

materiaalitehokkuus koulut energiansäästö  
kuluttajat teollisuus kuljetus hiilidioksidi  
hake liikenne kiinteistöt julkinen sektori  
uusiokäyttö uusiutuva energia ympäristö ilmastomuutos  
energiatehokkuus kunta-ala  
palveluala vesivoima tuulivoima yhteistyö  
aurinkoenergia

## Energiatehokas lämmitys- ja lämmöntalteenottojärjestelmä

Koulutusmateriaali

lämpöpumppu bioenergia energiakatselmus rakentaminen

# Esityksen sisältö

Esityksessä tullaan käsittelemään seuraavia prosesseja:

## Lämmitysprosessit:

- 1) Poltto
- 2) Sähkö
- 3) Höyry

## Lämmöntalteenotto prosessi:

- 4) Lämmöntalteenotto

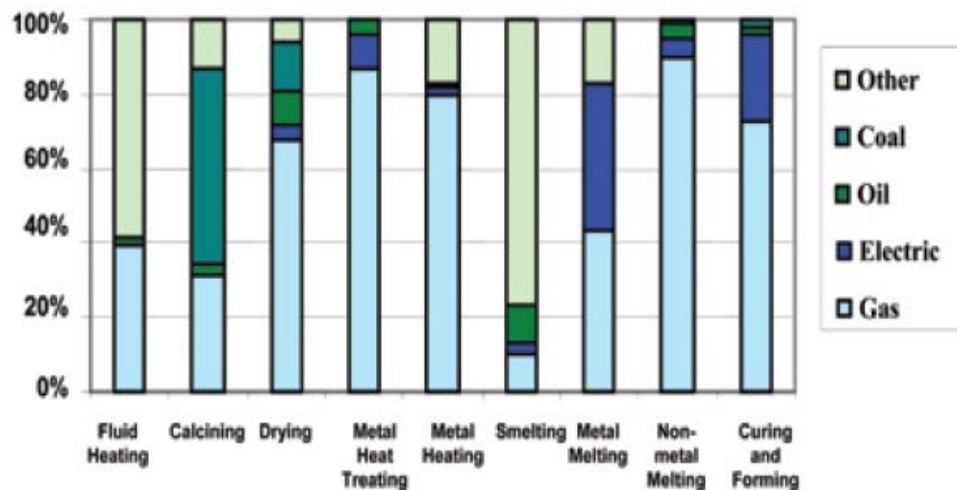
Esityksen tarkoitus on käydä läpi teollisuuden yleisimmät lämmitysvaihtoehdot sekä nostaa esiin niiden potentiaalisimmat energiatehokkuuden parantamismahdollisuudet.

# Lämmitys- ja lämmöntalteenotto prosessit

- Lämmitys- ja lämmöntalteenotto prosessit ovat oleellinen osa monien teollisten tuotteiden valmistusprosessia. Lämmitys kuuluu oleellisesti mm. metalli-, muovi-, paperi-, betoni-, lasi-, keramiikka- sekä elintarviketeollisuuden prosesseihin.
  - Yleisiä lämmitystä vaativia prosesseja ovat mm. sintraus, kalsinoiminen, lämpökäsittely, kuivaus, nesteiden ja kaasujen kuumentaminen, muokkaus, sulatus, poltto ja erotus.
- Monien teollisuusprosessien lämmitysjärjestelmää voidaan vielä parantaa ja tehostaa. Lämmitysprosessin energiatehokkuutta parantamalla voidaan saada aikaan tuntuvia säästöjä mm. jäähdytys- ja polttoainekustannuksissa.
- Lämmitysprosessien energiatehokkuuteen vaikuttavat lämmöntuotanto, siirtäminen sekä lämmön loppukäytön tehokkuus.
- Kuivaus on yleensä erittäin energiaintensiivinen prosessi, joka vaatii paljon lämpöä.

# Lämmitysprosessit

- Lämmitysprosessit ovat oleellinen osa useimpia teollisuusprosesseja. Yleisimmät lämmitysprosessit perustuvat polttoon, sähköön tai höyryyn.
- Muita lämmitysprosesseja ovat mm. elektronisuihku-, induktio-, laser-, mikroaalto-, suurtaajuus-, plasma-, infra-, valokaari- sekä UV-sovellukset. Nämä prosessit ovat kuitenkin paljon harvemmin käytettyjä ja niiden käyttöön yleensä liittyy jokin tuotantoprosessiin perustuva laatuvaatimus.
- Teollisuudessa esiintyy hyvin erilaisia lämmitysprosesseja. Niiden tekniset ratkaisut, ajotapa, koko sekä tuotantoprosessiin perustuvat vaatimukset vaihtelevat suuresti.



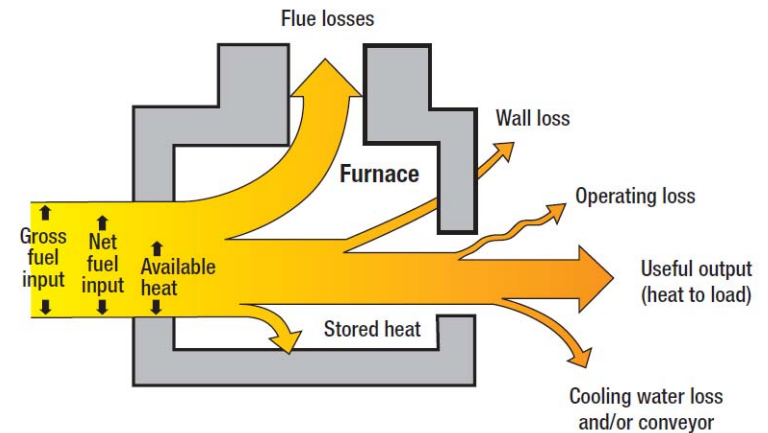
*Teollisuudessa yleisten lämmitysprosessien energialähteet . (DOE 2007)*

# Lämmitysprosessien energiatehokkuus

- Lämmitysprosessin energiatehokkuutta parannettaessa tulee prosessia tarkastella kokonaisuutena ja ottaa huomioon eri osaprosessien vuorovaikutussuhteet. Lämmityksen energiatehokkuuteen vaikuttaa paitsi itse lämmön tuotanto myös lämpöä kuluttavan prosessin tehokkuus sekä lämmön siirtäminen tuotannosta sen loppukäyttäjälle.
- On myös arvioitava koko lämmitysprosessin tarpeellisuutta, esimerkiksi joissain metalliteollisuuden pesuprosesseissa on alettu käyttämään uudenlaisia kemikaaleja, jotka eivät vaadi enää lämmittämistä toimiakseen.
- Koska teollisuudesta löytyy hyvin erilaisia ja eri kokoisia lämmitysprosesseja, ovat myös niiden energiatehokkuuden parantamistoimenpiteetkin hyvin moninaisia.
- Jotta lämmitysprosessin energiatehokkuuden kannalta potentiaaliset parantamiskohteet olisi helpompi löytää, on hyvä olla tietoinen yleisimmistä teollisuuden lämmitysprosessien häviöistä sekä ilmeisimmistä kehityskohteista.

# 1) Poltto

- Poltto on laajasti käytetty lämmitysprosessi melkein kaikilla teollisuuden sektoreilla.
- Polttoprosessissa lämpö tuotetaan polttamalla kiinteitä, nestemäisiä tai kaasumaisia polttoaineita jonka jälkeen lämpö siirretään joko suoraan tuotteeseen tai epäsuoraan esim. höyryn muodossa.
  - Polttoaineet voivat olla fossiilia (öljy, maakaasu, hiili) tai bioperäisiä (puuhake, selluloosa, etanoli).
- Teollisuuden polttoprosessit ovat keskenään hyvin erikokoisia ja voivat toimia joko eräperiaatteella tai jatkuvatoimisesti.



*Polttoaineperäisen lämmitysprosessin lämpöhäviöt. (DOE 2007)*

# 1) Polttoprosessien energiatehokkuuden parantamismahdollisuuksia 1/3

- Lämmöntuotanto:

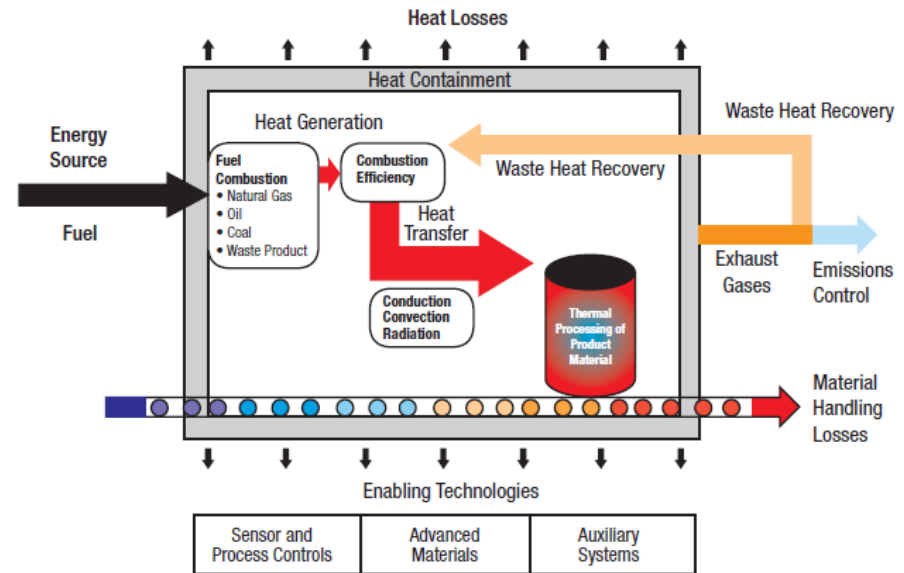
- Polton energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa mm. säätämällä ja hallitsemalla polttoaine-ilmasuhdetta, happirikastuksella, hiilen ja biopolttoaineiden kaasutuksella sekä laitteiston käytön tehostamisella ja uusimisella.

- Lämmönsiirto:

- Lämmönsiirtopintojen puhdistaminen, polton hallinta, kattilan lämpötilan pitäminen ideaalisena lämmönsiirron kannalta sekä polttimien kunnon ja tehokkuuden tarkkailu edistävät tehokasta lämmönsiirtoa.

- Materiaalit:

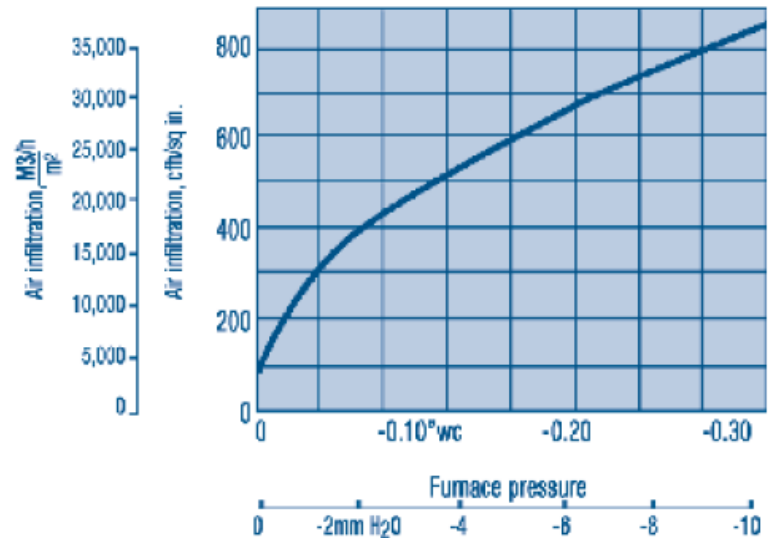
- Kehittyneet rakennusmateriaalit mahdollistavat korkeammat lämpötilatasot ja ohuempat seinämät. Kehittyneet materiaalit parantavat myös lämmönsiirtoa.



*Polton energiatehokkuuden parantamismahdollisuuksia. (DOE 2007)*

# 1) Polttoprosessien energiatehokkuuden parantamismahdollisuuksia 2/3

- Lämpöhäviöt:
  - Seinämien, putkien ja komponenttien riittävä eristäminen, aukkojen tiivistäminen, ilmavuotojen korjaaminen, kattilan oikean painetason säilyttäminen sekä jäähdytettävien komponenttien eristäminen ja oikea sijoittaminen vähentävät polttoprosessin lämpöhäviöitä.
- Prosessin hallinta:
  - Prosessin hallintaa voidaan tehostaa lisäämällä ja tarkentamalla mittauksia, uusimalla ohjausjärjestelmää sekä tehostamalla ja lisäämällä mittaustietojen analysointia.
- Esilämmitys:
  - Polttoaineiden ja palamisilman esilämmitys ja -kuivaus parantavat prosessin energiatehokkuutta, kun siihen käytetään prosessin hukkalämpöä.



*Vuotoilman ja kattilan painetason välinen yhteys. (DOE 2007)*

# 1) Polttoprosessien energiatehokkuuden parantamismahdollisuuksia 3/3

- Lämmöntalteenotto
  - Lämmöntalteenotossa tärkeää on mahdollisten hukkalämmönlähteiden paikallistaminen sekä talteenotetun lämmön tehokas hyödyntäminen muualla prosessissa tai prosessin ulkopuolella.
- Apujärjestelmät
  - Lämmitysprosessin energiatehokkuuteen vaikuttavat myös sen apujärjestelmät kuten syöttöjärjestelmä, moottorit, pumpput sekä puhaltimet. Niiden toimintaa ja tehokkuuteen tulee myös kiinnittää huomiota lämmitysjärjestelmää optimoitaessa.
- Huolto ja kunnossapito
  - Polttoprosessin säännöllinen huolto ja huolellinen kunnossapito ennaltaehkäisevät prosessikatkokkien syntymistä ja parantaa prosessin tehokkuutta.

## 2) Sähkölämmitys

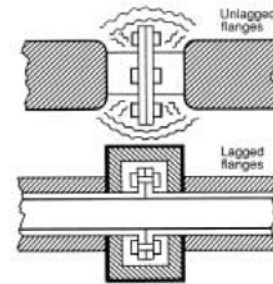
- Sähkökäyttöisissä lämmitysprosesseissa lämpöä saadaan aikaan sähkövirran tai sähkömagneettisen kentän avulla.
- Sähkölämmitystä käytetään mm. lämmitys-, kuivaus-, karkaisu-, sulatus- ja muovausprosesseissa.
- Sähkölämmitys voi olla energiakustannusten osalta kallis lämmityskeino. Jos prosessin vaatimusten kannalta on mahdollista käyttää muita lämmitystapoja (höyry, poltto) kuin sähkö, niiden käyttöä tulisi harkita.
  - Sähkölämmitteisten prosessien etuja ovat mm. hyvä hallittavuus, puhtaus, tehokkuus sekä mahdollisuus saavuttaa hyvin korkeita lämpötiloja (jopa yli 2 000 °C).
- Sähkölämmitys on tehokkaimmillaan jatkuvatoimisessa ja tasakuormaisessa prosessissa käytettynä.
- Mm. korkeiden lämpötilojen takia sähkölämmitysprosesseissa syntyy paljon erilaisia lämpöhäviöitä. Tämän vuoksi prosessien riittävään eristämiseen tulee kiinnittää erityistä huomiota.

### 3) Höyrylämmitys

- Höyryn valmistus kuluttaa suuren osan teollisuuden lämmitykseen käyttämästä energiasta.
- Höyry on hyvä väliaine lämmitysprosesseissa.
  - Koska höyry sitoo paljon energiaa painoonsa nähden, mahdollistaa se tehokkaan lämmönsiirron.
  - Myrkytön ja turvallinen.
  - Höyryn siirtäminen ja kuljettaminen on helppoa.
  - Korkea lämpökapasiteetti.
  - Höyryn lämpötilaa on helppo hallita paineen avulla.
  - Energiakustannuksiltaan edullinen.
- Höyryjärjestelmän tehokkuuteen vaikuttaa paitsi höyryn valmistus kattilassa, myös höyryn jakeluverkosto, höyryn loppukäyttäjä sekä lauhteen talteenotto.
- Teollisuudessa höyryä voidaan tuottaa ja käyttää eri paineessa. Sekä korkeapaine- että matalapainehöyryllä on omat etunsa ja haittansa.
  - Korkeapainehöyryllä on mm. korkeampi kylläisen höyryn lämpötila ja sen tilavuus on pienempi.
  - Matalapainehöyryä käytettäessä mm. vuodot ja energiahäviöt pienenevät, lauhteen lämpöenergia on pienempi ja kattilakiven muodostuminen vähenee.

### 3) Höyrylämmityksien energiatehokkuuden parantamismahdollisuuksia

- Höyry- ja lauhdejärjestelmän energiatehokkuuteen kannalta on tärkeää kiinnittää huomiota seuraaviin asioihin:
  - Putket tulee mitoittaa ja putkiston painetaso tulee valita höyryn käyttökohteen perusteella.
  - Putkistossa esiintyvien häiriöiden (mm. putkeen kiinnitetyt komponentit, mutkat ja jakokohdat) määrä on minimoitava.
  - Lauhteenpoiston on oltava riittävää ja se on toteutettava tehokkaasti.
  - Riittävään lian- ja ilmanpoistoon on myös kiinnitettävä huomiota.
  - Lauhteenerottimet on valittava oikein ja niitä tulee huoltaa säännöllisesti.
  - Lauhteenpalautus tulee olla tehokasta.
  - Hönkähöyryt tulee hyödyntää.
  - Vuodot tulee korjata ja niiden syntymistä tulee seurata.
  - Putkiston ja sen komponenttien eristys on oltava riittävää.
  - Järjestelmään kytkettyjen laitteiden tulee toimia oikein ja energiatehokkaasti.



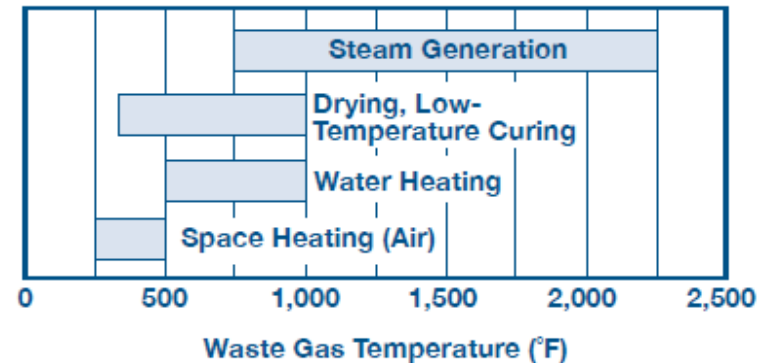
*Lämpöhäviöt eristämättömän laipan kohdalta. [ERI 2000a]*



*Ilman aiheuttama tukos putkistossa. [ERI 2000a]*

## 4) Lämmöntalteenotto

- Prosessin energiatehokkuuden tehostamisessa yksi oleellisimmista tekijöistä on minimoida prosessin energiankulutus sekä häviöt. Tämän jälkeen energiatehokkuutta voidaan vielä parantaa lämmöntalteenoton avulla.
- Lämmöntalteenoton avulla prosessihäviöiden energia pystytään hyödyntämään uudelleen prosessissa tai sen ulkopuolella.
- Lämmöntalteenotto vähentää prosessin polttoainekustannuksia, päästöjä sekä jäteveden käsittelyn tarvetta.
- Teollisuudessa on paljon prosesseja, joiden poistoista pystytään ottamaan lämpöä talteen.
  - Yleisiä lämmöntalteenottolähteitä ovat mm. savukaasut, kuumat prosessin poistovedet, poistoilma, jäähdytysvedet, jätevedet sekä lauhde.
  - Yleisiä talteenotetun lämmön hyödyntämiskohteita ovat mm. palamisilman ja korvausilman esilämmitys, ilmastointi, tilojen lämmitys, käyttövesisysteemi sekä muiden tuotantoprosessien lämmitys.



*Tyypillisten talteenottolämmön hyödyntämiskohteiden toimintalämpötiloja. [DOE 2007]*

## 4) Lämmöntalteenoton edellytykset

- Lämmöntalteenottoa rajoittavia tekijöitä voivat olla talteenotettavan lämmön alhainen lämpötila tai lämmön hyödyntämiskohteiden puute.
  - Korkeassa lämpötilassa olevat virtaukset, esim. palamiskaasut, voidaan hyödyntää helposti.
  - Lämpötilaltaan suhteellisen matalien (alle 80 °C) virtojen hyödyntäminen voivat olla vaikeampaa.
  - Lämmön talteenoton ja hyödyntämisen ajallinen, maantieteellinen ja tehollinen yhteensopivuus ovat tärkeitä tekijöitä tehokkaassa lämmöntalteenotossa.
- Lämmöntalteenotossa tyypillisimmin käytetyt menetelmät ovat talteenotetun lämpöenergian suora hyödyntäminen, lämpöpumppujen avulla tapahtuva matalalämpöisen lämpövirran lämpötilan nostaminen hyödynnettävissä olevalle tasolle ja monivaiheiset lämmöntalteenoton menetelmät, joissa hyödynnetään useampaa teknologiaa.
- Lämmöntalteenoton suunnittelu vaatii mittaustietoja prosessista sekä ymmärrystä eri prosessien vuorovaikutus-suhteista. Hyvä työkalu prosessin lämmöntalteenoton optimointiin on esimerkiksi Pinch-analyysi.

Percent Fuel Savings Gained from Using Preheated Combustion Air						
Furnance Exhaust Temperature, °F	Preheated Air Temperature, °F					
	600	800	1,000	1,200	1,400	1,600
1,000	13	18	–	–	–	–
1,200	14	19	23	–	–	–
1,400	15	20	24	28	–	–
1,600	17	22	26	30	34	–
1,800	18	24	28	33	37	40
2,000	20	26	31	35	39	43
2,200	23	29	34	39	43	47
2,400	26	32	38	43	47	51

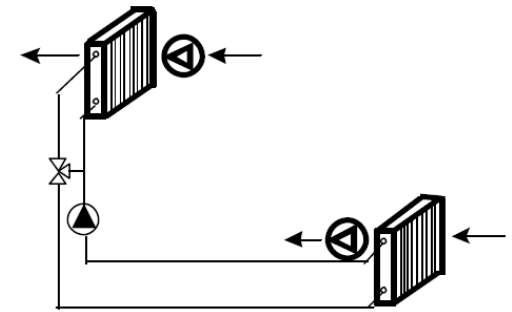
Fuel: Natural gas at 10% excess air

Source: IHEA Combustion Technology Manual (see references)

*Polttoainesäästöt käytettäessä polttoilman esilämmitystä. [DOE 2007]*

## 4) Lämmönsiirtimet ja lämmönsiirtonesteet

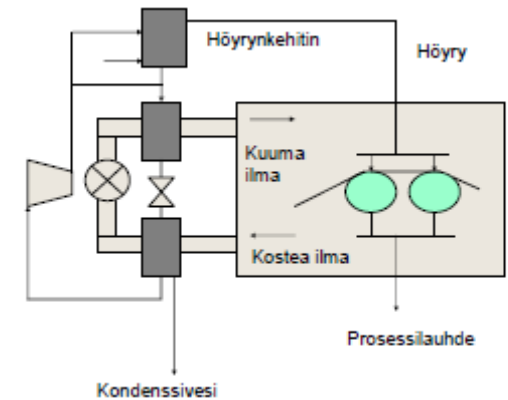
- Yleisimpiä lämmöntalteenottolaitteita ovat levy- ja putkilämmönsiirtimet, mutta myös mm. lämpöputkia, patterijärjestelmiä, pakokaasukattiloita, pesureja, ekonomaisereita ja regeneraattoreita voidaan käyttää.
- Lämmönsiirtimien lisäksi lämmöntalteenottolaitteistossa tarvitaan jäätymisen ja kiehumisen estolaitteet, lämpö-, virtaus- ja painemittareita, puhdistuslaitteisto, suodattimia, viemäröinti sekä virtauksen tasaimia.
- Lämmönsiirtonesteiden ominaisuudet riippuvat niiden pitoisuuksista.
- On syytä selvittää, ovatko prosessin lämmönsiirtonesteiden pitoisuudet oikealla tasolla.
  - Pitoisuuksia laskettaessa prosessin lämmönsiirto-ominaisuudet paranevat.
  - Lämmönsiirtonesteiden ominaisuudet heikkenevät usein ajan kuluessa.



*Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto.*

## 4) Lämpöpumput

- Lämpöpumput mahdollistavat matalalämpöistenkin häviöiden hyödyntämisen. Lämpöpumppujen käyttö johtaa usein merkittävään primäärienergian kulutuksen vähentymiseen.
- Lämpöpumpputeknologia on kehitetty jo 1970- ja 1980-luvuilla. Lämpöpumppujen tulevaisuuden kehityspotentiaali ei kohdistukaan itse lämpöpumppuun, vaan lämpöpumppua hyödyttävän tehdassovellutusten kehittämiseen.
- Lämpöpumpputyyppejä ovat mm. suljettuun kiertopiiriin perustuva lämpöpumppu, absorptiolämpöpumppu, höyryn mekaaninen komprimointi ja termokompressori.
- Teollisuudessa lämpöpumppuja käytetään mm. haihdutuksessa, tislauksessa, kuivauksessa, höyryn valmistuksessa sekä lämmöntalteenotossa. Parhaimmillaan ne ovat prosesseissa, joissa lämmönsiirron lämpötilaerot ovat pieniä.



*Lämpöpumppu paperikoneella.  
[Raiko, Mäki-Mantila 2005]*

## 4) Likaantuminen

- Lämmöntalteenottolaitteiston likaantumisen aiheuttaa mm. seuraavia ongelmia:
  - Lämmönsiirto heikkenee kun lika muodostaa eristävän kerroksen lämmönsiirtopinnalle.
  - Lämmönsiirtopinnat syöpyvät.
  - Kertynyt lika voi pienentää putken poikkipinta-alaa.
  - Talteenottolaitteiston mekaaniset osat kuten, pellit ja pesulaitteistot, voivat jumiutua ja vaurioitua.
  - Painesuhteet muuttuvat, jolloin epäpuhtaudet virtaavat ei-toivottuun suuntaan.
  - Ilman säännöllistä lianpoistoa lämpöpinnat joudutaan ylivoimittamaan, mikä lisää investointikustannuksia.
  - Likaantumisen aiheuttama huoltotarve lisää käyttökustannuksia.
  - Palovaara lisääntyy.
- Lämmöntalteenottolaitteiston likaantumista voidaan vähentää mm.:
  - lämmönsiirtopintojen materiaalivalintojen, pinnoitteiden sekä sileän viimeistelyn avulla.
  - lämmönsiirtimen muodon (esim. spiraali) avulla.
  - toimintaolosuhteiden (suurempi virtausnopeus) muutoksella.
  - poistamalla tai neutralisoimalla likaavat ja korroosiota aiheuttavat tekijät virtaus-systeemistä.
  - asentamalla automaattinen puhdistuslaitteisto.

## 4) Prosessimuutokset

- Lämmönsiirtimet on mitoitettu toimimaan tietyillä prosessiarvoilla. Lämmönsiirtimet kestävät pientä vaihtelua toiminta-arvoissa, mutta eivät suuria muutoksia. Prosessimuutosten ollessa suuria lämmöntalteenottoprosessi ei enää toimi tehokkaasti.
- Teollisuuslaitoksissa tehdään jatkuvasti isompia ja pienempiä prosessimuutoksia, joista osa vaikuttaa suoraan lämmöntalteenoton toimintaan.
  - Prosessimuutosten yhteydessä on tärkeää tarkistaa onko muutoksilla vaikutusta lämmöntalteenottoon ja tehdä tarvittaessa muutoksia lämmöntalteenottoprosessiin.
- Suunniteltujen prosessimuutosten lisäksi monet prosessin asetusarvot muuttuvat ajan myötä ja myös tämä vaikuttaa lämmöntalteenoton tehokkuuteen.
  - Prosessimittaukset ja säännöllinen prosessin seuranta auttavat havaitsemaan pitkänaikavälin muutokset.

## 4) Huolto ja kunnossapito

- Säännöllinen kunnossapito ja huolto ennaltaehkäisevät äkillisiä korjaustarpeita. Väliaikaiset ja lyhytkestoiseksi tarkoitetut korjaukset voivat muuttaa prosessi-arvoja ja tehdä siitä monimutkaisemman. Tällöin prosessin luotettavuus ja tehokkuus heikkenee.
- Vuodot lämmönsiirtoverkostossa pienentävät lämpötilaeroja virtausten välillä. Tämä heikentää lämmöntalteenoton tehokkuutta. Vuodot myös kiihdyttävät haitallisten epäpuhtauksien leviämistä prosessissa.
- Lämmöntalteenottolaitteiston huollossa tulee kiinnittää huomiota ainakin seuraaviin asioihin:
  - Lämmönsiirrinten pintojen likaisuus ja syöpyneisyys sekä puhdistuslaitteiston toiminta.
  - Liitosten tiiviys ja mahdolliset vuodot järjestelmässä.
  - Mekaanisten osien (mm. hihnat, laakerit, tiivisteet, pellit) kuluminen.
  - Käyttöautomaatiikan, mittareiden sekä sulku- ja säätölaitteiden toiminta.
  - Lämmönsiirtonesteiden pitoisuuksien tarkastus.
  - Painesuhteiden sekä neste- ja ilmavirtojen tarkistus.
  - Suodattimien puhtaus ja vaihtotarve.
  - Pesunesteiden viemäroinnin toiminta.

# YHTEENVETO:

- Lämmitysprosessin energiatehokkuutta parantamalla voidaan saada aikaan tuntuvia säästöjä mm. jäädytys- ja polttoainekustannuksissa.
- Lämmityksen energiatehokkuuteen vaikuttaa paitsi itse lämmön tuotanto myös lämpöä kuluttavan prosessin tehokkuus sekä lämmön siirtäminen tuotannosta sen loppukäyttäjälle.
- Lämmitysprosessien energiatehokkuuden kannalta tärkeää on:
  - Lämmöntuotannon tehokkuus (polttoprosessin hallinta, polttoaine-ilmasuhte, palamisilman esilämmitys, happirikastus, sähkön käyttö lämmitykseen vain tarvittaessa)
  - Lämmönsiirron tehokkuus (liian poisto, lämmönsiirtimien materiaalit ja kunto, oikea prosessilämpötila, polton hallinta)
  - Häviöiden minimointi (eristäminen, aukkojen tiivistys, kattilan oikea painetaso, vuotojen korjaus)
  - Prosessin hallinta (mittaaminen, prosessiautomaatiikka, mittaustietojen analysointi)
  - Hukkalämmön hyödyntäminen lämmöntalteenoton avulla
  - Apujärjestelmien (putkisto, pumput, tuulettimet, moottorit) vaikutus.
  - Säännöllinen huolto ja kunnossapito
- Lämmitysprosessin energiatehokkuutta voidaan parantaa vielä prosessin tehostamisen ja häviöiden minimoimisen jälkeen lämmöntalteenoton avulla. Sen avulla prosessihäviöiden energia pystytään hyödyntämään uudelleen prosessissa tai sen ulkopuolella.

# Lähteet

- DOE, Department of Energy. 2007. Improving process heating system performance: a sourcebook for industry. Toinen painos. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 14.11.2008]. Saatavissa: [http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/techpubs\\_process\\_heating.html](http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/techpubs_process_heating.html).
- DOE, Department of Energy. 2002. Steam System Opportunity Assessment for the Pulp and Paper, Chemical Manufacturing, and Petroleum Refining Industries. Main report. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 6.8.2009]. Saatavissa: [http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/steam\\_assess\\_mainreport.pdf](http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/steam_assess_mainreport.pdf)
- EIPPCB, European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau. 2008. Draft reference document on best available techniques for energy efficiency. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 14.11.2008]. Saatavissa: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/pages/FActivities.htm>
- ERI, The Energy Research Institute, University of Cape Town. 2000a. How to save energy and money in steam systems. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 14.11.2008]. Saatavissa: <http://www.3e.uct.ac.za/download.htm>
- ERI, The Energy Research Institute, University of Cape Town. 2000b. How to save energy and money in boilers and furnace systems. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 14.11.2008]. Saatavissa: <http://www.3e.uct.ac.za/download.htm>.
- ERI, The Energy Research Institute, University of Cape Town. 2000c. How to save energy and money in electrical systems. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 14.11.2008]. Saatavissa: <http://www.3e.uct.ac.za/download.htm>
- Heikkilä, I & Huomo, M & Siitonen, S & Seitsalo, P & Hyytia, H. 2008. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT), Teollisuuden energiatehokkuus. Suomen ympäristö 51/2008. ISBN 978-952-11-3330-5 (PDF). ISSN 1796-1637 (verkkoy.). Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Verkkojulkaisu]. [Viitattu 7.8.2009]. Saatavissa: [www.ymparisto.fi/julkaisut](http://www.ymparisto.fi/julkaisut)
- Raiko, M & Mäki-Mantila, E. 2005. Lämpöpumput ja niiden vaikutus sähköntuotantoon. Enprima Limited. Vantaa, Suomi. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 3.8.2009]. Saatavissa: <http://julkaisurekisteri.ktm.fi/>
- UNEP, United Nations Environment Program, Division of Technology, Industry and Economy. 2004. Cleaner production-Energy efficiency (CP-EE) manual. ISBN: 92-807-2444-4. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 14.11.2008]. Saatavissa: [http://www.unep.org/publications/search/pub\\_details\\_s.asp?ID=33](http://www.unep.org/publications/search/pub_details_s.asp?ID=33).

Lisää tietoa  
[www.motiva.fi](http://www.motiva.fi)