta

Tarjouskyselyn tarkoituksenmukainen sisältö vaihtelee tapauksittain. Jos hankintaan sisällytetään apukattilat, pitää niiden polttoaineet, tehot ja polttoainevarastojen tilavuudet määrittellä vastaavasti kuin kpa-kattiloille.

Pienessä teholuokassa hyötysuhteen laskentatapa on käyttökustannusten arvioinnin kannalta olennainen asia, käytäntöjen tulisi olla yhdenmukaiset.

5.2.2 Tarjousten käsittely

Vertailu tehdään kirjallisena siten, että muutkin kuin vertailun tekijät saavat siitä selon. On mahdollista, että kilpailun hävinnyt toimittaja vie asian kilpailuviraston käsiteltäväksi, jolloin kirjallista ja selkeää tarjousvertailua tarvitaan.

Vertailuperusteet tulee purkaa numeeriseen kustannustehokkuutta kuvaavaan muotoon. Eri-laisten materiaali- ja rakennetekniikoiden vaikutus laitoksen kunnossapito- ja käyttökuluihin sekä tekniseen käyttöikäen tulisi arvioida. Vertailussa on otettava huomioon laitoksen käyttökustannukset esimerkiksi 10 vuoden jakson aikana. Tarjouksessa ilmoitettujen hyötysuhteiden, sähkön omakäyttötehon, käytettävyyden, miehitysvaatumusten sekä esisuunnittelussa määritettyjen vuosittaisten käyttöaikojen perusteella voidaan arvioida laitoksen käytöstä ai-

heutuvat vuosikustannukset. Tältä osin suurin ongelma on ilmoitettujen suoritusarvojen pitävyyden ja yhdenmukaisuuden epävarmuudet.

Kaikkiaan valintaperusteita tulisi kehittää siten, että laitoksen koko elinkaaren näkökulma painottuisi vahvemmin.

5.2.3 Hankintasopimus

Hankintasopimus on tärkein ja sitovin asiakirja. Siinä määritellään koko toimituksen laajuus ja sitä koskevat tekniset vaatimukset sekä taloudelliset ja oikeudelliset vastuut. Niitä kaikkia ei useinkaan ole määritelty tarjouskyselyssä tai muissa aiemmissa asiakirjoissa. Julkisyhteisöjen osalta hankintalaki edellyttää, että kansalliset kynnyksarvot ylittävissä hankinnoissa päätöksen jälkeen laaditaan kirjallinen hankintasopimus.

Hankinnan tekninen sisältö (urakat, hankintarajat, takuut, käyttöturvallisuus, tarkastukset ym.), kustannukset, maksuaikataulut, vakuutukset ja vakuudet, mahdolliset taloudelliset sanktiot ja muut vastuut eritellään sopimuksessa yksityiskohtaisesti ja mahdollisimman selkeästi. Näistä syistä sopimusteksti tulee tarkastaa huolellisesti teknisen, taloudellisen ja juridisen pitävyyden varmistamiseksi. Epäselvissä tapauksissa kannattaa harkita ulkopuolisten asiantuntijoiden käyttöä.

Lähdeviitteessä 11 tarkastellaan hankintasopimuksen yleisiä periaatteita. Viitteessä 10 esitetään hakelämpökeskuksen hankinnan sopimusmenettely yksityiskohtaisesti. Samaa menettelyä voi soveltaa turvetta, puupellettejä ja peltobiomassoja käyttävien lämmityslaitosten hankintaan.

5.3 Vastaanotto- ja takuukoheet

Kaikki mittaukset tehdään ensisijaisesti hankintasopimuksessa määritetyllä tavalla.

5.3.1 Mittausstandardit

Kattilan hyötysuhde määritetään tavallisesti standardia SFS-EN 12952-15 ja hiukkaspitoisuus standardia SFS-EN 13284-1 soveltaen. Molemmat standardit on alun perin kehitetty suuria, teknisesti kehittyneitä öljy- maakaasu- ja hiilikattiloita varten. Niissä tehohäviöt määräytyvät käytännössä savukaasun vapaan lämmön mukaan ja hiukkaspitoisuudet ovat pienet tehokkaiden erottimien ansiosta. Standardien uusiutumisvälit ovat pitkiä, mistä syystä standardeissa on teknisesti vanhentuneita määrittelyjä.

Pienen teholuokan kpa-kattiloissa merkittävä osa tehohäviöistä tulee kattilan säteily- ja johdumishäviöistä sekä tuhkan palamiskelpoisen aineksen osuudesta. Savukaasujen hiukkaspitoisuus voi olla monikymmenkertainen suuriin kattiloihin verrattuna. Näistä syistä edellä mainittujen standardien kirjaimellisen tarkka noudattaminen ei aina ole tarkoituksenmukaista. Poikkeamat standardeista tulee perustella ja tarvittaessa esittää numeerisesti poikkeamien vaikutus laitoksen suoritusarvoihin.

5.3.2 Savukaasujen hiukkaspitoisuuksien mittaus

Mittaukset tehdään kattilan suurimmalla ja pienimmällä käytettävällä tehotasolla niin, että ne edustavat mahdollisimman hyvin kattilan normaalia toimintaa. Manuaalisessa mittauksessa (SFS-EN 13284-1) kussakin ajotilanteessa savukaasusta otetaan kolme lyhytaikaista näytettä. Kunkin näytteenottojakson kesto on noin tunti. Tehoalueen 5...50 MW kattiloissa ja niihin

kuuluissa 1...5 MW rinnakkaiskattiloissa raja-arvon saavuttamiseksi kaikkien mittaustulosten on oltava raja-arvoa pienempi.

5.3.3 Hyötysuhteen laskenta

Jos muuta menetelmää ei ole määritelty hankintasopimuksessa, sovelletaan standardia SFS-EN 12952-15 tilaajan kanssa sovitulla tavalla. Usein standardia sovelletaan siten, että säteily- ja johtumishäviöiksi hyväksytään vain osa normin mukaisesta häviöstä (tavallisesti 30 %).

5.3.4 Omakäytösähkön tehon määrittäminen

Suosittelavaa on, että uusissa ja saneerattavissa laitoksissa omakäytösähköön kuuluvat laitteet erotetaan omaksi ryhmäksi, jonka sähkönkulutus mitataan erikseen.

5.3.5 Pintalämpötilat

Pintalämpötilatakuulla tarkoitetaan korkeinta sallittua kattilan pintalämpötilan ja kattilahuoneen lämpötilan eroa (20 °C). Takuu ei koske luokkuja ja muita läpivientejä eikä kattilapintoja niiden välittömässä läheisyydessä.

Mittausstandardit eivät hyväksy pintalämpötilojen määrittäystä lämpökamerakuvauksella. Käytännössä kuvaus on nopeampi, tarkempi, luotettavampi ja informatiivisempi kuin pisteittäinen lämpötilojen kartoitus. Nykyaikaisen tekniikan hyödyntäminen on suositeltavaa, jos takuumittausten kaikki osapuolet hyväksyvät sen.

5.3.6 Melu

Melumittaukset tehdään ympäristöministeriön ohjeen 1/1995 mukaisesti. Melun enimmäistasot ovat laitoksen tavanomaisissa käyttötilanteissa päivällä (7-22) LAeq55 dB ja yöllä LAeq50 dB.

LAeq tarkoittaa mittausjakson äänitasojen tehollista keskiarvoa (=keskiäänitaso).

5.3.7 Raportointi

Tulokset raportoidaan mittajaan ja toimeksiantajan sopimuksen mukaan. Raportointiin tulee varata vähintään kaksi viikkoa, usein aikataulu määräytyy polttoaine- ja päästönäytteiden laboratorioanalyysien valmistumisen mukaan.

Lähdeviitteet

1. Hytönen, K., Jokiniemi, J. Reduction of fine particle emissions from residential wood combustion. Workshop in Kuopio on May 22 – 23, 2006. 3/2007 Kuopion yliopiston ympäristötieteen laitoksen monistesarja.
2. Alakangas, E., Wiik, C. Käytöstä poistetun puun luokittelu ja hyvien käytäntöjen kuvaus. Tutkimusraportti nro VTT-R-04989-8 | 1.9.2008.
3. Jalovaara, J. et al. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) 5-50 MW:n polttolaitoksissa Suomessa. Suomen ympäristö 649. Suomen ympäristökeskus. Helsinki 2003.
4. Alakangas, E. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 2045. Espoo 2000.
5. Ohlström, M., Tsupari, E., Lehtilä, A., Raunemaa, T. Pienhiukkaspäästöt ja niiden vähentämismahdollisuudet Suomessa. VTT Tiedotteita 2300. Espoo 2005.
6. Raiko, M., Mäki-Mantila, E. Lämpöpumput ja niiden vaikutus sähköntuotantoon. Enprima 2005.
7. Kiinteän polttoaineen lämpökeskuksen paloturvallisuus. Ohje 2006. Finanssialan keskusliitto.
8. KTM, päätös 953/1999.
9. Raiko, M., Mäki-Mantila, E. Lämpöpumput ja niiden vaikutus sähköntuotantoon. Enprima 2005.
10. Hakelämpökeskuksen hankinta. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Suomen kuntaliitto 2002.
11. Oksanen, A. Kuntien yleiset hankintaohjeet. Suomen Kuntaliitto. Helsinki 2010.
12. Valtion hankintakäsikirja 2010. Valtiovarainministeriön julkaisuja 48/2010.
13. HTP-arvot 2009. Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2009:11.
14. Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriön ohje 1/1995.
15. Alle 50 MW:n lämpölaitosten teollisuusjätevesiselvitys. Pienten lämpölaitosten jätevesien laatu, käsittely ja johtaminen. Energiateollisuus ry, 4.11.2008.
16. Beauchemin, P., Tampier, M. Emissions from Wood-Fired Combustion Equipment. Envirochem Services Inc. June 30, 2008.

Lämpöpumpun käyttö pienen osatehon aikana, taloudellisuustarkastelu

Hankintahinta

Tarkastellaan lyhyesti, yksinkertaistaen ja pyörein luvuin, kpa-kattilan ja lämpöpumpun yhdistelmää esimerkin valossa. Lähtötiedot:

- lämpökeskus vesistön rannalla, veden keskilämpötila kesällä 10 °C
- aluelämmön menoveden lämpötila 80 °C
- lämpöpumpun tehokerroin = 4
- lämpöpumppulaitoksen ominaisinvestointi (200...450 €/kW), valitaan 400 €/kW
- käyttöaika 3 kk 16.6...15.9., ”huipunkäyttöaika” 1 500 h/a
- kunnossapitokulut 2 % investoinnista vuodessa = 8 €/kW
- sähkön kesähinta 4 c/kWh
- kaukolämmön energiahinta 5 c/kWh

Tulot vuodessa:

- kaukolämmön myynti $5 \cdot 1500 / 100 = 75 \text{ €/kW}$

Kulut vuodessa:

- sähkö $4 \cdot 1500 / (4 \cdot 100) = 15 \text{ €/kW}$
- kunnossapito 8 €/kW

Erotus vuodessa

52 €/kW

Velan kuoletukseen jää vuodessa noin 50 €/kW eli takaisinmaksuaika on suurin piirtein 10 vuotta.

Ominaisinvestoinnin, kunnossapitokulujen ja tehokertoimen arviot on saatu viitteestä /6/.

Tärkeimmät lait, asetukset ja standardit

Hankintalaki 348/2007 ja muutossäädös 321/2010 (julkiset hankinnat)

Erityisalojen hankintalaki 349/2007

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132

Maankäyttö- ja rakennusasetus 10.9.1999/895

Suomen rakentamismääräyskokoelma

(<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=394585&lan=FI>)

Ympäristönsuojelulaki (YSL) 4.2.2000/86

Ympäristönsuojeluasetus 18.2.2000/169

Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta 20.1.2011/38

Jätelaki 646/2011

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/50/EY,
annettu 21 päivänä toukokuuta 2008, ilmanlaadusta ja sen parantamisesta

Terveystoimintalaki 19.8.1994/763

Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738

Painelaitelaki 27.8.1999/869

Asetus painelaitelaitteissa tarkoitetuista tarkastuslaitoksista 10.9.1999/890

Asetus kattilalaitosten käytön valvojien pätevyyskirjoista 10.9.1999/891

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös yksinkertaisista painesäiliöistä 22.9.1999/917

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaitteista 30.9.1999/938

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaiteturvallisuudesta 18.10.1999/953

Kattilalaitosten turvallisuusohjeet Heinäkuu 2007

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 97/23/EY,
annettu 29 päivänä toukokuuta 1997, painelaitteita koskevan jäsenvaltioidenlainsäädännön lähentämisestä

Painelaitedirektiivin 97/23/EY soveltamisohjeet

(http://www.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/pdf/painelaitedirektiivin_soveltamisohjeet.pdf)

SFS-EN 12953 Tulitorvikattilat

SFS-EN 12952 Vesiputkikattilat

SFS – EN 1422 Koneturvallisuus

SFS Paineastiatin sijoitus, varustelu ja käyttö. Suljettu nestekattilalaitos. Lämpötila enintään 120 oC.

SFS 2696 Kuljettimet. Turvallisuus yleiset periaatteet

SFS 4905 Kuljettimet. Turvallisuus. Erityisohjeet

SFS 3733 Kuljetinketjut. Kuljetinketjupyörien mitoitus

SFS – EN ISO 14122 1 + A1. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 1: Kahden tason välisen kiinteän kulkutien valinta

SFS – EN ISO 14122 2 + A1. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 2: Työskentelytasot ja kulkutiet

SFS – EN ISO 14122 3 + A1. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 3: Portaat, porrastikkaat ja suojakaiteet

SFS – EN ISO 14122 4+ A1. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 4: Kiinteät tikkaat