



Nykyaikainen savukaasupesuri

– merkittävä biolämpölaitosten kannattavuuden parantaja

Savukaasupesuriteknologian käytölle on useita perusteluja, mutta yksi merkittävimmistä on sen tuoma liiketaloudellinen hyöty. Lämpölaitosten savupiipuista katoaa taivaalle edelleen suunnaton määrä hyödynnettävissä olevaa lämpöenergiaa. Nykyaikainen savukaasupesuri ottaa talteen hukkalämmön ja lämpöyhtiöt saavat kaupan päälle hiukkasten tehokkaan suodatuksen.

Kaukolämpömarkkinoiden muutokset Suomessa asettavat useat lämpölaitosyhtiöt haasteelliseen asemaan. Muutosten taustalla olevat syyt ovat

moninaiset. Kilpailu lämpöasiakkaista on koventunut huomattavasti viimeisten kymmenen vuoden aikana kilpaillevien lämmitysmuotojen yleistyessä. Kaukolämmöntuotannon polttoainestrategiat ovat sidoksissa Suomen, EU:n ja koko globaalin maailmantalouden energiavarojen ja -tuotannon muutoksiin. Kaukolämpöverkot ovat usein iäkkäitä ja kuluttajapään lämmönvaihtimet sekä niiden hyötysuhteet usein huonot. Näiden lisäksi tuotantolaitosten uudistaminen vastaamaan nykyajan energiatehokkuus- ja päästövaatimuksia on usein kiinni kuntien taloustilanteesta, mikä voi viivästyttää tai jopa estää taloudellisesti ja ympäristöllisesti järkevien investointien läpiviennin.

Katseet kaukolämmöntuotannon uudistamiseksi on suunnattava taloudellisesti järkeviin, riittävän pienimuotoisiin investointihankkeisiin, joilla pyritään erityisesti nostamaan lämmöntuotannon energiatehokkuutta sekä rajoittamaan laitosten päästöt kustannustehokkaasti nykyvaatimusten tasolle.

Polttoöljy lämpöyhtiöiden taloudellisena taakkana

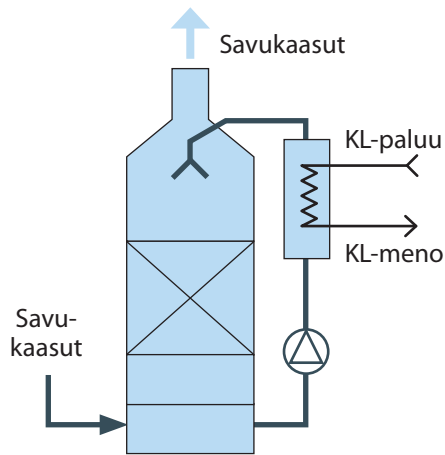
Suuri osa lämpölaitosyhtiöistä käyttää edelleen polttoaineena myös raskasta polttoöljyä. Polttoöljyä kuluu erityisesti kovilla pakkasjaksoilla, kun päätuotantolaitoksen kapasiteetti ei riitä. Useissa

tapauksissa lisälämmöntarve on merkittävä ja johtaa jo lyhyiden pakkasjaksojen aikana huomattavaan polttoöljyn kulutukseen. Kokemuksemme mukaan tyypillinen polttoöljyllä tuotettu energiamäärä on 3500–6000 MWh vuodessa lämpöyhtiöissä, joiden KPA-laitokset ovat kokoluokkaa 5–10 MW. Pääosa öljystä kuluu talven pakkasjaksoilla. Tämän lisäksi raskaalla polttoöljyllä paikataan KPA-kattilan seisokki- ja huoltoajat. Kesäaikana KPA-laitokset toimivat säätoalueensa alarajoilla, jolloin laitoksen operointi on vaikeaa. Tarvittava kaukolämpö tuotetaan tällöin niin ikään öljytai maakaasukattiloilla.

Useimmat lämpölaitosyhtiöt Suomessa pyrkivät eroon raskaan polttoöljyn käytöstä. Syyt ovat liiketaloudellisesti ja yhteiskunnallisesti järkeviä; raskaan polttoöljyn käyttö polttoaineena on yksinkertaisesti liian kallista ja hiilidioksidipäästöt huomattavasti korkeammat kuin esim. paikallisilla biopolttoaineilla toimittaessa. Lisäksi voimassa oleva PLNO-asetus rajoittaa rikkipitoisen raskaan polttoöljyn käyttöä lämpö- ja voimalaitoksissa 1.1.2018 lähtien. Tämän lisäksi siirtyminen paikalliseen polttoainetuotantoon parantaa alueen ekonomiaa sekä lisää riippumattomuutta globaaleista energiemarkkinoista. Polttoaineen laadusta ja sen käytöstä lämpölaitoksissa on erityisesti kunnille muodostunut kokonaistaloudellinen asia, joka on käännettävissä kuntien eduksi.

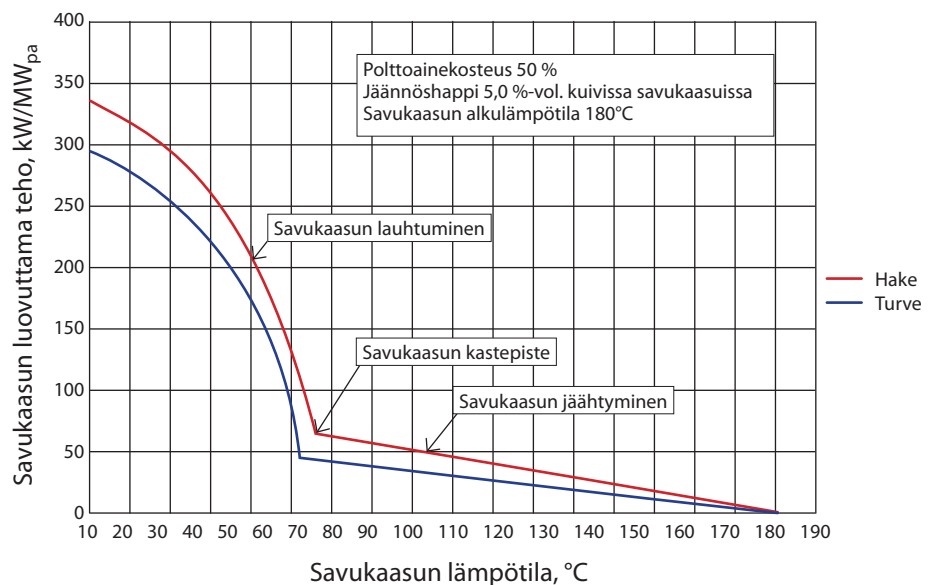
Savukaasujen puhdistus ja hukkalämmön talteenotto

Savukaasupesuri on ns. märkäpesuri, jonka kehitystyön tavoite oli alun perin savukaasujen hiukkaspäästöjen vähentäminen. Ajan myötä painopiste on siirtynyt yhä enemmän savukaasuissa olevan hukkalämmön talteenoton tehostamiseen. On kuitenkin syytä korostaa, että huolimatta energiatehokkuuden painoarvon kasvamisesta savukaasupesureiden kehittämisessä ja käytössä, on pesuri edelleen erittäin taloudellinen tapa suodattaa savukaasujen hiukkaset. Pesuri yhdessä oikein mitoi-



◀ Kuva 1. Perinteisen pesurin prosessikaavio yksinkertaisimmillaan.

▼ Kuva 2. Kostean savukaasun luovuttama lämpöteho polttoainetehtäköksiin kohti savukaasun lämpötilan funktiona.



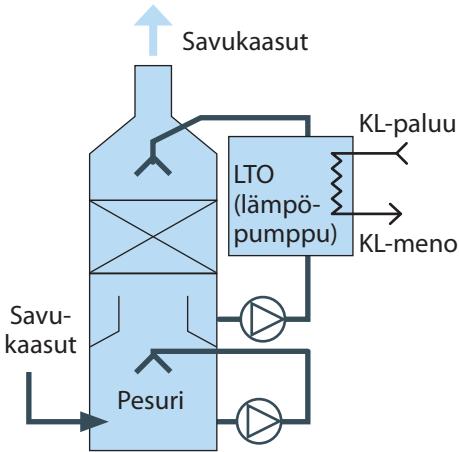
tetun esisuodatusasteen kanssa täyttää useimmiten tiukimmatkin hiukkaspäästöihin liittyvät normit ja asetukset.

Perinteisen savukaasupesurin hiukkaspäästöjen suodatus- sekä lämmön talteenotto-ominaisuudet perustuvat kahteen peräkkäiseen prosessointivaiheeseen. Savukaasut johdetaan pesuvaiheeseen, jossa poistetaan pääosa pienhiukkasista. Samassa vaiheessa savukaasut jäähtyvät ns. märkälämpötilaansa (60–70 astetta) saakka. Pesuvaiheen jälkeen savukaasut johdetaan lauhduttimeen, jossa savukaasu luovuttaa lämpöenergiansa pääasiassa lauhtumalla vastavirtaan valuvaan kiertoveteen. Lauhtuminen tapahtuu täytekappalekerroksissa (yksi tai kaksi kerrosta), jotka toimivat prosessin lämmönsiirtopintoina. Kiertovesi, joka on muodostunut lauhdetta, johdetaan lämmönvaihtimelle. Lämmönvaihtimella lauhteeseen siir-

tynyt lämpöenergia otetaan talteen kaukolämpöveeten. (Ks. kuva 1.)

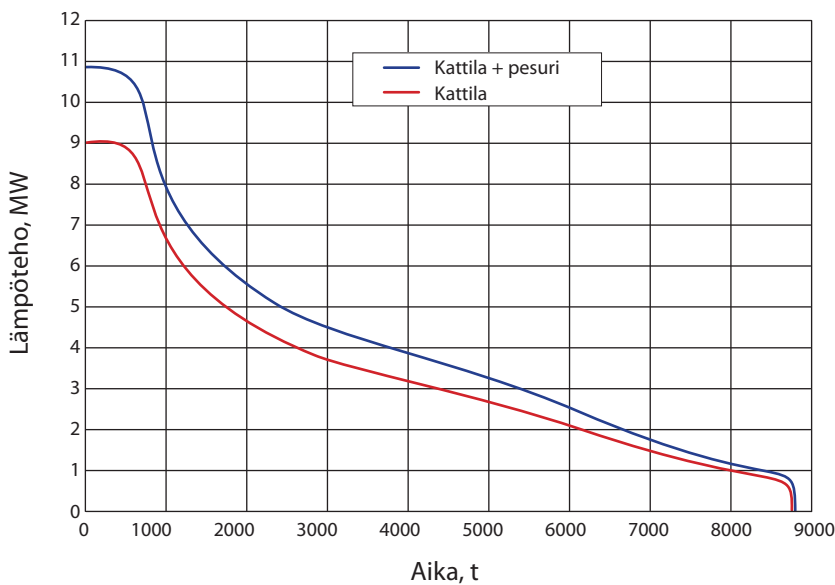
Oleellista on saavuttaa kastepistelämpötila lauhdutinvyöhykkeessä

Kastepiste on lämpötila, jossa savukaasun sisältämän vesihöyryn suhteellinen kosteus on 100 %. Jos lämpötila laskee kastepisteen alapuolelle, alkaa savukaasussa oleva vesihöyry tiivistyä eli muuttua vedeksi. Tarkasteltaessa lämpöenergian siirtymistä huomataan, että veden eri faasimuutosten yhteydessä entalpiamuutokset ovat huomattavasti suuremmat kuin yhden faasin sisällä tapahtuvissa lämpötilamuutoksissa. Niinpä esim. veden höyrystymisessä ja vesihöyryn tiivistymisessä lämpöenergian siirtymät ovat merkittäviä (2350 kJ/



◀ *Kuva 3. Yksinkertainen periaatekuvaus nykyaikaisesta lämpöpumppukytkentäisestä savukaasupesurista, joka perustuu Elomatic Oy:n patentoituaan kustannusoptimoituun kytkentäratkaisuun. Ratkaisussa jäädytykseen johdetaan ainoastaan tarvittava osa koko kaukolämmön paluuvirtaamasta.*

▼ *Kuva 4. Erään lämpöpumppukytkennällä toteutetun pesurihankkeen vaikutus lämpölaitoksen lämmöntuotannon pysyvyyskäyrään*



kg). Pesurin lämmön talteenoton kannalta oleellisinta on juuri tuon kastepistelämpötilan alittuminen, jolloin savukaasujen vesihöyry tiivistyy ja vapautuva lämpöenergia pääsee siirtymään tehokkaasti kiertoveteen ja sitä kautta lämmönvaihtimeen. Toisaalta, jos pesurissa jäädytään huomattavasti kastepistelämpötilan yläpuolelle, lämmön talteenotto kyky romahtaa ja pesuri alkaa toimia haihduttimena. Pesurissa siis höyrystetään lisävettä savukaasuihin. (Ks. kuva 2.)

Miksi normaali savukaasupesuri ei toimi kovilla pakkasilla?

Kastepistelämpötilan saavuttaminen tilanteessa kuin tilanteessa on pesurin lämmön talteenoton toiminnan kannalta oleellista. Pesurin lämmönsiirtimien toisiopuolelle johdetaan kaukolämmön

paluuvesi, joka jäädyttää savukaasut alle vesikastepistelämpötilan. Jäähdytys toimii ja kastepiste saavutetaan, kun kaukolämpöverkon paluuvien lämpötila pysyy selkeästi savukaasun kastepistelämpötilan alapuolella.

Huipputehon aikaan pyritään usein käyttämään laadullisesti hyvää eli kuivaa polttoainetta. Kuivan polttoaineen savukaasut ovat kuivia, eli savukaasujen kastepistelämpötila on matala. Huippukuorman aikana usein myös kaukolämpöverkkojen paluulämpötilat nousevat. Suurin syyllinen löytyy kotitalouksissa käytettävistä kaukolämmönvaihtimista, joiden hyötysuhteet ovat heikot. Ne eivät yksinkertaisesti pysty siirtämään tarvittavaa lämpömäärää kotitalouksiin, vaan ylimääräinen lämpö kiertää takaisin lämpölaitokselle. Kun tämä ylijäämä lämpö syötetään takaisin savukaasupesuriin lämmönvaihtimiin, ei kas-

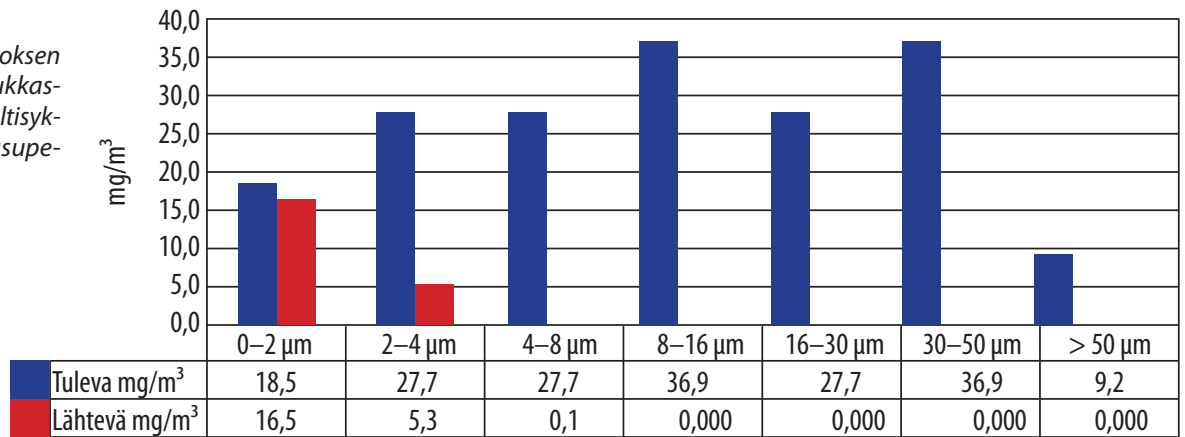
tepistelämpötilaa saavuteta ja lämmön talteenotto huononee merkittävästi. Voidaan puhua jopa pesurin LTO-kytkeyn romahtamisesta. Puuttuva lauhtuminen johtaa helposti myös pesurin liete- ja tukkeumaongelmiin.

Lämpöpumppukytkennällä merkittäviä parannuksia lämmön talteenottoon

Lämpöpumppuja on käytetty teollisuudessa jo vuosikymmeniä erilaisissa hukkalämmön talteenotto prosesseissa. Lämpölaitosprosessi on erikoistapaus, jossa oikealla lämpöpumppukytkennällä saadaan talteenottoa tehostettua jopa 4–8-kertaiseksi perinteiseen pesuriin verrattuna. Lämpöpumpulla säädetään pesurille menevää kaukolämpöveden paluulämpötilaa siten, että kastepistelämpötila saavutetaan riippumatta verkon kuormitusasteesta. Perinteisessä pesurissa kaukolämmön paluulämpötila rajoittaa savukaasujen loppulämpötilan n. 3–5°C paluulämpötilaa korkeammalle tasolle. Esimerkiksi jos paluulämpötila on 55°C, savukaasujen minimi loppulämpötila voi olla 58°C. Lämpöpumppukytkennällä kaukolämmön paluulämpötilaa voidaan alentaa jopa 20°C alemmalle lämpötilatasolle, eli edellistä esimerkiksi noudattaen kaukolämpöveden paluulämpötila olisi 35°C ja savukaasujen minimiloppulämpötila +38°C. Jäähdytys ei kuitenkaan hukkaa paluuviedessä olevaa lämpöenergiaa, vaan se siirtyy pumpun termoaineen välityksellä lauhtuttimelle ja takaisin kaukolämpöverkkoon. Lämpöpumpulla siirretty energia ainoastaan "ohittaa" pesurikytkennän. Kehittyneimmissä sovelluksissa verkon paluuvettä johdetaan jäädytykseen ainoastaan pesurin todellisuudessa tarvitsema määrä, jolloin lämpöpumpun koko voidaan mitoittaa investoinnin kannalta optimaalisimmaksi.

Edellä esitetyssä esimerkissä 20 asteen lisäjäähdytys on merkittävä energian talteenoton kannalta. Mikäli esimerkin tapauksessa polttoaineena olisi käytetty turvetta, jonka kosteus on 35 % ja savukaasujen happipitoisuus 5 %-vol,

► Kuva 5. Erään laitoksen savukaasujen hiukkaskokojakauma multisyklonin ja savukaasupesurin jälkeen



olisi savukaasujen kastepistelämpötila ollut tällöin 57°C. Tällaisessa tapauksessa perinteisellä pesurilla ei saavutettaisi kastepistelämpötilaa, vaan prosessissa tarvittaisiin lisävettä. Pesuri toimisi käytännössä haihduttimena. Pesurin teho olisi n. 30 kW / polttoainemegawatti. Lämpöpumpun avulla savukaasujen loppulämpötila olisi +38°C ja pesurista saatava teho noin 165 kW / polttoainemegawatti. Myös lietettä poistavaa lauhdetta syntyy noin 114 kg/h / MWpa kun perinteinen pesuri kuluttaisi raakavettä pelkästään haihduttamiseen 35 kg/h / polttoainemegawatti. Tehoero on siis merkittävä. (Ks. kuva 3.)

Edellä selostettu säätöpiiri ja lämpöpumpun kytkemistapa mahdollistavat pesurin lämmön talteenoton merkittävän noston ja lämpölaitoksen energiatehokkuuden parannuksen erityisesti koviilla pakkasjaksoilla. Raskaan polttoöljyn käyttöä voidaan merkittävästi vähentää, mikä takaa lyhyen takaisinmaksuajan investoinnille. Tähän mennessä on saavutettu 2,5–3 vuoden takaisinmaksuajoja investoinneissa, joissa raskas polttoöljy on korvattu lämpöpumpppukytkeisellä pesuriratkaisulla. (Ks. kuva 4.)

Taloudellisesti hiukkaspäästörajoiden alapuolelle

Päästöasetukset Suomessa noudattavat EU:n taholta asetettuja normeja. Päästörajat on koottu ns. PINO-asetuksiin, jotka määrittelevät KPA-laitoksista ilmakehään vapautuvan savukaasun enimmäishiukkaspitoisuudeksi uusissa 5–10 MWpa

lämpölaitoksissa 50 mg/m³_n. Perinteisesti tähän pitoisuustasoon on päästy sähkösuodattimella tai letku-/pussisuodattimella. Molempiin liittyy kuitenkin heikkouksia: sähkösuodatin on investointina kallis ja pussi-/letkusuodin on arka kuumille savukaasuille. Näiden suodatustapojen rinnalle on nousemassa uusia, tiukkenevien PINO-asetusten mukaisia, taloudellisempia vaihtoehtoja.

Lämpölaitosten uudishankkeissa moderni savukaasupesuri lämpöpumpppukytkeineen nähdään nykyisin ennen kaikkea KPA-laitosten energiatehokkuuden parantajana. Tämän lisäksi on syytä muistaa, että savukaasupesuri on taloudellisesti erittäin kilpailukykyinen savukaasuhiukkasten suodatuksessa. Esimerkkinä voidaan mainita savukaasupesuri ja savukaasujen virtausmäärään nähden oikein mitoitettu multisykloni, jotka kaskadiin kytkettyinä ovat suodatuskyvyllään useimmiten rinnastettavissa vastaavan kokoluokan sähkösuodattimeen. Yhdistelmällä voidaan useissa tapauksissa poistaa siis sähkösuodattimen tarve laitoshanketta suunniteltaessa ja toteutettaessa. (Ks. kuva 5.)

Lauhteen ja lietteen käsittely

Multisyklonin ja pesurin kytkentävaihtoehdossa on huomioitava pesurin lauhteen ja lietteen käsittelyn toimivuus ja kapasiteetti. Lietteen käsittely on mitoitettava käytetyn polttoaineen ja pesurin hiukkassuodatuskyvyn mukaan. Kaikkein edistyneisimmissä savukaasupesureissa lauhde käytetäänkin

tehokkaasti hyväksi kiintoaineen kantoaineena, jolloin vältetään lietteen saostumisesta ja pesurin tukkeutumisesta johtuvat ongelmat. Tyypillisesti lauhdetta syntyy riittävästi, jos käytössä on lämpöpumpppukytkeinen pesuriratkaisu.

Artikkeli on julkaistu alunperin *Elomatic News* -lehdessä.

Kirjoittajista



Juha Järvenreuna, DI (Automaatiojärjestelmät), on Caligo Industria Oy:n toimitusjohtaja.
juha.jarvenreuna@caligoindustria.com



Mika Nummila, DI (Energiateknikka), on Caligo Industria Oy:n teknologiajohtaja.
mika.nummila@caligoindustria.com