Kylmälaitosten lauhdutuslämmön talteenotto ja hyödyntäminen

Pauli Kortesoja
Thermopolis Oy
2.1.2015

Tämä raportti on toteutettu osana Versatile Materials -hanketta

into SEINÄJOKI
Thermopolis
Vipuvoimaa EU:lta 2007–2013
Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Sisällysluettelo

Johdanto

Kylmäprosessin perusteet

Kylmälaitoksen lauhdutuslämpö

Energiakatselmus

Energia-analyysi

Kylmälaitoksen lauhdutuslämmön kannattavuuslaskelmat

Lauhdutuslämmön hyödyntäminen

Rinnankytketyt lauhduttimet

Sarjaan kytkettävät lauhduttimet

Välillinen lauhdutus

Lauhdutuslämmön hyödyntäminen elintarvikemyymälöissä

Johdanto

Kylmälaitokset on varsinkin aikaisemmin suunniteltu ja toteutettu pelkästään kylmäprosessin ehdoilla. Kylmälaitosten suunnittelu on ollut oma prosessi, jolloin laitoksen suunnittelijan ja urakoitsijan tehtäviin ei ole kuulunut muita lämpöprosesseja. Kylmälaitosten suunnittelijat, tekijät ja muut kylmäalan vastuuhenkilöt ovat lisäksi olleet huolissaan kylmäprosessin toiminnan vaarantumisesta jos kylmäprosessin lauhdutuslämpöä otetaan talteen ja hyödynnetään muissa prosesseissa.

Huoli on osittain aiheellinen, sillä lauhdutuslämmön talteenotto on suunniteltava ja asennettava kylmäprosessin ehdoilla. Jos lauhdutuslämpöä hyödynnetään muihin prosesseihin hallitsemattomasti saattaa kylmälaitoksen kompressorilta lauhduttimelle menevä kuumakaasu jäähtyä liikaa ja se nesteyttää lauhduttimen koko sisällön. Tällöin kokonaan nesteytynyt lauhdutin voi pysäyttää koko kylmäprosessin.

Järjestelmän valinta on yksi suunnittelun tärkeimmistä vaiheista, sillä periaatteellisten virheiden korjaaminen jälkikäteen on hyvin kallista. Kun jo suunnitteluvaiheessa otetaan huomioon lauhdelämmön talteenotto, voidaan se toteuttaa pienellä kustannuksella ja lyhyellä takaisinmaksuajalla.

Kylmäaineet ovat vaihtuneet yhä vaarattomimmiksi, johtuen kansainvälisestä lainsäädännöstä ja määräyksistä. Niiden tarkoituksena on hidastaa kasvihuoneilmiön voimistumista. Pilottikohteissa on käytössä kylmäaineena mm. hiilidioksidia, joka on ympäristölle vaaratonta.

Energiahinnat ovat vuosien kuluessa kohonneet, jolloin kylmälaitosten lauhdutuslämpöä on lisääntyvässä määrin alettu hyödyntämään varsinkin suuria kylmätehoja vaativissa elintarviketeollisuuden kohteissa. Elintarviketeollisuuden kova kilpailutilanne on lisännyt lauhdutuslämmön hyödyntämistä, koska se tuo yritykselle kilpailuetua. Lauhdutuslämmön hyödyntämistä on vauhdittanut lämpöpumpputekniikan voimakas kehitys. Alalla toimii muutama lämmön talteenottoon erikoistunut yritys, joille on kertynyt onnistuneita referenssikohteita varsinkin elintarvikeyhtiöistä. Kyseisiä yhtiöitä ovat esim. Finess Energy Oy, Scancool Oy ja Calefa Oy.

Kylmäprosessin perusteet

Kylmäkoneistoissa toiminta perustuu lähes aina kiertoprosessiin, jossa koneistossa kiertävä kylmäaine höyrystyy ja lauhtuu. Kylmäkoneiston pääkomponentit ovat höyrystin, kompressori, lauhdutin ja paisuntalaite, joka usein on paisuntaventtiili.

Höyrystimessä kylmäaine höyrystyy ympäristöä matalammassa lämpötilassa sitoen lämpöä ympäristöstä. Kompressori imee matalapaineisen kylmäainehöyryn ja puristaa sen korkeampaan paineeseen, ja samalla höyryn lämpötila kohoaa. Lauhduttimessa ympäristöä korkeammassa lämpötilassa oleva höyry nesteytyy eli lauhtuu luovuttaen lämpöä ympäristöön. Paisuntalaitteessa nestemäisen kylmäaineen paine laskee, jolloin neste muuttuu neste-höyryseokseksi. Samalla seoksen lämpötila laskee.

Teoriassa lauhduttimen luovuttama lämpömäärä vastaa kylmäaineen höyrystimessä sitomaa lämpömäärää ja kompressorin tekemää työtä. Käytännössä kuitenkin muutama prosentti lämmöstä siirtyy ympäristöön kompressorin ja paineputken kautta.

Kylmälaitoksen lauhdutuslämpö

Kylmälaitoksen lauhdutuslämpö muodostuu kolmesta osatekijästä, jotka ovat tulistuslämpö, varsinainen lauhdutuslämpö ja alijäähdytys. Tulistuslämmön osuus on noin 10 - 20 %, varsinaisen lauhdutuslämmön osuus noin 80 - 90 % ja alijäähdytyksen osuus noin 0 - 5 %.

Lauhdutuslämmön hyödyntämisen eräänä ongelmana on sen matala lämpötilataso. Jos hyödyntämisen tehostamiseksi nostetaan lauhtumislämpötilaa 1 K huonontaa se kylmäkerrointa noin 3 %, ja vastaavasti 3 K nosto huonontaa kylmäkerrointa jo noin 9 %. Tulistuslämmöllä voidaan saavuttaa korkeitakin lämpötilatasoja, mutta ongelmana on sen pieni osuus koko lauhdutuslämmöstä. Lauhdutuslämpöä kannattaakin usein nostaa halutulle tasolle lämpöpumppujen avulla.

Energiakatselmus

Energiakatselmuksessa tarkastellaan kaikki energiankäytöt kiinteistössä ja tuotantoprosesseissa, sekä niiden säästömahdollisuudet takaisinmaksuaikoineen (MWh/€).

Uusi energiatehokkuuslaki astui voimaan 1.1.2015. Uudessa laissa suurille yrityksille säädetään velvoite tehdä yrityksen pakollinen energiakatselmus neljän vuoden välein. Laki koskee toimialasta riippumatta kaikkia yrityksiä, joiden työntekijämäärä on yli 250 henkilöä tai liikevaihto yli 50 miljoonaa ja taseen loppusumma yli 43 miljoonaa euroa.

Katselmukset koskevat niin teollisuuden, kiinteistöalan, palvelualan kuin pankki- ja vakuutusalan yrityksiä. Ensimmäisen katselmus on tehtävä 5.12.2015 mennessä.

Katselmukseen kuuluu yrityksen koko energiankulutuksen kartoitus ja lisäksi otos rakennusten ja teollisuuden kohdekatselmuksista. Katselmusten sisällöstä säädetään myöhemmin valtioneuvoston asetuksella, jossa on myös tarkempia säännöksiä energiakatselmuksien minimivaatimuksista.

Energiakatselmusten muuttuessa isoille yrityksille pakollisiksi, ei niihin myönnetä enää tukea. Pienet ja keskisuuret yritykset sen sijaan voivat edelleen hakea niihin tukea ELY-keskuksilta.

Energiakatselmuksen avulla tehostetaan yrityksen energiankäyttöä ja vähennetään näin yrityksen toiminnasta aiheutuvia ympäristöpäästöjä. Energiankäytön tehostuminen tuo suoraa taloudellista säästöä muun muassa energiankulutuksen vähentyessä. Näin katselmusten hyödyt ylittävät niiden teosta yrityksille aiheutuvat kustannukset.

Yritysten energiakatselmusten vastuuhenkilöille säädetään pätevyysvaatimus. Katselmuksia saa tehdä vain sellainen pätevä henkilö, jonka pätevyyden valvovana viranomaisena toimiva Energiavirasto on todentanut.

Lakimuutoksen tarkoituksena on tehostaa yritysten energiankäyttöä ja vähentää siten niiden toiminnasta aiheutuvia ympäristöpäästöjä.

Energia-analyysi

Energiakatselmuksessa esitettyjen säästötoimenpiteiden toteuttamisen jälkeen analysoidaan lämpö- ja kylmävirrat. Analyysissä selvitetään lämmitettävät ja jäähdytettävät kohteet, esiintymisajat, lauhdutuslämmön virtaamat ja lämpötilatasot. Samalla kannattaa tarkastella kaikki lämmön talteenoton mahdollisuudet, kuten jäteveden lämmön talteenotto, paineilmalaitteiden jäähdytysten talteenotto, savukaasujen lämmön talteenotto, ilmastointijärjestelmien lämmön talteenotto jne. Analyysissä selvitetään talteenoton teoreettinen maksimi ja samalla selviää myös kylmän- ja lämmöntuoton minimit.

Kylmälaitoksen lauhdutuslämmön kannattavuuslaskelmat

Lämmön talteenottojärjestelmien kannattavuustarkastelujen pohjana on pidettävä kohteen koko energiajärjestelmää. Valintakriteereihin vaikuttavat mm. vuosittaiset käyttöajat, energian säästön suuruus, kokonaisenergiakustannusten säästö, hankintahinta, käyttövarmuus, omistussuhteet, lisäenergian hinta jne.

Laskelmiin aiheuttaa epävarmuustekijöitä mm. säästetyn energian hinta, käyttöaika, sekä huolto- ja korjauskustannukset varsinkin takuuajan jälkeen. Usein riittää, että kannattavuus lasketaan karkeasti, jolloin nähdään onko ratkaisu selvästi kannattava vai kannattamaton. Kannattavuuden ollessa rajamailla tarkennetaan laskelmia.

Lopullisen lämmitysenergian hinnassa on otettava huomioon esim. kattilalaitoksen hyötysuhde ja hoitokulut. Uusissa kohteissa otetaan huomioon kattilalaitoksen mahdollinen pieneneminen, jos lauhdutuslämmön talteenotto toteutetaan.

Myös kaukolämmön liittymismaksut, vaihtimet ja vuosittaiset perusmaksut saattavat pienentyä lauhdutuslämmön hyödyntämisen ansiosta. Sähköenergian mahdollinen liitäntätehon pieneneminen vaikuttaa investointikustannuksiin, liittymismaksuihin ja tehomaksuun.

Koska kasvihuoneilmiön ennustetaan voimistuvan, ympäristölle täysin haitattoman lauhdutusenergian pitäisi muuttua yhä tärkeämmäksi valintaperusteeksi sen pitkistä takaisinmaksuajoista huolimatta.

Lauhdutuslämmön hyödyntäminen

Lauhdutuslämmön hyödyntämisen perusedellytyksenä pidettiin aikaisemmin riittävän suuren jäähdytystehon lisäksi samanaikaista lämmitysenergian tarvetta. Energiavirtojen ollessa riittävä suuria voidaan lämpöä ja kylmää varastoida varaajiin ja lämpöakkuihin. Silloin lämmön- ja kylmäntarpeiden samanaikaisuus ei ole ehdoton vaatimus lauhdutuslämmön hyödyntämiselle.

Kylmä- ja pakkasvarastoissa saattaa ongelmana olla suuri lauhdutusteho, mutta sen hyödyntämiseen ei läheltä löydy lämmitettäviä prosesseja. Suuritehoisissa kohteissa kannattaa rakentaa lämmön talteenottojärjestelmä putkistoineen, mutta se vaikuttaa hyötysuhteeseen ja takaisinmaksuaikoihin.

Pieniin kylmäkoneistoihin ei kannata rakentaa monimutkaisia järjestelmiä. Niissä tulee kyseeseen lähinnä varsinaisen ilmalauhduttimen tai rinnakkaislauhduttimen sijoittaminen lämmitettävään tilaan. Kannattaa huomioida, että lainsäädäntö kieltää käyttöveden suoran lämmityksen lauhdelämmön avulla. Sen vuoksi joudutaan käyttämään välissä välipiiriä, joka kasvattaa investointikustannuksia, huonontaa hyötysuhdetta ja alentaa käyttöveden lämpötilatasoa.

Lauhdutuslämpöä voidaan hyödyntää mm. ilmastoinnin tuloilman lämmitykseen, lämpimän käyttöveden lämmitykseen, tuotantoprosessien lämmitykseen ja kaukolämpöön. Lauhdutuslämpötila on usein matala, mutta sen energiavirta voi olla hyvinkin suuri. Silloin kannattaa lämpötilaa nostaa lämpöpumppujen avulla paremmin hyödynnettävään tasoon.

Perussääntö lämmön talteenotossa on pidettävä varmatoimisuutta, eli lauhdutuslämmön talteenotto ei saa vaarantaa kylmälaitoksen toimivuutta. Lämmön talteenottoa ei välttämättä tarvitse mitoittaa koko lauhdutusteholle, sillä sopivalla järjestelmävalinnalla on mahdollista käyttää samanaikaisesti lämmön talteenottolauhdutusta sekä ulkolauhdutusta.

Rinnankytketyt lauhduttimet

Lauhduttimien rinnankytkennässä lauhduttimien ja niiden venttiilien aiheuttama painehäviö on yleensä pienempi kuin sarjaan kytkennässä. Termostaatilla voidaan ohjata 2- tie tai 3- tiemagneettiventtiiliä lämmitystarpeen mukaan. Lto- lauhdutin on mitoitettava koko koneiston lauhdutusteholle.

Jos rinnankytkettyjen lauhduttimien pitää toimia samanaikaisesti, toimintaa vaikeuttavat lauhdutuspaineiden erot lauhduttimissa. Lauhdeputkessa kummaltakin lauhduttimelta tulevat nestevirtaukset yhtyvät. Jatkuva ja tasainen virtaus kummaltakin lauhduttimelta edellyttää samaa lauhdutinpainetta. Se ei kuitenkaan käytännössä ole mahdollista piirien erilaisten painehäviöiden ja ympäristöolosuhteiden vuoksi.

Seurauksena on yleensä vuoroittainen lauhtuneen kylmäaineen palautus lauhduttimilta nestevaraajalle. Tällöin on vaarana, että toisesta rinnakkaislauhduttimesta pääsee lauhdeputkeen kuumakaasua. Se estää nesteen vapaan valumisen lauhduttavalta lauhduttimelta nestevaraajalle. Tätä vaaraa voidaan vähentää varustamalla piirien lauhdeputkien liitännät yhteisputkeen alaspäin käännetyillä mutkilla (ns. P-trap), jotka ehkäisevät kaasuvirtauksen syntymistä. Lauhdeputkiin kerääntyvät nestepatsaat kompensoivat samalla piirien erilaisia painehäviöitä.

Sarjaan kytkettävät lauhduttimet

Lauhduttimien sarjaan kytkennässä koneiston kylmäaineen määrää koneiston eri osien välillä vaihtelee suuresti. Ensimmäinen lauhdutin saattaa välillä lauhduttaa kaiken kylmäaineen, ja sarjassa seuraavana oleva lauhdutin on kokonaan nesteen täyttämä.

Kun lämmön talteenottoa ei tarvita, on ensimmäinen lauhdutin ohitettu tai sen läpi virtaa lauhtumatonta kuumakaasua. Silloin lauhdutus tapahtuu jälkimmäisessä lauhduttimessa. On varmistettava, ettei ensimmäisen lauhduttimen aiheuttama painehäviö ole liian suuri, vaikka sen läpi virtaa pelkkää kaasua.

Sarjaan kytketyillä lauhduttimilla voidaan neste alijäähdyttää tehokkaasti, mutta alijäähdytys yleensä menetetään lähes kokonaan nestevaraajassa. Sarjaan kytkennän haittapuolena on lauhduttimien aiheuttama kokonaispainehäviö, joka on venttiileineen suurempi kuin rinnankytkennässä.

Sarjaan kytkennässä ensimmäisessä lauhduttimessa nesteytyneen kylmäaineen nestepatsas aiheuttaa aina nousuputkessa toiselle lauhduttimelle suuren painehäviön, joka vaikeuttaa kylmäainekiertoa.

Lauhdutinpaineen säätöventtiiliä ei saa sijoittaa sarjaan kytkettyjen lauhduttimien väliin. Säätöventtiili mitoitetaan kuumakaasutehon mukaan, koska sille tulee kuumakaasua lämmön talteenoton ollessa toiminnasta pois. Lämmön talteenoton ollessa toiminnassa saattaa lto- lauhdutin lauhduttaa kylmäaineen kokonaan, jolloin kylmäaine tulee säätöventtiilille nesteenä. Säätöventtiilin teho nesteelle on kuitenkin niin paljon suurempi, että nestevirtauksesta syntyvä painehäviö ei riitä pitämään säätöventtiiliä tasaisesti auki jolloin venttiili vuorotellen avautuu ja sulkeutuu.

Jos lauhdutinpaineen säätöventtiili sijoitetaan lauhdeputkeen, saattaa ulkolauhdutin pudottaa lauhtumislämpötilansa staattisesti liian alas. Pudotus johtuu pienestä kylmätehon kuormituksesta ja alhaisesta ulkoilman lämpötilasta. Tällöin varaajapaine ei riitä nesteen syöttämiseen höyrystimelle, vaikka ulkolauhduttimen puhaltimet eivät pyörikään.

Sarjaan kytkettyjen lauhduttimien aiheuttama painehäviö on yleensä niin suuri, ettei voida käyttää vakiopaine-erolla (1,2 – 1,5 bar) avautuvaa varaajapaineen säätöventtiiliä. Sen vuoksi on käytettävä säädettävää varaajapaineensäätöventtiiliä ja takaiskuventtiiliä.

Jos lauhduttimien välinen etäisyys on pitkä, tai ulkolauhdutin on liian korkealla saattaa seurauksena olla lauhdutuspaineen nousu. Syynä nousuun on tietyssä olosuhteissa ensimmäisen lauhduttimen toimiminen lauhduttimena ja sarjassa toisena olevan lauhduttimen toimiminen alijäähdyttimenä. Ensimmäisen lauhduttimen teho ei riitä ko. olosuhteissa koko lauhdutusteholle.

Jos lauhduttimia kytketään sarjaan, on toiminnallisesti varmin tapa sijoittaa sarjassa toisena oleva lauhdutin mahdollisimman lähelle ensimmäistä ja lisäksi tämän alapuolelle. Yleensä kytkentä toimii myös, jos lauhduttimien välinen etäisyys on lyhyt. Lisäksi lauhduttimien on oltava samalla tasolla tai mahdollinen putkinousu on muutaman metrin.

Koska jälkimmäinen lauhdutin saattaa olla kokonaan nesteen täyttämä, nestevaraajan tilavuuden tarve pitää aina laskea. Tilavuuden pitää olla aina riittävän suuri, että koneisto toimii moitteettomasti samalla kylmätäytöksellä kesäisin ja talvisin.

Välillinen lauhdutus

Lauhduttimien sarjaan ja rinnan kytkentää suositeltavampi tapa on käyttää välillistä lauhdutusta. Silloin kylmäkoneiston kylmäainetäyttö on huomattavasti pienempi ja kylmäaineen virtaus lauhduttimelta nestevaraajalle paljon tasaisempi. Lämmön talteenoton hyötysuhde ja lämmön hyödyntämismahdollisuudet ovat paljon paremmat kuin sarjaan ja rinnankytketyissä lauhduttimissa. Välillisessä lauhdutuksessa on komponentteja enemmän kuin muissa lauhdutuslämmön hyödyntämistavoissa.

Lauhdutuslämmön hyödyntäminen elintarvikemyymälöissä

Elintarvikemyymälöissä on kylmäkoneiden lauhdutuslämpö hyödynnetty parhaiten. Niissä jäähdytysteho on riittävän suuri lauhdutuslämmön hyödyntämiseen ja samanaikaisesti on riittävän suuri lämmityksen tarve. Kylmäkalusteet jäähdyttävät kalustealueen, jota sen vuoksi pitää lämmittää myös kesällä ympäristön saamiseksi viihtyisäksi ja miellyttävän lämpimäksi asiakkaille.

Jäähdytettävien kalusteiden ja -tilojen jäähdytystehontarve vaihtelee, ja niiden samanaikainen myymälää jäähdyttävä vaikutus vaihtelee voimakkaasti vuorokauden eri aikoina. Suurin jäähdytystehontarve on aamupäivisin, kun tavarantäydennykset saapuvat kylmätiloihin ja kalusteet täytetään. Samaan aikaan on kuitenkin myös hyödynnettävä lauhdutuslämpö suurimmillaan.

Varsinkin elintarvikemyymälöissä lto- laitteiden hankinnan perusteena on hankinta- ja käyttökustannusten lisäksi myös käyttövarmuus. Lämmön talteenotolla ei saa vaarantaa varsinaisen kylmän tuottamista. Myymälöissä on perinteisesti käytetty ilmanvaihto- ja lauhdutuslämmön talteenottokojetta nimeltä Kryotherm. Kojeessa on kaksinopeuksiset lauhdutinpuhaltimet, jotka käynnistyvät puolelle nopeudelle, kun kylmäkoneisto käynnistyy. Kun lauhtumispaine ylittää painekytkimen tai -lähettimen asetusarvon, kytkeytyvät puhaltimet täydelle nopeudelle. Lauhduttimessa lämmennyt ilma johdetaan lämmöntarpeen mukaan kokonaan tai osittain myymälään.

Nykyään elintarvikemyymälöiden kylmätehon tarve on kasvanut pinta-alaan ja sen vaatimaan ilmanvaihtoon nähden huomattavan suureksi. Sen vuoksi osa lauhdelämmöstä joudutaan poistamaan erillisellä lauhduttimella, joka on yleensä asennettu sarjaan Kryothermin lauhduttimen kanssa. Kun käytetään lisälauhdutinta, on kytkentä suunniteltava huolellisesti. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon mm. lauhdutusteho, sen jakautuminen lämmön talteenotto- ja lisälauhduttimen välillä sekä lauhduttimien ja nestevaraajien keskinäiset korkeuserot ja etäisyydet.

Kryothermiä voidaan käyttää myös välillisessä lauhdutuksessa, jolloin kylmäainetäyttö on pienempi. Lauhdutuslämpöä voidaan jakaa suhteellisella säädöllä tarkasti ja melko vapaasti erilaisiin käyttötarkoituksiin. Välilliselle lauhdutusjärjestelmälle pitkätkään keskinäiset etäisyydet eivät aiheuta toiminnallisia riskejä.

Lähdeaineisto: Kylmälaitoksen suunnittelu Pertti Hakala ja Esko Kaappola