



JÄÄHALLIEN ENERGIATEHOKKUUDEEN PARANTAMINEN

Polku jäähallin energiatehokkuuteen

Aalto-yliopisto, VTT, Suomen jääkiekkoliitto
Tämän ohjeen tekoon on saatu tukea Opetus- ja kulttuuriministeriöltä.

Sisällysluettelo

JÄÄHALLIEN ENERGIAATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN.....	2
Jäähallin energiatekniikan perusteet.....	2
Jäähallin energiankulutus	3
Jäähallien kosteustekninen toiminta	4
JÄÄHALLIN LÄHTÖTILANNE.....	6
Näil löydät tarvittavat tiedot taulukoihin.....	7
KULUTUSTIETOJEN KUVAAJIEN TULOKSET JA TULKINTA	9
KYLMÄKERTOIMEN OMATOIMINEN MÄÄRITYS	13
ILMANPITÄVYYDEN MÄÄRITTÄMINEN.....	14
JÄÄHALLIEN KOSTEUDENHALLINTA	15
Tuloilman kuivatus ja ilmanpitävyys	15
Jään vaikutus ja oikeaoppinen ilmanjako.....	16
Ilmanvaihdon suunnittelu	16
JÄÄHALLIEN YLEISIÄ ONGELMIA.....	17
Lauhdelämmön käyttämättömyys.....	17
Lämmön talteenoton tehoton käyttö.....	17
Ilmanjako	18
Kosteuden kondensoituminen rakenteiden pinnoille	19
Riittämätön kuivatusteho	20
TEHOSTAMISKONSEPTIT	20
Jäänhoidon tehostus.....	21
Automaation ja ilmanvaihdon toiminnan tarkistus	22
Ilmanjaon parannus.....	22
Valaistuksen tehostaminen.....	23
Kiertoilman käyttö.....	23
Lattialämmityksen käyttö hallitilassa	23
Lauhdelämmön käytön tehostaminen	24
Kuivatuksen tehostus.....	25
Kylmäkoneiden toiminnan tehostaminen.....	25
SUUNNITTELU JA TOTEUTUS	26
PALAUTE ENERGIAATEHOKKUUDEN PARANTAMISEN OSIESTA.....	27

JÄÄHALLIEN ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Tämä jäähallien energiatehokkuuden ja kosteusteknisen toiminnan ohje on suunnattu ensisijaisesti jäähallien henkilökunnille, mutta myös alan ammattilaisille. Ohjeella muodostetaan kuva jäähallin lähtötilanteesta ja kartoitetaan mahdollisia ongelmia, joihin voidaan puuttua energiatehokkuuden ja kosteusteknisen toiminnan parantamiseksi.

Jäähallin tehtävä on tarjota sen käyttäjille hyvät olosuhteet jääurheilun harjoittamiseen. Täten kaikki toimenpiteet ja päätökset tulee aina tehdä ottaen huomioon hallin käyttötarkoitus ja käyttäjien viihtyvyys. Jääurheilun olosuhteiden ylläpitäminen on kuitenkin luonnoton tila, jonka ylläpito vaatii ulkopuolisen (ostetun) energian käyttöä. Käytännössä jäätä tulee jatkuvasti jäähdyttää ja samalla ilmaa lämmittää. Jotta halli olisi energiatehokas, olosuhteet jääurheilulle pitää luoda käyttäen mahdollisimman vähän energiaa.

Jäähallin energiatekniikan perusteet

Jotta jäähallien energiateknistä toimintaan voidaan kehittää, tulee ensin ymmärtää, **mihin energia jäähallissa kuluu** ja miten jäähallin sisäiset **energiavirratt** toimivat. Mikäli jäähallin hallitilan lämpötila on vakio, vallitsee siellä **tasapainotila**. Tämä tarkoittaa, että hallitilaan syötetään tai siellä tuotetaan yhtä paljon **lämpöenergiaa**, kuin sieltä poistuu. Tämä on yleisin vallitseva tilanne, ja ainoastaan poikkeustapauksissa pyritään hallitilan lämpötilaa joko nostamaan tai laskemaan.

Hallitilaan syötetään lämpöenergiaa pääasiassa **lämmitetyn tuloilman** muodossa. **Ilmalämmitys** on selvästi yleisin käytetty lämmitysmuoto. Muita, yleensä ilmalämmityksen tukena toimivia lämmitysmuotoja ovat lattialämmitys ja erilaiset radiaattorilämmitykset. Hallitilaan syötetyn lämpöenergian lisäksi siellä usein myös tuotetaan lämpöenergiaa. Hallitilan sisäisiä lämpöenergian lähteitä eli **lämpökuormia** ovat mm. ihmiset ja valaistus. Myös jäänhoitovesi on hallitilan lämpötasapainoa kuormittava tekijä.

Hallitilasta puolestaan poistuu lämpöenergiaa **pääasiassa jääradan kautta**. Jäärata on suhteessa hallitilan kokoon pinta-alaltaan valtava, ympäristöönsä selvästi kylmempi pinta, joka ikään kuin vetää puoleensa lähes kaiken hallitilaan syötetyn tai siellä tuotetun lämpöenergian. Jäärata toimii siis massiivisena **lämpönieluna**. Hallitilassa tapahtuu **lämpöhäviötä** myös tavanomaisten rakennusten tapaan rakennusvaipan vuotokohtien, kylmäsiltojen ja yleisen johtumisen myötä, mutta näiden osuus kokonaislämpöhäviöstä jää pieneksi.

Jääradan puoleensa vetämää lämpöenergiaa ei kuitenkaan voida antaa sitoutua itse jäähän, koska tällöin jään lämpötila nousisi ja se alkaisi lopulta sulaa. Lämpöenergiavirta jatkaa matkaansa jääradan alla sijaitsevaan **kylmäliuosputkistoon**, minkä seurauksena putkistossa virtaavan kylmäliuoksen lämpötila nousee. Lämmennyt kylmäliuos virtaa **kylmäkoneistolle**, missä siihen kylmäkierron aikana sitoutunut lämpöenergia poistetaan ja sen lämpötila täten laskee, jolloin liuos on valmis uudelle kierrokselle.

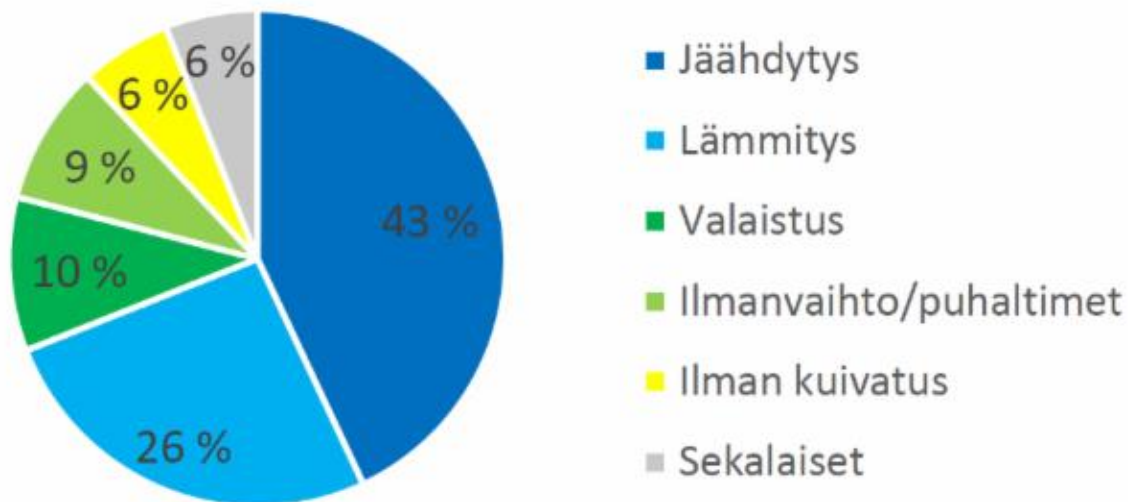
Kylmäkoneistossa tapahtuva kylmäliuoksen jäähdytys vaatii operaationa ulkoista energiaa, joka syötetään kylmäkoneistoon sähköenergian muodossa. **Lopulta sekä kylmäliuoksesta jäähdytyksen seurauksena poistettu lämpöenergia, että koneistoon syötetty sähköenergia vapautuvat lämpöenergiana**. Tätä kutsutaan kylmäkoneiston **lauhde-energiaksi**. Lauhde-energian tuotannolta ei voida kylmäkoneistossa välttyä,

ja se on tavalla tai toisella poistettava koneistosta. **Miten lauhde-energiaa onnistutaan hyödyntämään jäähallin lämmitystarpeissa on merkittävin yksittäinen tekijä jäähallin energiatehokkuudessa.** Huomionarvoista on myös, että kylmäkoneistossa lauhde-energiaa syntyy aina enemmän kuin varsinaista ”kylmäenergiaa”.

Kylmäkoneiston kykyä tuottaa jäähdytysenergiaa suhteessa sen vaatimaan sähköenergiaan kutsutaan koneiston **kylmäkertoimeksi**(COP – coefficient of performance). Mitä korkeampi COP-arvo, sitä vähemmän kylmäkoneisto kuluttaa sähköenergiaa vaaditun jäähdytysenergian tuotantoon. **Kylmäkoneiston COP yhdessä lauhde-energian tehokkaan hyödyntämisen kanssa muodostavat jäähallin energiatehokkuuden kulmakiven.** Jäähallien kylmäkoneiden COP-arvot vaihtelevat yleisesti välillä 2-4.

Jäähallin energiankulutus

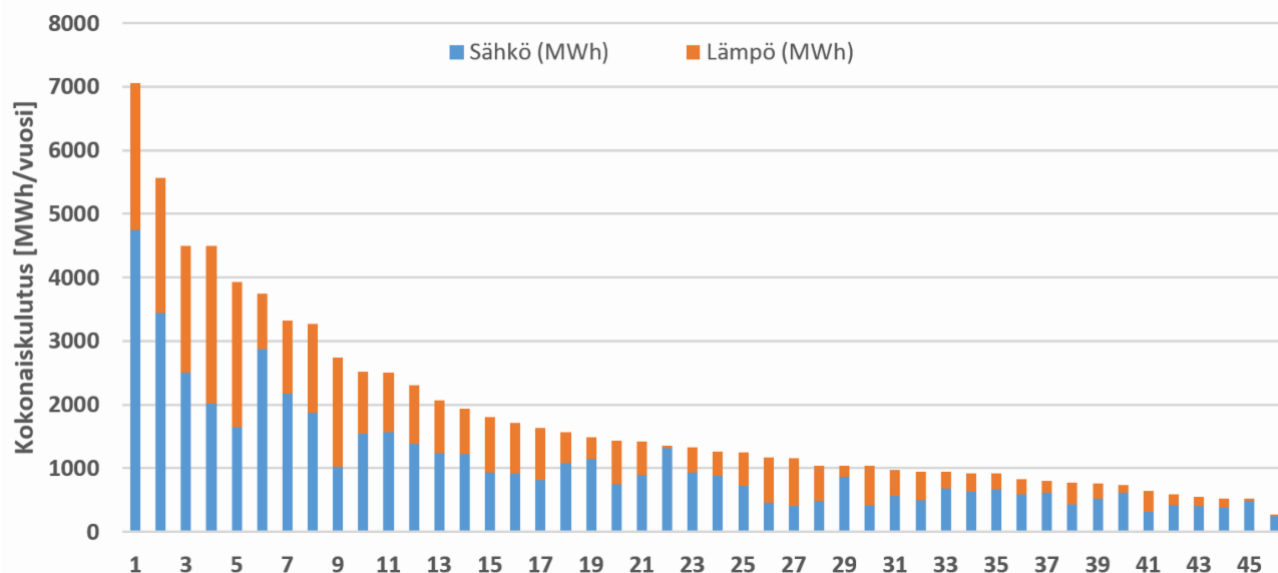
Nyt kun ymmärrämme, mitkä jäähallin energiatekniikan perusteet ovat, voimme tutustua todellisiin energiankulutusjakaumiin. Ruotsissa suoritetun kattavan tutkimuksen seurauksena todettiin, että keskimäärin jäähallissa jäähdytyksen vaatiman sähkönkulutuksen osuus rakennuksen kokonaiskulutuksesta on 43 %, lämmityksen osuuden ollessa 26 % (Kuva 1). Yksiratainen harjoitusjäähalli kulutti keskimäärin n. 1000 MWh ostoenergiaa vuosittain. Jakaumasta huomataan, että lauhde-energiaa hyödynnetään kyseisissä jäähalleissa melko hyvin. Teoriassa lämmitysenergian tarve on vähintään sama tuotetun jäähdytysenergian kanssa. Tuotetun jäähdytysenergian määrä puolestaan vastaa jakauman jäähdytykseen kulunutta sähköenergiaa kerrottuna koneiston COP-arvolla. On perusteltua olettaa, että jäähdytysenergiaa on tuotettu vähintään 1000 MWh vuodessa, mutta lämmitysenergiaa on jouduttu ostamaan ainoastaan 260 MWh. Täten ainakin 75 % lämmitystarpeista on katettu kylmäkoneiston lauhdelämmöllä! Tutkimuksen loppuraportissa todettiin säästöpotentiaalia olevan edelleen jopa 20-40 % suurimmassa osassa tutkituista kohteista.



Kuva 1. Ruotsalaisten jäähallien ostoenergiankulutuksen jakauma. Kuvan tiedot lähteestä http://www.stoppsladd.se/Slutrapport_Stoppsladd_fas_4.pdf

Vastaavia kulutusjakaumatutkimuksia suomalaisista jäähalleista ei ole tehty, mutta jäähalliportaalin kulutustietojen perusteella voimme verrata kokonaiskulutuksia ruotsalaisiin jäähalleihin. Perustuen 46 yksirataisen (pois lukien suurhallit) jäähallin ilmoitettuihin ja järkeviksi todettuihin kulutuksiin suomalainen jäähalli kuluttaa keskimäärin peräti **1800 MWh** energiaa vuodessa (kuva 2)! Tästä ostetun lämpöenergian

osuus on melkein 40 %, vaikka jokainen jäähalli tuottaa **ilmaista** lauhde-energiaa enemmän, kuin sen oma tarve edes on!



Kuva 2. 46 suomalaisen jäähallin yhteenlaskettu sähkö- ja lämpöenergiankulutus perustuen kulutustietoihin vuosilta 2013-2015. Kuvan tiedot ovat Jäähalliportaalista.

Karkeasti arvioituna n. 50 % suomalaisten jäähallien kuluttamasta energiasta olisi teoriassa mahdollista säästää. Useissa tapauksissa energiasaneerauksen investointikustannukset toki kasvavat kohtuuttoman suuriksi, eikä 50 %:n energiasäästö kautta koko jäähallikannan olekaan realistinen tavoite. Tavoitteet tulee asettaa kohdekohtaisesti huomioiden lähtötilanne sekä käytössä oleva budjetti. Olemassa olevan jäähallin energiataloudet voi aloittaa tutustumalla tämän ohjeistuksen sisältöön. Useiden energiaa säästävien toimenpiteiden alkuinvestointi on olematon, kunhan **ymmärtää** käytössä olevan laitteiston ja vallitsevien fysikaalisten ilmiöiden **toimintaperiaatteet**, **havaitsee** hallissa vallitsevat **epäoptimaaliset** tilanteet ja **toteuttaa** tarvittavat muutokset.

Suomen energiatehokkaimman jäähallin titteli kuuluu tällä hetkellä Mäntän Jääareenalle, jonka **nettoenergiankulutus** 12 kuukauden jaksolla (helmikuu 2016 – tammikuu 2017) oli n. **400 MWh**. Kulutus ilmoitetaan nettona, koska kyseinen jäähalli kattoi koko oman lämpöenergian tarpeensa kylmäkoneiston lauhde-energialla, ja onnistui lisäksi myymään sitä viereiseen uimahalliin yhteensä n. 250 MWh. Täten myös vuositason brutto- eli sähköenergiankulutus oli melko maltillinen, 650 MWh. Samalla periaatteella on mahdollista toteuttaa nettoenergiankulutukseltaan jopa **nolla- tai plusenergiajäähalli**, kuten Westhills Recreation Centre Kanadassa. Kuka ottaa haasteen vastaan ja toteuttaa sen ensimmäisenä Suomessa?

Jäähallien kosteustekninen toiminta

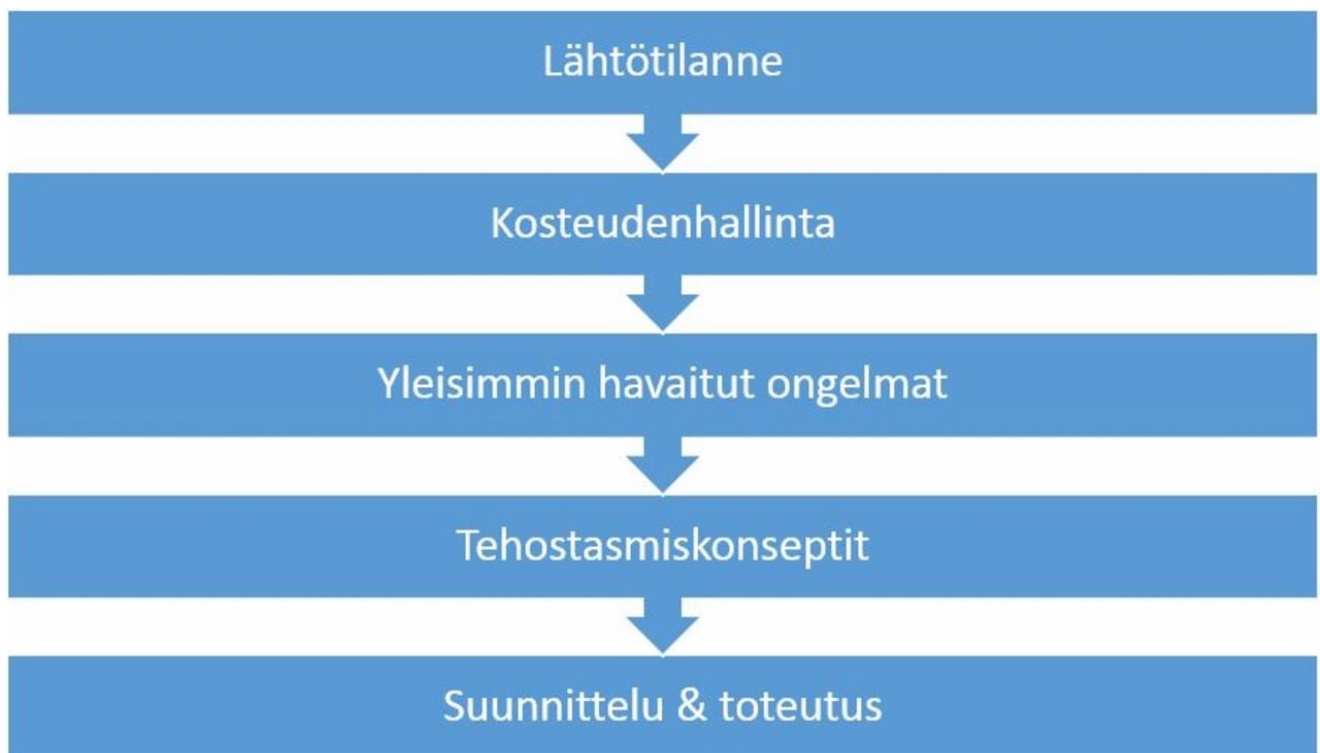
Jäähallit ovat kosteusteknisesti haastavia rakennuksia. Halli on tilana kylmä ja sen sisältämän ilman kosteudensitomiskapasiteetti on matala. Tämä tarkoittaa sitä, että **hallitsemattoman kosteuden tiivistymisen (kondensoitumisen) riksi on suuri**. Jäähallin kosteustekninen hallinta vaatii kokonaiskuvan hallintaa ja riskialueiden tunnistamista jo ennen ongelmien syntymistä. **Jäähallien kosteusteknisen toiminnan**

kulmakiviä ovat hallitilan tuloilman tehokas kuivatus ja ilmanpitävyys sekä tarkoituksenmukainen ilmanjako.



Kuva 3. Jäähallien kosteusteknisen tilan kulmakivet.

Ensiksi jäähallin lähtötilanne (nykytila) selvitetään seuraavassa kappaleessa esitetyn lomakkeen avulla. Tämän jälkeen ohjeessa käsitellään jäähallin kosteudenhallintaa ja siihen liittyviä keskeisiä tekijöitä, jotka tulee hallita kosteus- ja homeongelmien ehkäisemiseksi. Ohjeessa esitetään myös jäähallien yleisimpiä ongelmia ja niiden seurauksia. **Ongelmien tunnistaminen** omassa hallissa on korjausprosessin onnistumisen edellytys. Lopuksi ohjeessa esitetään korjaus-/tehostuskonsepteja, joiden avulla havaitut ongelmat voidaan poistaa ja miten työ viedään loppuun.



Kuva 4. Jäähallin polku energiatehokkuuteen.

JÄÄHALLIN LÄHTÖTILANNE

Tässä osiossa muodostetaan kuva jäähallin lähtötilanteesta tarkasteluvuonna keskittyen hallin energiankulutukseen. Kaikki tiedot kerätään yhdelle lomakkeelle, joka helpottaa tarkastelua ja mahdollistaa eri vuosien vertailun keskenään. Tarkastelu tehdään aina kokonaiselle vuodelle joko täyttämällä taulukkoa jatkuvasti joka kuukausi, tai kerralla vuoden vaihteessa.

Täytettävän lomakkeen löydät [tästä](#). Lomakkeen avaaminen tapahtuu taulukkolaskentaohjelmalla (esim. Microsoft Excel). Esimerkinomaisesti täytetyn lomakkeen ensimmäinen sivu on esitetty alla olevassa kuvassa. Esimerkkilomakkeen voit ladata [tästä](#).

Jäähallin lähtötilanne -lomake (jäähalliportaali)		
Vuosi	2011	Lomakkeen täyttäjä
Hallin perustiedot:		
Rakennusvuosi	1985	
Hallin kokonaispinta-ala (bruttoala)	3030	m2
Hallitilan ilmanvaihdon kuivatustapa (sorptio-/kondenssikuivain)	Kondenssikuivain	
Hallin käyttökauden pituus (kk. - kk. Yht. X kk.)	elo - kesä, 11 kk	
Lämpö- ja sähköenergian sekä veden kulutustiedot.		
Täytä tiedot seuraaville välilehdille.		
Lämpöenergian kulutus tarkasteluvuonna	528,7	MWh
Lämpöenergian ominaiskulutus	174,49	kWh/m2,a
Lämpöenergian kulutus per kävijä	11,43	kWh/hlö
Sähköenergian kulutus tarkasteluvuonna	542,1	MWh
Sähköenergian ominaiskulutus	178,91	kWh/m2,a
Sähköenergian kulutus per kävijä	17,84	kWh/hlö
Veden kokonaiskulutus tarkasteluvuonna	1700	m3
Veden ominaiskulutus	561,06	litraa/m2,a
Veden kulutus per kävijä	46,30	litraa/hlö
Muut energiatehokkuuden keskeiset tekijät		
Kylmäkoneiston COP.	2,1	
Jäähallin ilmanpitävyys n50 (1/h) tai q50 (m3/h,m2) lukuna. Selvitetään mittaamalla.	1,2	
Jään paksuus keskimäärin. (Sekä vaihteluväli)	4	cm
	2-6	cm

Kuva 5. Esimerkki jäähallin nykytilan seurantalomakkeesta

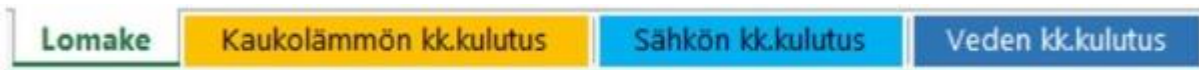
Lomakkeen alkuun täytetään joitain hallin keskeisiä tietoja, joihin kuuluvat rakennusvuosi, pinta-ala, ilman kuivatustapa sekä hallin käyttökauden pituus. Tarkasteluvuoden lämpö- ja sähköenergian sekä veden kuukausittaiset kulutustiedot kerätään omille välilehdilleen ja ne päivittyvät automaattisesti lomakkeelle (älä täytä tietoja suoraan lomakkeelle vaan kirjaa tiedot välilehdille). Lisäksi välilehtien taulukoihin tulee lisätä ulkoilman lämpötilan keskiarvo sekä kävijämäärä tarkasteltavan kuukauden ajalta. Esimerkkikuva täytettävästä kaukolämmön kulutustietotaulukosta on esitetty alla.

2011	Kaukolämmön kulutus [MWh]	Kaukolämmön kulutuksen keskiteho [kW]	Kuukauden ulkolämpötilan keskiarvo [°C]	Kuukauden kävijämäärä	Sisälämpötilan asetusarvo [°C]	Sisä- ja ulkolämpötilan välinen ero [°C]	Kaukolämmön kulutus per kävijä [kWh/hlö]
Tammikuu	65,7	88,3	-8,8	6000	10	18,8	10,95
Helmikuu	70,2	104,5	-16,3	5500	10	26,3	12,76
Maaliskuu	58	78,0	-3,8	5500	10	13,8	10,55
Huhtikuu	36,5	50,7	4	4000	10	6	9,13
Toukokuu	30,3	40,7	8,8	2000	10	1,2	15,15
Kesäkuu	18,2	25,3	15,6	500	10	-5,6	36,40
Heinäkuu	0	0,0	17,9	500	10	-7,9	0,00
Elokuu	0	0,0	14,3	2000	10	-4,3	0,00
Syyskuu	76,7	106,5	10,7	4000	10	-0,7	19,18
Lokakuu	54,3	73,0	4,7	7000	10	5,3	7,76
Marraskuu	48,8	67,8	1,5	7500	10	8,5	6,51
Joulukuu	70	94,1	-0,4	8000	10	10,4	8,75
Yhteensä	528,7	MWh/vuosi		52500	kävijöitä yhteensä vuodessa		11,43

Kuva 6. Esimerkkikuva täytetystä kuukausikulutusten taulukosta

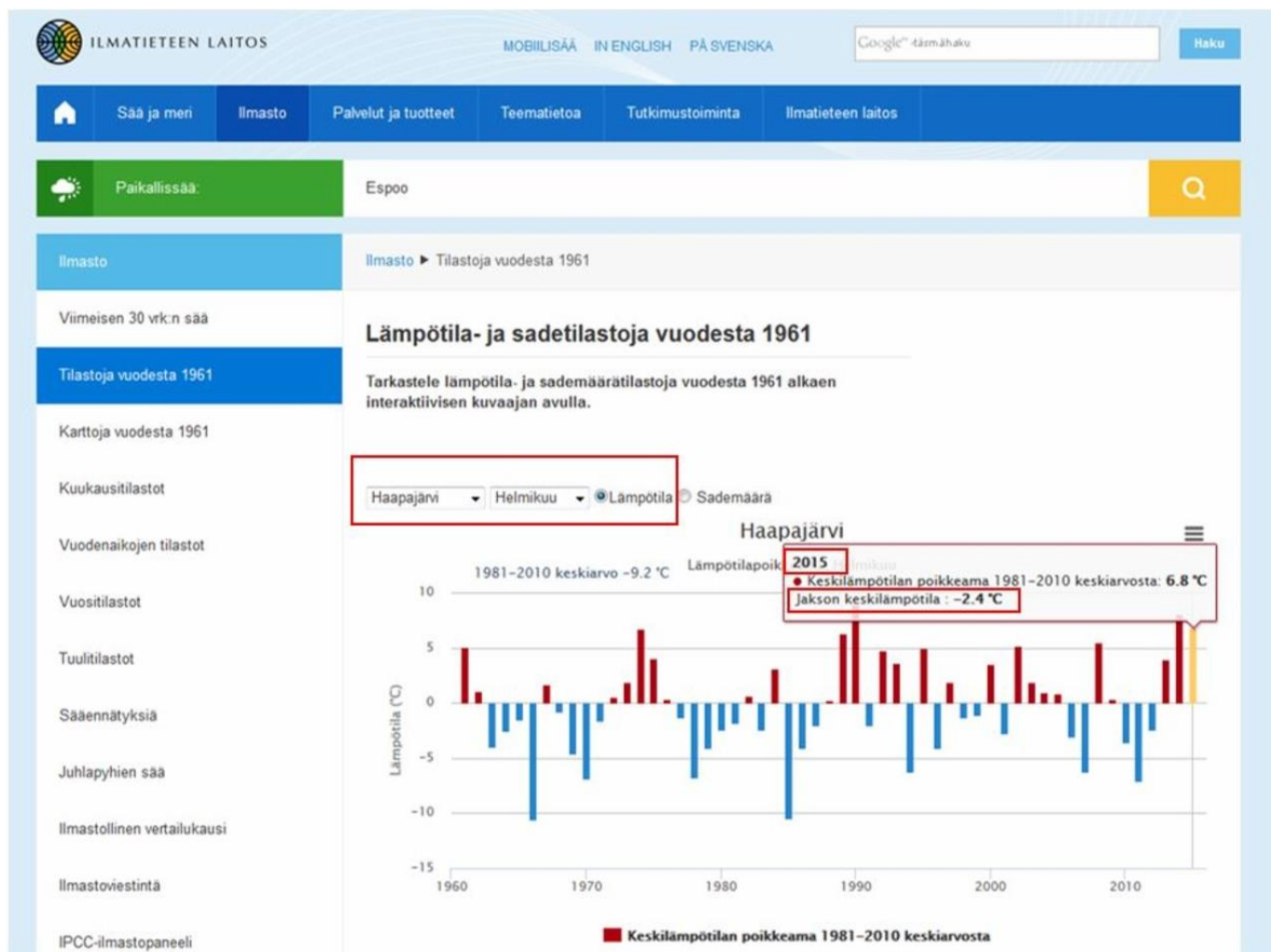
Näil löydät tarvittavat tiedot taulukoihin

Kulutustiedot löydät energiayhtiön seurantasivuilta tai laskuista. Eri kulutustiedot syötetään omille välilehdilleen. Ulkoilman kuukauden keskilämpötila, kävijämäärä ja sisäilman lämpötila syötetään kaukolämmön kulutuksen välilehdelle. Muista samalla ilmoittaa kulutustiedot myös jäähalliportaalin tietokantaan.



Kuukausittaiset kaukolämmön, sähkön ja veden kulutustiedot syötetään kukin omalle välilehdelle

Kuukauden keskilämpötilat voit saada esimerkiksi omalta sääasemalta, mutta yleisin paikka niiden löytämiseksi on internetin tietokannat. Lämpötilakeskiarvon saa esimerkiksi ilmatieteen laitoksen sivuilta (<http://ilmatieteenlaitos.fi/tilastoja-vuodesta-1961>) valitsemalla omaa jäähallia lähinnä olevan paikkakunnan sekä kuukauden ja viemällä hiiren kuvaajan päälle, jolloin kuvaajaan ilmestyy lisäruutu, joka ilmoittaa kyseisen jakson (kuukauden) keskilämpötilan, esimerkkikuva alla. Toinen lähde säätiedoille on esimerkiksi weather underground (<http://www.wunderground.com/history/>) johon voidaan syöttää oma paikkakunta ja tämän jälkeen valitaan tarkasteltava vuosi ja kuukausi. Välilehdeltä "Monthly" luetaan kuukauden keskilämpötila kohdan "Mean temperature" sarakkeesta "Avg".



Kuva 7. Esimerkkikuva ilmatieteen laitoksen sivuista, josta löydät paikkakuntien kuukausien keskilämpötilat

Jäähallin kuukausittaisen kävijämäärien ei tarvitse olla tarkkoja, mikäli siihen ei ole edellytyksiä. Koska monissa halleissa kävijämääriä ei seurata tarkasti, voidaan kävijämäärät arvioida henkilökunnan toimesta. Lähtökohtaisesti pyritään kuitenkin käyttämään mahdollisimman tarkkoja arvoja. Jäähallin sisälämpötilan asetusarvona käytetään hallitilan sisälämpötilan keskiarvoa. Tämänkään arvon ei tarvitse olla tarkka, mikäli siihen ei ole edellytyksiä. Arvo voidaan asettaa hallihenkilökunnan arvion mukaisesti.

Kun kaikki tiedot on täytetty kulutustietojen taulukoihin niiden summat päivittyvät automaattisesti lomakkeelle. Kulutustiedoista piirretään myös kuvaajat suhteessa sisä- ja ulkoilman väliseen lämpötilaeroon ja kävijämääriin. Kuvaajat antavat hyödyllistä tietoa jäähallin toiminnasta. Ohjeet kuvaajien tulkintaan ja niistä saataviin tietoihin löydät seuraavasta kappaleesta.

Kulutustietojen lisäksi lomakkeelle täytetään myös kylmäkoneiden COP (kylmäkerroin), hallin ilmanpitoisuus sekä jään paksuus. COP arvoa tulee seurata aktiivisesti, eikä valmistajan ilmoittamiin arvoihin tule sokeasti luottaa. Oman hallin kylmäkoneiston COP arvon selvittämistä käsitellään tarkemmin tässä.

Jäähallin ilmanpitävyys on keskeistä hallin kosteustekniselle toiminnalle, jolloin sen arvo tulee tuntea hyvin. Arvo voidaan usein mitata hallin omalla ilmanvaihtokoneella. Ilmanpitävyyden mittaamista on käsitelty tarkemmin [tässä](#).

Jään paksuuden seuranta ehkäisee jään hallitsematonta paksuuntumista, joka nostaa kylmäkoneilta vaadittavaa tehoa. Mitä paksumpaa jää on, sitä kylmempi jäähdytyslaatan pitää olla, jotta jään pintalämpötila pysyy halutulla tasolla. Tehokas tapa jään paksuuden seurannalle on liimata esim. teipin pala kaukalon alalaitaan ennen uuden jään tekoa, josta voidaan seurata helposti jään paksuutta. Merkitse lomakkeelle jään keskimääräinen paksuus vuoden aikana ja jos mahdollista, myös paksuuden vaihteluväli.

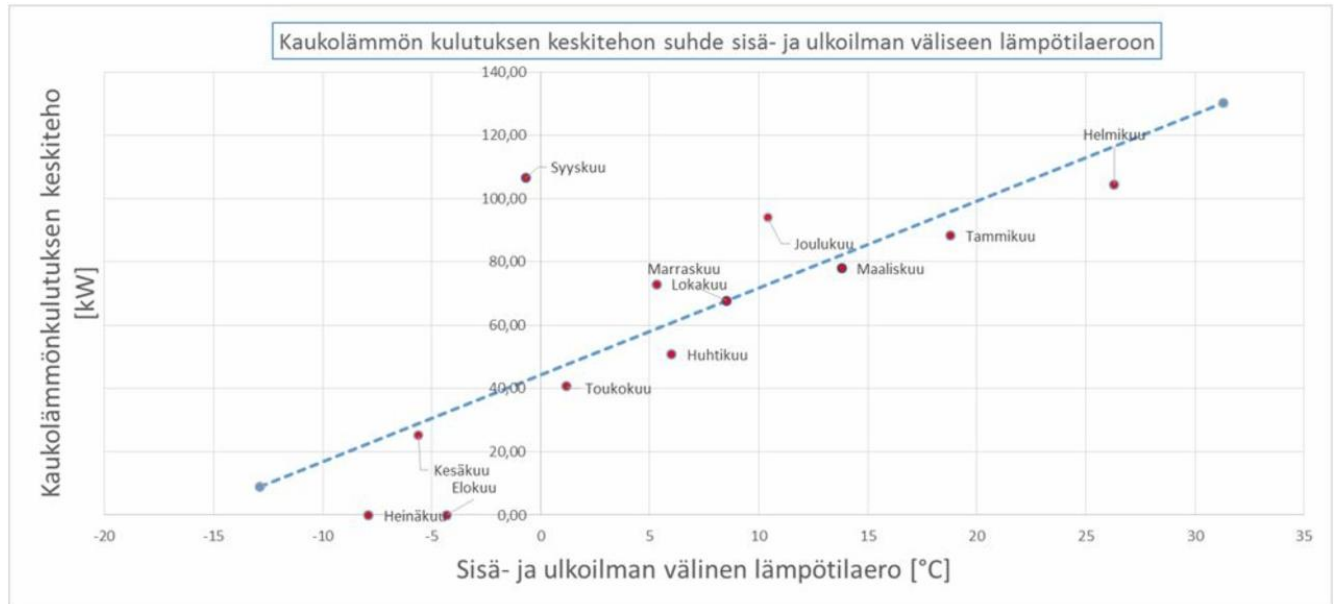
Edellisten lisäksi lomakkeella on kolme avointa kysymystä, jotka liittyvät vahvasti jäähallin energia- ja kosteustekniseen toimintaan. Vastaa kysymyksiin parhaasi mukaan ja mahdollisimman tarkasti. Henkilökunnan tietämys omasta hallista on tärkein osa hallin hyvää ja tarkoituksenmukaista toimintaa. Loppuun asti täytetty lomake voidaan tulostaa arkistointia varten ja/tai se voidaan tallentaa tietokoneelle. Jokaiselle vuodelle täytetään oma tiedosto/lomake.

KULUTUSTIETOJEN KUVAAJIEN TULOKSET JA TULKINTA

Kun täytät hallisi kulutustiedot lomakkeen välilehdille, muodostuvat automaattisesti kaksi kuvaajaa taulukon alapuolelle. Nämä kaksi kuvaajaa osoittavat kulutuksen suhteen sisä- ja ulkoilman väliseen lämpötilaeroon sekä kävijämääriin. Käytännössä kuvaajat vastaavat siihen, miten riippuvainen kulutus on ulkolämpötilasta ja kävijämääristä. Kaikista kulutuksista piirretään samat kuvaajat ja niiden tulkinta on samanlaista. Erityishuomiota kannattaa kuitenkin kiinnittää lämpöenergian kulutuksen suhteeseen sisä- ja ulkoilman väliseen lämpötilaeroon sekä veden kulutuksen suhteeseen kävijämääriin.

Kuvaajat kertovat usein enemmän kuin tuhat sanaa. Tässä osiossa käsitellään joitakin tärkeimpiä asioita, joita kuvaajien perusteella voidaan päätellä. Kuvaajat ovat hyvä työkalu jäähallin toiminnan ja energiankulutuksen vertailuun, sillä niitä voidaan verrata eri vuosilta ja jossakin määrin myös eri jäähallien välillä. Hallissa toteutettujen toimenpiteiden pitäisi myöskin näkyä suoraan kuvaajissa. Kuvaajat ovat tärkeä tiedonlähde myös suunnittelijoille.

Kuvaajissa energian kulutustiedot on esitetty kulutuksen keskitehona, jonka yksikkö on kilowatti (kW). Tämä ottaa huomioon kuukauden päivien määrän vaihtelun automaattisesti ja tarkentaa täten tarkastelua. Veden kulutustietojen kohdalla käytetään kuukausittaisia toteutuneita kulutustietoja ilman muunnoksia. Kaukolämmön kulutuksen suhde sisä- ja ulkoilman väliseen lämpötilaeroon osoittaa kuvaajan avulla, miten hyvin kulutus seuraa lämpötilaeron vaihtelua (esimerkkikuva 8 alla). Käytännössä suurin osa käytetystä lämpöenergiasta kulutetaan tilojen lämmitykseen, jonka tarve riippuu ulkoilman lämpötilasta. Täten kulutetun lämpöenergian tulisi olla erittäin vahvasti riippuvainen lämpötilaerosta. Lämpöenergian kulutuksen hallittavuutta ja suhdetta lämpötilaeroon voidaan arvioida kuvaajaan piirtyvän keskiarvosuoran avulla (alla olevan kuvan vino katkoviivasuora). Suora piirtyy kuvaan automaattisesti.

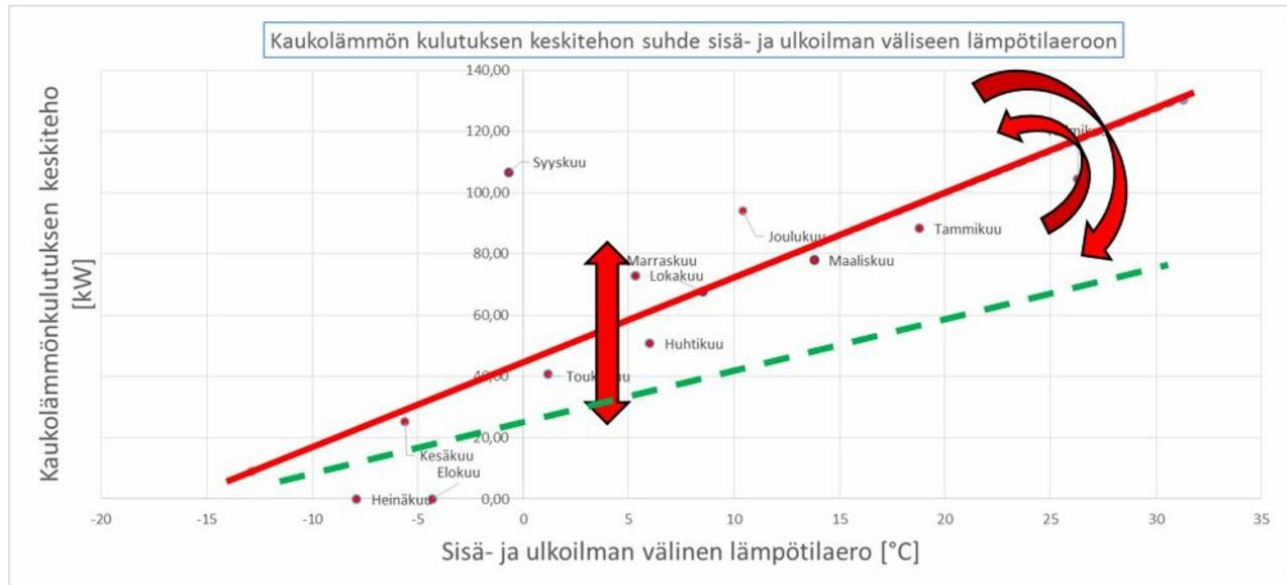


Kuva 8. Kuvaaja kaukolämmön kulutuksen suhteesta lämpötiloihin.

Mitä lähempänä kuvaajan pisteet (kuukausien kulutukset) ovat keskiarvosuoraa, sitä parempi on kulutuksen hallittavuus. Kulutuksen hallittavuus kuvaa sitä, onko kulutuksen suhde sisä- ja ulkoilman väliseen lämpötilaeroon järkevä ja looginen. Kun pisteet asettuvat lähelle keskiarvosuoraa, kulutus kasvaa ja pienenee suhteessa ulkoilman lämpötilan muutoksiin ja energian kulutus on hallittu sekä looginen. Jos pisteet taas asettuvat sekavasti ympäri kuvaajaa, on se osoitus siitä, että joissakin tilanteissa energiaa kulutetaan liikaa ja hallitsemattomasti.

Esimerkkikuvassa melkein kaikki pisteet asettuvat kohtalaisen lähelle keskiarvosuoraa. Poikkeuksena on syyskuun kulutus, joka on hyvin kaukana suorasta. Tämä osoittaa, että syyskuussa lämpöenergiaa on kulutettu poikkeuksellisen paljon. Poikkeavalle kulutukselle kannattaa aina etsiä syitä. Esimerkkitapauksessa syy voi olla uuden jään valmistuksen aiheuttama suuri jäädytysveden lämmityksen tarve. Toisena esimerkkitapauksen tarkasteluna voisi olla joului- ja helmikuun kulutusten tasot, sillä ne ovat melkein yhtä suuria, vaikka helmikuussa lämpötilaero on merkittävästi suurempi kuin joulukuussa.

Piirrettävän kuvaajan keskiarvosuora kertoo hyvin paljon hallin yleisestä toiminnasta. Suoran "asento" voi vaihdella niin sen "korkeusaseman" kuin suoran kulman suhteen, joka on esitetty alla olevan kuvan punaisilla nuolilla. Alla olevan kuvan lähtötilanteen keskiarvosuora on korostettu punaisella viivalla ja potentiaalinen uusi keskiarvosuora on esitetty vihreällä katkoviivalla. Parannetun suoran kohdalla on pystytty vaikuttamaan sekä kulutuksen perustasoon että suoran kulmakertoimeen.



Kuva 9. Sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero.

Piirityvän keskiarvosuoran kuvaamiseksi suoran muoto kuvataan numeroilla. Suoran yhtälö on muotoa $Y=kX+b$, jossa kerroin k kertoo suoran kulmakertoimen eli suoran jyrkkyyden ja arvo b kuvaa suoran arvoa kohdassa, jossa se leikkaa pystyakselin (y -akselin). Leikkauspiste on kohta, jossa sisä- ja ulkoilman lämpötilaero on nolla (ulko- ja sisälämpötila ovat samat). Tässä pisteessä voidaan olettaa, että tiloja ei tarvitse lämmittää (tai jäähdyttää) ollenkaan, jolloin kaikki käytettävä lämpöenergia kuluu muihin prosesseihin, kuten veden lämmitykseen. Kulutuksen arvo tässä pisteessä kuvaa hallin "peruskulutusta". Molemmat termit lasketaan taulukkolaskentapohjassa automaattisesti ja ne esitetään erillisissä laatikoissa, josta on esitetty esimerkkikuva alla. Alla olevassa esimerkikuvassa suoran yhtälö on $y=2,75X+44,29$ eli kerroin k on 2,75 ja "peruskulutuksen" arvo b on 44,29.

$Y=kX+b$	Lämpötilaeron ja kulutuksen välinen suhde
Laskentaparametrit kuvaajaan	
-12,9	8,83
31,3	130,32
Suoran yhtälön kertoimet	
k=	2,75
b=	44,29
Suoran yhtälö	
$Y=2,75X+44,29$	

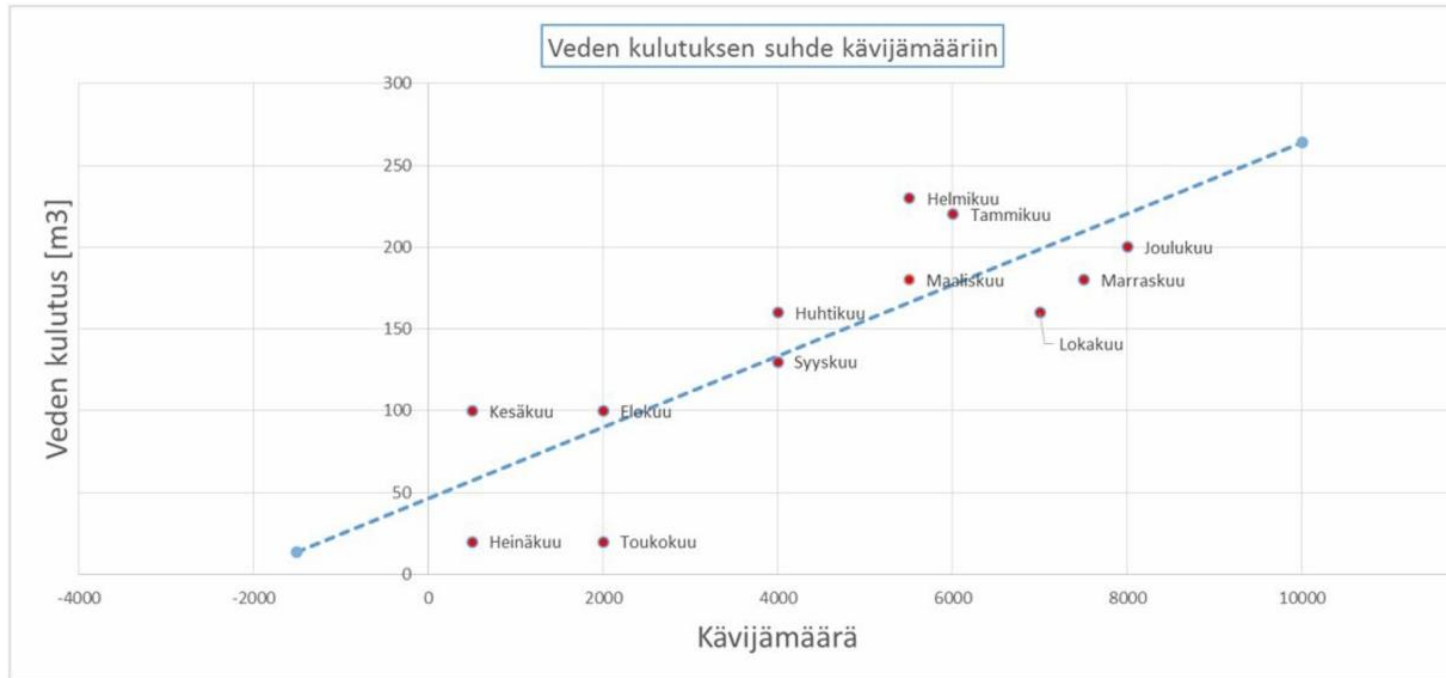
Kuva 10. Laskentaparametrit.

Suoran kulmakerroin k kuvaa sitä, miten voimakkaasti kulutus on riippuvainen ulkoilman lämpötilasta. Mitä jyrkempi suora on (suuri k :n arvo) sitä enemmän lämpöenergiaa kulutetaan, kun ulkoilma viilenee ja lämpötilaero kasvaa. Suoran kulmakertoimen tulisi olla maltillinen. Luonnollisesti kylminä kuukausina lämpöä kuluu enemmän, mutta arvon tulisi kuitenkin olla järkevä. Mikäli kulma on jyrkkä (iso k :n arvo), se on osoitus siitä, että lämpöä menetetään liikaa esim. ilmanvaihdon tai rakenteiden johtumishäviöiden kautta.

Keskiarvosuoran "korkeusasema" kuvaa sitä, miten korkealla hallin peruskulutus on. Esimerkiksi tehokkaissa halleissa suora on hyvin matalalla, jolloin myös suoran yhtälön jälkimmäinen luku (vakiokerroin b) on matala. Täten hallin peruskulutus on maltillinen ja lämpöä käytetään hallitusti silloin, kun tilassa ei ole lämmitystarvetta. Tehottomissa halleissa luku voi olla hyvinkin korkea, joka osoittaa sen, että lämpöä käytetään paljon myös silloin kun lämmitystarvetta ei ole. Tällaisen tilanteen saattaa muodostaa esimerkiksi tilanne, jossa ilmanvaihdon kuivatus on järjestetty käyttäen kondenssikuivainta, jonka kylmä tuotetaan kylmäkoneilla, mutta kylmäkoneiden lauhdelämpöä ei hyödynnetä tuloilman lämmityksessä.

Sähkön ja veden kulutuksen kohdalla riippuvuus sisä- ja ulkoilman välisestä lämpötilaerosta ei ole niin vahva, jolloin myös niiden kulutustietojen kuvaajat ovat sekavammat. Kuvaajat kuitenkin piirtyvät automaattisesti ja niitä voidaan tulkita samalla tavalla kuin kaukolämmön tapauksessa.

Toinen automaattisesti muodostuva kuvaaja piirtyy kulutuksen ja kävijämäärien suhteesta (esimerkkikuva alla). Tämän vertailun osalta keskeisimmässä asemassa on veden kulutuksen suhde kävijämääriin. Kuvaajan tulkinta on täysin samanlainen kuin edellä esitetyn sisä- ja ulkoilman välisen lämpötilaeron suhteen.



Kuva 11. Veden kulutus suhteessa kävijämääriin.

KYLMÄKERTOIMEN OMATOIMINEN MÄÄRITYS

Jäähallin kylmäkoneita voidaan sanoa hallin sydämeksi. Kylmäkoneiden tehokas toiminta on myös hallin energiatehokkuuden keskeisimpiä tekijöitä. Sitä, kuinka tehokkaasti koneet muuttavat käyttämänsä sähkön kylmä- ja lauhde-energiaksi, kuvataan koneiden kylmäkertoimilla (COP- coefficient of performance). Tässä kappaleessa esitellään yksinkertaistettu tapa kylmäkertoimen omatoimiselle selvittämiseksi.

Kylmäkerroin on jatkuvasti muuttuva arvo, jonka tarkka mittaaminen on hyvin haastavaa. Jotta kylmäkertoimen omatoiminen, helppo ja nopea määrittäminen olisi edes mahdollista, on tarkastelussa tehtävä joitakin yksinkertaistuksia. Tästä syystä tämän kappaleen ohjeiden mukaisesti määriteltäviä kylmäkertoimia tulee käyttää vain ohjeellisina arvoina.

Oman jäähallin kylmäkoneiden kylmäkerroin selvitetään ladattavan laskentapohjan avulla, jonka löydät [tästä](#). Laskentapohjan periaate on, että kylmäkertoimen suuruutta arvioidaan kahden osittain erilaisen päivän sähkönkulutuksien erojen pohjalta. **Tavoite on se, että päivät ovat muilta osin täysin samanlaiset, mutta jäänajokertojen määrä on toisena päivänä merkittävästi suurempi kuin toisena.** Etenkin sisäilman ja jään lämpötilojen sekä valaistuksen käytön tulisi olla molempina päivinä mahdollisimman samanlaisia. Tällaisessa tilanteessa kylmäkoneiden toimintaan ja sähkönkulutukseen vaikuttaa vain jäähoidossa käytetyn veden määrä. Tarkastelun edellytys on, että koko kiinteistön (tai ainakin kylmäkoneiden) sähkönkulutusta pystytään seuraamaan päivän tarkkuudella. Sähkönkulutustiedot ovat yleensä saatavissa energiayhtiöiltä.

ILMANPITÄVYYDEN MÄÄRITTÄMINEN

Ilmanpitävyyden rooli jäähallin kosteusteknisessä toiminnassa ja sisäilman olosuhteiden hallinnassa on keskeinen. Ilmanpitävyys kuvaa sitä, kuinka tiivis rakennuksen vaippa on, eli kuinka paljon tai vähän tapahtuu hallitsemattomia ilmavirtoja rakenteiden läpi sisä- ja ulkoilman välillä. Ilmanpitävyyttä kuvataan ilmanvuotoluvulla q_{50} .

Suomen rakentamismääräyskokoelman virallinen määritelmä: ilmanvuotoluvulla q_{50} ($\text{m}^3/(\text{h m}^2)$) tarkoitetaan rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pa paine-erolla kokonaissisämittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden. Rakennusvaipan pinta-alaan lasketaan ulkoseinät aukotuksineen sekä ylä- ja alapohja.

Aikaisemmin ilmanpitävyyttä on kuvattu ilmanvuotoluvulla n_{50} [$1/\text{h}$], joka kuvaa sitä, kuinka monta kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa, kun paine-ero on 50 Pa. Erona edelliseen on se, että ilmavuoto suhteutetaan rakennuksen tilavuuteen, eikä rakennusvaipan alaan.

Ilmanpitävyyden tulisi olla esitetty hallin suunnitteluasiakirjoissa. Lisäksi on yleensä aiheellista mitata hallin todellinen ilmanpitävyys rakennuksen valmistuessa. Ilmanvuotoluku rakennuksen valmistuessa muodostaa lähtöpisteen, johon myöhempiä arvoja voidaan verrata.

Ilmanvuotoluku tulisi väliajoin tarkistaa mittaamalla. Tätä palvelua tarjoavat useat yritykset. Arvo tulisi tarkistaa ainakin silloin, kun esiintyy joitakin ongelmia hallin kosteusteknisessä toiminnassa ja/tai ilmanvaihdoissa.

Tässä ohjeessa esitetyn lomakkeen täyttämiseksi hallista tulisi selvittää mahdollisimman hyvin hallin nykytilaa kuvaava ilmanvuotoluku. Jos mittauksia ei ole hallin valmistumisen jälkeen tehty, käytetään suunnittelu- vastaanottoasiakirjoissa esitettyä arvoa. Jos arvoa ei löydy tai sen mittauksesta on kulunut 5 vuotta, suositellaan mittausten tilaamista todellisen ilmanvuotoluvun määrittämiseksi.

JÄÄHALLIEN KOSTEUDENHALLINTA



Kuva 12. Jäähallien kosteudenhallinnan kulmakivet.

Jäähalli on kosteusteknisesti haastava rakennus. Onnistunut ja energiatehokas kosteudenhallinta vaatii kokonaiskuvan hallintaa ja riskien huomiointia niin suunnittelussa kuin hallin käyttövaiheessa. Tästä syystä tässä kappaleessa käsitellään jäähallien keskeisimpiä kosteusteknisiä haasteita ja niihin liittyviä ratkaisuja.

Todennäköisesti haastavin tekijä jäähallin kosteudenhallinnassa on ilman kuivatus. Koska jäähalli on puolilämmin rakennus, sen hallitilan sisäilman lämpötila on yleensä noin 5 - 10 °C. Yksi ilman ominaisuus on sen kyky sitoa itseensä kosteutta vesihöyrynä. Tämä kosteudensitomiskyky on riippuvainen ilman lämpötilasta. Mitä lämpimämpää ilma on, sitä enemmän se pystyy sitomaan itseensä vesihöyryä. Ilman suhteellinen kosteus (RH - relative humidity) kuvaa prosentteina sitä, kuinka suuri osa ilman kosteudensitomiskapasiteetista on käytetty. Kun suhteellinen kosteus on 100 %, ilma ei enää pysty sitomaan enempää kosteutta itseensä ja kosteus alkaa tiivistymään (kondensoitumaan) pinnoille.

Jäähallien ilmanvaihdossa ulkoilmaa joudutaan usein jäähdyttämään ja kuivattamaan. Ulkoilman mukana ilmassa on yleensä niin paljon kosteutta, että käsittelemättömänä se tiivistyisi jäähallissa rakenteiden pinnoille aiheuttaen kosteusvaurioita. Ilmiö on täysin sama, kuin kesähelteellä viileän juomatölkin (lämpötila +5 °C) pinnalle tiivistyvän veden tapauksessa (ulkoilman lämpötila +25 °C ja RH 60 %). Käytännössä hallin tuloilman pitää olla niin kuivaa, että hallissa ilman suhteellisen kosteuden arvo pysyy maltillisena eikä kosteuden tiivistymistä tapahdu.

Tuloilman kuivatus ja ilmanpitävyys

Hallin tuloilmaa voidaan kuivattaa käytännössä kahdenlaisilla laitteilla, kondenssi- tai sorptiokuivaimilla. Kondenssi-kuivaimen periaate on se, että ilma viilennetään niin kylmäksi, ettei se pysty "pitämään sisällään" sitomaansa kosteutta. Näin ilman vesihöyry tiivistyy (kondensoituu) hallitusti pois ilmasta. Kuivatuksen jälkeen ilma lämmitetään takaisin halutulle tasolle, joka voidaan tehdä suurelta osin lauhdelämmöllä. Sorptiokuivaimen toiminta perustuu ilmassa olevan kosteuden sitoutumiseen absorboivaan massaan. Kuivaimessa on pyörivä, kosteutta voimakkaasti sitova massa, jonka läpi tuloilmaa ajetaan. Massaan sitoutunut kosteus poistetaan massasta erittäin lämpimän ilmavirran avulla, jolloin massa on taas valmis sitomaan lisää kosteutta tuloilmasta. Sorptiokuivain kasvattaa kuitenkin jäähallin sähkönkulutusta huomattavasti.

Oikean kuivatustavan valinta on jäähallin kosteusteknisen (sekä energiateknisen) toiminnan kannalta yksi keskeisimmistä valinnoista. Kondenssikuivaimen etuna on se, että ilmaa voidaan jäähdyttää samalla kylmäenergialla kuin jäätä, jolloin erillisiä laitteita ei välttämättä tarvita. Kondenssikuivaimen kuivatusteho kuitenkin heikkenee voimakkaasti matalissa lämpötiloissa, joka tulee ottaa huomioon suunnittelussa. Sorptiokuivainta voidaan käyttää tehokkaasti myös matalissa lämpötiloissa, mutta tämän kuivatustavan energiankulutus on korkeammissa lämpötiloissa korkeampi kuin kondenssikuivaimella.

Ilmanvaihdon ja siihen liittyvän ilman kuivatuksen tulee toimia kaikissa tilanteissa moitteettomasti. Tästä syystä suunnittelun on pohjauduttava hallin käyttökauden pituuteen sekä kävijämääriin. **Ilman kuivatuksen kannalta kriittisin tilanne on yleensä kesäkuukausien aikainen ulkoilman kuivatustarve.** Ilman kuivatus tulee toteuttaa siten, että riittävä raitisilmamäärä pystytään tuomaan tilaan myös kriittisimpinä aikoina. Ilman tehokkaan kuivatuksen edellytys on se, että tilassa ilma vaihtuu hallitusti. Tämä asettaa vaatimukset jäähallin ilmanpitävyydelle. Hallitsemattomat ilmapuodot tuovat tilaan ilman mukana kosteutta, joka kuormittaa kuivatuslaitteistoa ja joka voi aiheuttaa kosteus- ja homeongelmia. Tästä syystä **jäähallin ilmanpitävyyden tulee olla hyvä ja sitä tulee seurata säännöllisesti mittaamalla.**

Jään vaikutus ja oikeaoppinen ilmanjako

Toinen jäähallien **kosteustekniseen toimintaan erittäin vahvasti liittyvä tekijä on jään vaikutus rakenteiden lämpötiloihin** ja tätä kautta kosteustekniseen toimintaan. Vaikka hallitilan ilman lämpötila on yleensä noin 5 - 10 °C voivan rakenteiden pintalämpötilat olla huomattavasti tätä alhaisempia. Jos rakenteiden pintalämpötilat laskevat jossakin kohdassa tarpeeksi alas, tapahtuu pinnoilla haitallista veden tiivistymistä. Kosteuden tiivistymiselle on yleensä syynä yksi seuraavista; jään ja pinnan välinen säteily tai ilmalämmityksen katvealue.

Jäähallien jään lämpötila on yleensä noin -5 °C. Tämä johtaa siihen, että jää viilentää jatkuvasti pintoja ja rakenteita säteilyn kautta. Kriittisin kohta jään aiheuttamalle rakenteiden viilenemiselle on jääradan keskikohdan yllä. Jään viilentävä vaikutus voi olla niin suuri, että rakenteiden pintalämpötilat laskevat useita asteita sisäilman lämpötilaa alemmaksi. Tällöin saattaa esiintyä tilanteita, joissa sisäilman kosteus alkaa **tiivistymään rakenteiden pinnoille**. Tiivistyvä kosteus aiheuttaa kosteus- ja homeongelmia etenkin puurakenteissa, sekä jälle muodostuvia epätasaisuuksia (valuvasta ja tippuvasta kondenssivedestä), jotka lisäävät jäänhoidon tarvetta. **Rakenteiden pintalämpötilat tulee huomioida hallin suunnittelussa ja rakenteissa voidaan käyttää matalaemissiivipinnoitteita ongelmien ehkäisemiseksi .** Kosteuden tiivistymisen riskiä lisäävät myös **ilmanvaihdon katvealueet**. Usein jäähallit ovat ilmalämmitteisiä, jolloin **lämmityksen toimivuus perustuu toimivaan ilmanjakoon** . Ilmanvaihdon/-jaon katvealueilla lämmitys on vähäisempää ja rakenteiden pintalämpötilat laskevat muita alueita alhaisemmalle tasolle. Tämä saattaa johtaa sisäilman kosteuden tiivistymiseen rakenteiden pinnoille. Veden tiivistyminen aiheuttaa puolestaan kosteus- ja homeongelmia. Ongelma voidaan ehkäistä suunnittelemalla hallin ilmanvaihto siten, että **ilmaa tuodaan tilaan rakenteiden pintojen ja haasteellisimpien alueiden kautta** , joka pienentää myös jäähän kohdistuvaa lämpökuormaa. Toinen vaihtoehto on käyttää hallitilan lämmityksen osana lattialämmitystä, joka sijoitetaan kaukalon ympärille. Lattialämmityksen lämmönlähteenä voidaan käyttää lauhdelämpöä.

Ilmanvaihdon suunnittelu

Tavanomaisen rakennuksen ilmanvaihdon suunnittelun nyrkkisääntönä on, että rakennus pyritään pitämään jatkuvasti lievästi alipaineisena ulkoilmaan nähden . Tavoiteltava alipaineen taso on noin 5 Pa. Myös tässä on kyse siitä, että haitallinen kosteuden tiivistyminen pyritään estämään. Alipaineen ajatus on se, että sisäilmaa kuivempaa ulkoilmaa vuotaa jatkuvasti (maltillisesti) rakenteiden läpi ulkoa sisälle. Tämä ei aiheuta vaaraa, sillä ilma kulkee ns. kuivemmasta tilasta kohti kosteampaa ja yleensä lämpimämpää tilaa. **Jäähallissa tämä periaate ei sellaisenaan toimi!**

Jäähallin sisäilma on vain osan aikaa vuodesta lämpimämpää ja kosteampaa kuin ulkoilma. Suuren osan vuodesta jäähallin ilma on taas kuivempaa ja kylmempää kuin ulkoilma. Tällöin yllä esitetty periaate pitäisi olla sellainen, että kylminä vuodenaikoina hallitila on alipaineinen, mutta lämpiminä vuodenaikoina se olisikin ylipaineinen. Tämä vaikuttaa merkittävästi jäähallin ilmanvaihdon suunnitteluun.

Eräs huomion arvoinen asia jäähallien kosteustekniikassa on myös se, että ilmassa olevaa kosteutta kondensoituu ja jäätyy jatkuvasti jään pinnalle. Ilmiö ei kuitenkaan aiheuta samanlaista riskiä kuin kosteuden tiivistyminen rakenteiden pinnoille, joten se ei vaadi toimenpiteitä.

JÄÄHALLIEN YLEISIÄ ONGELMIA

Lauhdelämmön käyttämättömyys

Jäähalleissa esiintyy valitettavan usein tilanteita, joissa kylmäkoneiden tuottamaa lauhdelämpöä ei käytetä tehokkaasti hyväksi. Usein lauhdetta käytetään joihinkin marginaalisiin prosesseihin, mutta suurin osa lauhteesta jää kuitenkin käyttämättä.

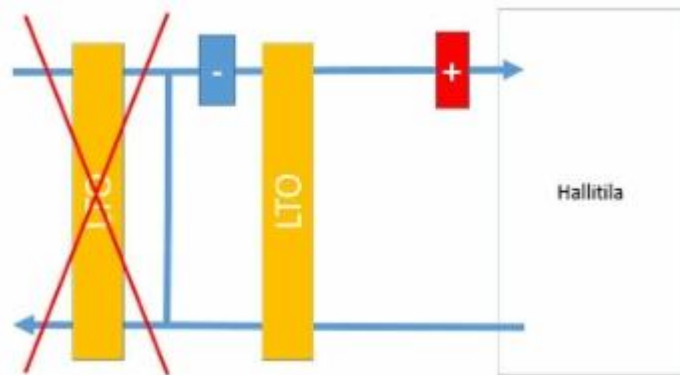
Lauhteen käyttämättä jättäminen aiheuttaa kolminkertaisen energian hukan. Jos lauhdelämpö itsessään hukataan, johtaa se myös muun energiankulutuksen kasvuun. Lauhdelämmön poistamiseksi järjestelmästä se puhalletaan yleensä suurten kattopuhaltimien kautta ulkoilmaan (kuva alla). Puhaltimien käyttö vaatii luonnollisesti sähköenergian kulutusta. Kun lauhdelämpöä ei hyödynnetä, tarvittava lämpöenergia tulee hankkia muualta esim. kaukolämmön muodossa. Lauhteen hyödyntämisen käyttökohteita on jäähallissa monia, eikä lauhdetta tulisi koskaan nähdä ongelmana vaan mahdollisuutena.



Lämmön talteenoton tehon käyttö

Jäähallien toiminta on jatkuvaa tasitelua ulkoilman olosuhteita vastaan. Ilmanvaihdon keskeisin tehtävä on varmistaa hallitilan hyvä sisäilman laatu, mutta samalla se on tehtävä energiatehokkaasti. Tähän liittyy myös vahvasti se, että hallitilan ilmanvaihdossa käytetään valtaosin kiertoilmaa ja ulkoilmaa ohjataan tilaan vain tarpeen mukaan. Lämmön talteenoton (LTO) toiminta hallitilan ilmanvaihdossa on keskeinen. LTO:n tehokkuuttakin tärkeämpi tekijä on sen oikea sijoittuminen ilmanvaihtokoneessa. Kondenssikuivainta käyttävässä ilmanvaihdossa LTO tulee sijoittaa koneeseen siten, että sillä pystytään esiviilentämään kiertoilma ennen ilman kuivausta. Tämä pienentää kondenssikuivaimen jäähdytystehon tarvetta merkittävästi.

Kuivatuksen jälkeen LTO palauttaa varastoimansa lämmön takaisin tuloilmaan. Nykyisin valitettavan usein LTO on sijoitettu ilmanvaihtokoneessa väärään paikkaan, jolloin sitä ei pystytä hyödyntämään tehokkaasti.



Kuva 13. Lämmöntalteenoton sijoittaminen.

Ilmanjako

Jäähallien ilmanvaihdon ilmanjako hallitilassa on usein puutteellinen. Todennäköisesti kiireen ja kustannusten takia ilmanjakoa ei ole suunniteltu ottaen huomioon hallitilan erityisvaatimuksia. Ilmanjaon tulisi jäähalleissa olla sellainen, että ilma tuodaan tilaan katvealueiden ja rakenteiden pintojen kautta, jolloin ehkäistään kosteus- ja homeongelmia. Onnistunut ilmanjako pienentää myös jäähän kohdistuvaa lämpökuormaa. Ilmanjaon kosteusteknisiä vaikutuksia on käsitelty tarkemmin kosteudenhallinnan kappaleessa. Erään jäähallin ilmajaon nykytila ja siihen ehdotettu yksinkertainen, mutta erittäin merkittävä muutos on esitetty alla olevassa kuvassa.



Kuva 14. Korjausehdotus jäähallin ilmanjakoon, Urpo Koivula, AX-suunnittelu

Kosteuden kondensoituminen rakenteiden pinnoille

Kosteuden kondensoituminen rakenteiden pinnoille tarkoittaa epäonnistunutta kosteudenhallintaa jäähallissa. Kosteuden kondensoitumisen ongelmat ovat jäähalleissa kuitenkin valitettavan yleisiä ja niiden pääasialliset aiheuttajat ovat sisäilman korkea kosteuspitoisuus johtuen ilman kuivatuksen epäonnistumisesta tai jään voimakas viilentävä vaikutus rakenteiden pintalämpötiloissa. Kosteudenhallinnan pääkohtia ja periaatteita käsitellään kohdassa "jäähallien kosteudenhallinta". Esimerkki kosteuden kondensoitumisesta puisen kattopalkin alapinnalle on esitetty alla olevassa kuvassa.



Kuva 15. Kosteus tiivistyy kattopalkin alapinnoille.

Riittämätön kuivatusteho

Jäähallin ilmanvaihdon riittävä kuivatusteho on edellytys tehokkaalle ja terveelliselle hallille. Kuivatuksen tehon määrää yleensä hallin käyttökauden pituus, sillä jos hallia käytetään myös kesällä, on tarvittava kuivatusteho suurempi. Ilmanvaihdon kuivatuksen tulee olla niin tehokas, että hallin sisäilman kosteuspitoisuus ei nouse haitallisen korkealle. Lähtökohtaisesti hallin sisäilman suhteellisen kosteuden maksimiarvona voidaan pitää 70 %:a. Riittämätön kuivatusteho aiheuttaa tilaan kosteus- ja homeongelmia, kun kosteus alkaa tiivistymään rakenteiden pinnoille. Kuivatustehon riittämättömyyttä on vaikea korjata jälkikäteen, jolloin sen rooli korostuu suunnittelussa.

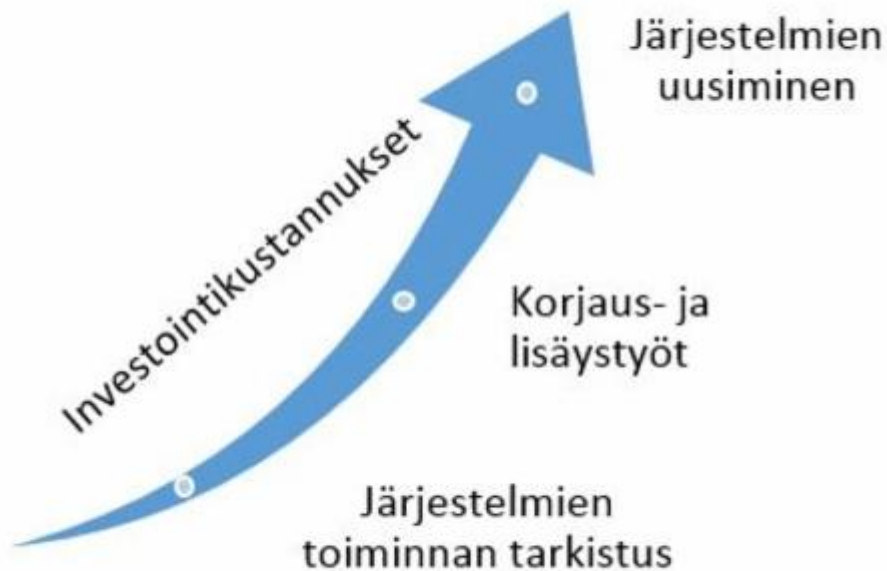
Valitettavan yleinen toimenpide kosteuden hallitsemiseksi on rajoittaa ulkoilmavirtaa tilaan, jolloin kuivatettavan kosteuden määrä pienenee. Ulkoilmavirran rajoittaminen kuitenkin johtaa tilanteeseen, jossa sisäilman laatu kärsii ja esimerkiksi tilan CO₂ pitoisuus nousee. Lisäksi ilmanvaihdon tehtävä on poistaa tilasta myös muut epäpuhtaudet, jotka ovat peräisin esim. jäähoidokoneesta. Tämä estyy, jos raitisilmaa ei tuoda tilaan tarpeeksi. Jäähallin kosteudenhallinta ja ilman kuivatus eivät voi perustua siihen, että raitisilmapeltejä pidetään jatkuvasti kiinni.

TEHOSTAMISKONSEPTIT

Tässä osiossa esitellään ja käsitellään yleisesti toimiviksi todettuja toimenpiteitä, joilla jäähallien energia- ja kosteusteknistä toimintaa voidaan parantaa. Tehostustoimenpiteet esitetään periaatetasolla siten, että niitä voidaan soveltaa kaikissa jäähalleissa. Täten puhumme tehostamiskonsepteista.

Konseptit voivat olla hyvin erilaisia ja niillä tavoiteltava hallin toiminnan sekä kulutuksen muutos hyvin vaihtelevaa. Muutokset voivat koskea vain toiminnan ohjauksen päivitystä ja tarkistusta tai ne voivat tähdätä kokonaisten järjestelmien uusimiseen. Konsepteilla tavoiteltavien muutosten suuruus vaikuttaa luonnollisesti

myös investointikustannuksiin. Energiatehokkuutta ja kosteusteknistä toimintaa voidaan kuitenkin paikoin parantaa merkittävästi pienilläkin investoinneilla.



Kuva 16. Havainnekuva.

Jäänhoidon tehostus

Yksi energiankulutuksen keskeisistä tekijöistä, joihin jokaisessa jäähallissa voidaan helposti vaikuttaa, on jäänhoito. Jäänhoitoon liittyy aina suuri lämpimän veden määrä, joka levitetään jäälle. Tämä prosessi vaatii kuitenkin varsin paljon energiaa ja jäänhoidon tehostuksella voidaan saavuttaa merkittäviäkin säästöjä hallin energiankulutuksessa.

Käytännössä jäänhoidon tehostamisessa on kyse siitä, kuinka jäänhoitoveden määrää ja lämpötilaa voidaan pienentää siten, ettei lopputulos, eli jään laatu kärsi. Jäänhoitoa tehdään hallissa joka päivä useita, ellei kymmeniä kertoja, jolloin sen vaikutus hallin energiankulutukseen korostuu.

Paras keino jäänhoidon energiankulutuksen vähentämiseksi on vähentää käytettävän veden määrää. Pienempi määrä jäänhoitovettä vaatii vähemmän jäähdytystehoa kylmäkoneistolta ja täten vähemmän sähköenergiaa. Jäänhoitoveden määrää voidaan lähteä pienentämään aktiivisesti omalla seurannalla ja/tai etsimällä muista samaa jäänhoitokonetta käyttävistä kohteista tietoa käytettävän veden määrästä. Käytännössä vettä voidaan lähteä vähentämään pikkuhiljaa, jolloin pystytään seuraamaan jään kuntoa ja löytämään optimaalinen tilanne. Tarvittavaan jäänhoitoveden määrään vaikuttaa suoraan koneen kunto ja huolto; hyvin toimivalla koneella saadaan hyvä jää pienemmällä vesimäärällä.

Toinen jäähoidon energiankulutukseen vaikuttava tekijä on jäähoidoveden lämpötila. Veden lähtölämpötila vaikuttaa luonnollisesti uuden jään laatuun, mutta se kuluttaa omalta osaltaan energiaa ensin veden lämmityksen ja sitten jäädytyksen kautta. Myös veden lämpötilaa tulisi seurata aktiivisesti, jotta sen vaikutuksia jään laatuun voidaan valvoa. Tavoitteena on löytää mahdollisimman alhainen jäähoidoveden lämpötila jään laadun kärsimättä.

Automaation ja ilmanvaihdon toiminnan tarkistus

Jäähallien toiminta vaatii useiden erilaisten laitteiden käyttöä. Usein puhutaankin lukuisten laitteiden muodostamista järjestelmistä ja niiden kokonaisuuksista. Kaikkien jäähallien laitteiden toiminnalla on osaltaan vaikutus hallin olosuhteisiin, energiankulutukseen ja täten käyttökustannuksiin. Optimaalisessa tilanteessa kaikki hallin laitteet toimivat tarkoituksenmukaisesti, eikä viallisia laitteita ole. Todellisuudessa järjestelmien toiminta erilaisissa tilanteissa ei välttämättä ole optimaalista ja viallisia laitteita esiintyy ajoittain.

Usein erilaisten puhaltimien ja pumppujen käyntinopeutta säädetään automaatiolla perustuen mittaustuloksiin. Ongelma saattaa kuitenkin olla se, että kun mittariin tulee vika, eikä se enää kuvaa todellista tilannetta, jää asia huomaamatta. Esimerkiksi hallin suhteellisen kosteuden mittarin tarkistus ei välttämättä kuulu ollenkaan huolto- ja ylläpitotoimenpiteisiin, vaikka se vaikuttaa suoraan ilmanvaihdon määrään ja sisäilman laatuun. Järjestelmien toiminta perustuu yleensä yhden mittarin tuloksiin, eikä vikatilaja ole huomioitu.

Ensimmäinen askel energiatehokkuuden ja kosteusteknisen toiminnan parantamisessa tulisi aina olla se, että tarkistetaan, toimiiko nykyinen järjestelmä suunnitellulla tavalla. Tähän liittyy niin mittalaitteiden kuin pumppujen, puhaltimien, venttiilien jne. toiminnan tarkistus. Lisäksi tulee aina arvioida koko jäähallin toimintaa kokonaisuutena niin ilmanvaihdon kuin kylmäkoneiston osalta. Muutoksia järjestelmiin tulee tehdä vasta silloin, kun todetaan, ettei nykyinen järjestelmä pysty tekemään tehtäväänsä. Laitteiden toiminnan tarkistus ja mittareiden kalibrointi säännöllisin väliajoin tulisi olla osa jäähallin ylläpitoa.

Ilmanjaon parannus

Toimiva ilmanjako on edellytys jäähallin tehokkaalle toiminnalle niin energia- kuin kosteusteknisesti. Mikäli jäähallissa havaitaan ongelmia, tulisi aina tarkistaa ilmanjaon toimivuus hallitilassa. Ilmanjaon pääperiaate tulisi varsinkin ilmalämmitteisissä halleissa olla se, että ilmaa tuodaan tilaan ns. hankalien alueiden kautta. Tämä tarkoittaa sitä, että ilmanjaossa keskitytään ilman tuomiseen nurkkiin, riski-/katvealueille ja rakenteiden kylmille pinnoille. Myös kenttäalueen ilmatilaa tulee sekoittaa, mutta lämpimän ilman puhallusta suoraan jäähän tulee aina välttää. Kyse on aina tilakohtaisesta erikoissuunnittelusta ja kokonaisuuden hallinnasta.

Jäähallin ilmanvaihto on toimiva vain silloin, kun sekä ilmanvaihtokone että ilmanjako toimivat tarkoituksenmukaisesti. Vaikka ilmanvaihtokoneen toiminta olisi moitteetonta kaikissa tilanteissa, epäonnistunut ilmanjako voi aiheuttaa ongelmia tilassa. Täten ilmanjaon perusteellinen suunnittelu ja toteutus ovat yhtä lailla tärkeitä osia tehokkaan jäähallin toiminnassa.

Ilmanjaon tehostaminen ja/tai muuttaminen on usein myös huomattavasti edullisempi toimenpide kuin koko ilmanvaihtokoneen uusiminen. Ilmanvaihtokanavien lisääminen ja päätelaitteiden muuttaminen saattaa olla riittävä toimenpide hallin ilmanvaihdon parantamiseksi. Tilassa jo käytettävissä oleva ilmamäärä saattaa olla riittävä hyvällä ilmanjaolla.

Valaistuksen tehostaminen

Jäähallin valaistus muodostaa merkittävän osan hallin sähkönkulutuksesta. Erityishuomiota tulee kiinnittää hallitilan valaistukseen niin tehon kuin käyttöajan osalta. Valaistuksen tehontarpeen voimakas lasku LED-valaisimien yleistyessä on mahdollistanut valaistuksen tehon ja energiankulutuksen voimakkaan pienentämisen valaistustason pysyessä samana.

Valaistuksen sähkönkulutus muodostuu valaisimien tehosta ja niiden käyttöajasta. Valaistustehoa voidaan pienentää käyttämällä energiatehokkaita valaisimia (esim. LED), joiden teho voi olla moninkertaisesti pienempi verrattuna vanhoihin valaisimiin, vaikka tuotettavan valon määrä on sama. Toinen keskeinen tekijä on valaistuksen käyttöaika. On keskeistä, että hallitilan voimakasta valaistusta käytetään vain silloin, kun sille on tarvetta. Käyttöaikojen ulkopuolella hallissa tulisi käyttää vain minimivalaistusta.

Energiatehokkaaseen valaistukseen kuuluu myös mahdollisuus käyttää valaistusta osateholla. Esimerkiksi harjoitusvuorojen aikana valaistusta voidaan yleensä pitää merkittävästi matalammalla tasolla kuin pelien aikana, joka vaikuttaa suoraan sähkönkulutukseen. Tässäkin perusajatus on se, että valaistusta käytetään vain tarpeen mukaan.

Pienentämällä valaistuksen tehoa ja käyttämällä valaistusta vain tarpeen mukaan pienennetään myös jäähän kohdistuvaa lämpökuormaa. Tämä pienentää puolestaan jäähdytyskoneiden jäähdytystehon tarvetta ja säästää myös tätä kautta sähköenergiaa.

Kiertoilman käyttö

Mikäli sisäilman laatu ja tekniikka sen sallivat, voidaan jäähallien ilmanvaihdossa käyttää kiertoilmaa energiatehokkuuden parantamiseksi. Esimerkiksi yöllä tai käyttöajan ulkopuolella hallia voidaan lämmittää vain kiertoilmalla, joka pienentää ilman lämmitystarvetta merkittävästi verrattuna raitisilmaan.

Kiertoilman käyttö vaatii luonnollisesti kiertoilmapellin olemassaoloa ilmanvaihtokoneessa, mutta myös pellin sijainnilla on keskeinen rooli koneen toiminnassa. Kieroilmapellin sijainti tulee suunnitella siten, että se otetaan huomioon sekä energiateknisesti että ilman kuivatuksen toteutuksessa. Joissakin tilanteissa saattaa olla aiheellista sijoittaa useampia kiertopeltejä ilmanvaihtokoneeseen, joka lisää kiertoilman käyttömahdollisuuksia.

Jäähallin ilmanvaihdon ollessa haastava hallittava kokonaisuus, on usein aiheellista käyttää kiertoilmaa. Mikäli jäähallin ilmanvaihdossa ei ole kiertopeltejä, tulisi sellainen todennäköisesti asentaa. Tämä vaatii luonnollisesti myös ilmanvaihdon ohjauksen päivitystä. Kieroilmaa ei kuitenkaan saa käyttää liikaa ja tarvittavan raitisilmamäärän (ulkoilman) tuonti tilaan on taattava kaikissa tilanteissa.

Lattialämmityksen käyttö hallitilassa

Hallitilaa voidaan lämmittää myös (osittain) lattialämmityksellä. Lattialämmityksen etu ilmalämmitykseen verrattuna on lämmön helpompi kohdentaminen katvealueille. Käytännössä lattialämmitystä käytetään yleensä yhdessä ilmalämmityksen kanssa hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi.

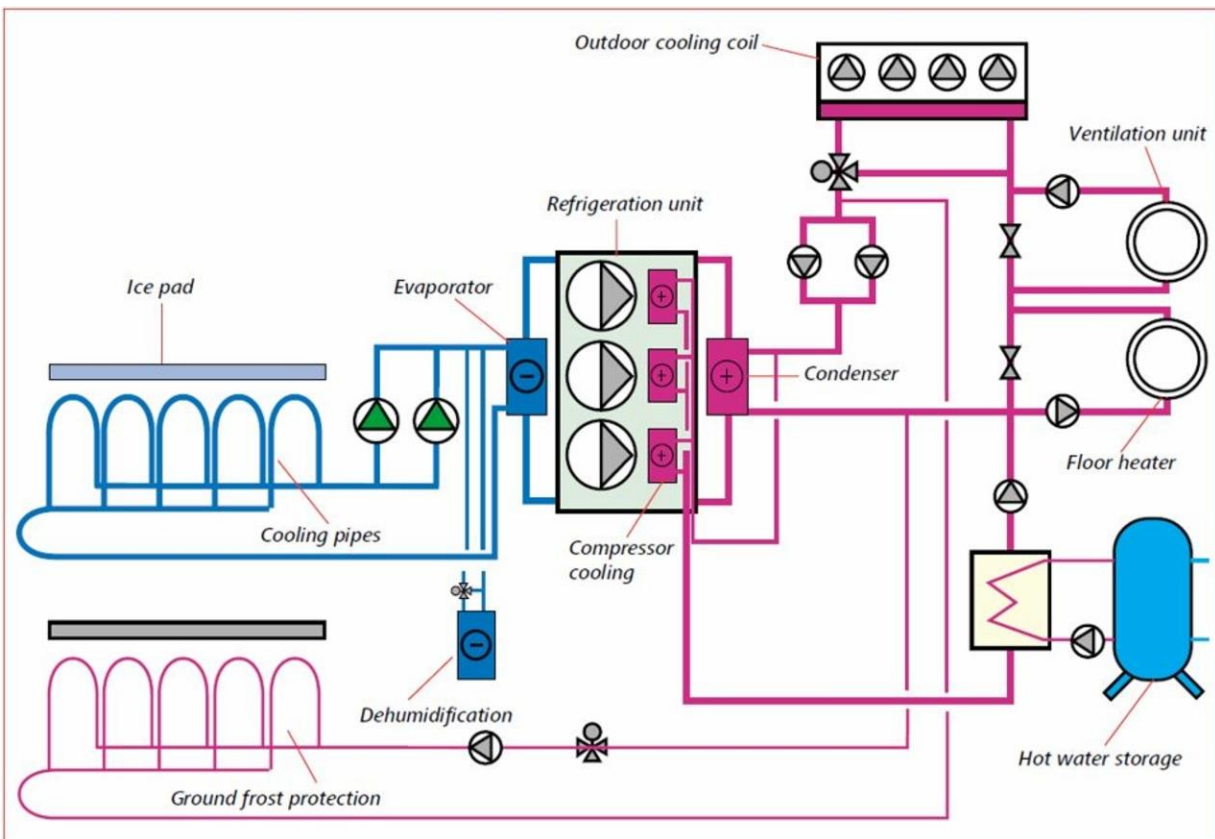
Lattialämmityksen asennus hallitilaan kaukalon ympärille mahdollistaa tehokkaan lämmönjaon kaukalon ja seinien väliin, joka vähentää myös jäähän kohdistuvaa lämpökuormaa. Lattialämmityksessä on luontevaa käyttää kylmäkoneiden lauhdelämpöä.

Ilmalämmitteisen hallin muuttaminen osittain lattialämmitteiseksi on kohtalaisen suuri investointi. Tästä syystä toimenpide tulee kyseeseen peruskorjausten ja uusien jäähallien kohdalla.

Lauhdelämmön käytön tehostaminen

Yksi suurimmista ongelmista jäähallien energiatehokkuudessa on lauhde-energian käyttämättömyys. Jään jatkuva jäädyttäminen kylmäkoneilla tuottaa jatkuvasti oheistuotteena ilmaista lauhdelämpöä, jota pidetään usein toissijaisena asiana. Tämän lauhteen hyötykäyttö on aivan keskeistä hyvän energiatehokkuuden saavuttamisessa.

Lauhteella voidaan lämmittää esim. hallin tuloilmaa, koko rakennuksen lattialämmityspiirejä ja routasulatusputkistoja. Lisäksi lauhdetta voidaan käyttää lämpimän käyttöveden ja jäähoidon veden lämmitykseen tulistuksella. Tehokas lauhteen käyttö vaatii myös energian varastointimahdollisuutta lämminvesivaraajilla. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että lauhdelämpöä pitäisi puhaltaa ulkoilmaan vain ja ainoastaan silloin, kun kaikki lämpöenergiaa vaativat prosessit lämmitetään lauhteella ja varastot ovat täynnä. (kuva alla).



Kuva 17. Lauhdelämmön hyödyntäminen.

http://www.iihf.com/fileadmin/user_upload/PDF/Sport/Chapter3.pdf (IIHF, 2010)

Lauhdelämmön käyttö on jokaisessa jäähallissa mahdollista, mutta yleensä sen käyttökohteet vaihtelevat. Mikäli jäähallin lähistöllä on joku muu lämpöenergiaa paljon käyttävä rakennus, esim. uimahalli, voidaan tutkia myös lauhteen käytön hyödyntämisen mahdollisuutta näissä rakennuksissa. Tämä vaatii jo laajempaa, lähiympäristöä tarkastelevaa kartoitusta. Pääasia on se, että lauhde menee hyötykäyttöön.

Kuivatuksen tehostus

Jäähallin sisäilmaston hallinta on haastava kokonaisuus, jonka keskeinen osa on tuloilman kuivatus. Hallin ilmanvaihdon kuivatustehon tulisi olla niin hyvä, että terveellisen sisäilman edellyttämä raitisilmamäärä (ulkoilmaa) pystytään tuomaan tilaan myös lämpiminä kuukausina. Jos rakenteiden sisäpinnat alkavat hallissa kastua kun ilmat lämpenevät, on se osoitus ilman kuivatuksen toimimattomuudesta. Kuivatuksen tehottomuutta ei saa "korjata" rajoittamalla raitisilman määrää.

Ilman kuivatuksen tehottomuus voi johtua joko itse kuivatuslaitteiston tehottomuudesta tai liiallisesta vuotoilmavirrasta. Jos ilmanvaihdon kuivatuslaitteisto ei yksinkertaisesti kykene poistamaan ilmasta riittävästi kosteutta, on kone uusittava. Tällöin vaadittava investointi on usein merkittävä, mutta se on edellytys terveelliselle ja energiatehokkaalle ilmanvaihdon.

Toinen mahdollinen syy kuivatuksen tehottomuuteen voi olla liian suuri vuotoilman määrä. Jos halliin vuotaa rakenteiden läpi kuivattamatonta, kosteaa ulkoilmaa liikaa, se aiheuttaa hallissa kosteusongelmia, vaikka teknisesti ilmanvaihdon kuivatus pystyisikin kuivattamaan ilman. Täten kosteusteknisen toiminnan tarkastelussa on aina keskeistä tietää, mikä on hallin ilmanvuotoluku q_{50} . Jos vuoto on liian iso, ilmaa ei tuoda tilaan hallitusti, jolloin sitä ei pystytä myöskään kuivattamaan tehokkaasti. Vuotoilmamäärää kuvaavaa ilmanvuotolukua ja sen mittaamista on käsitelty tarkemmin tässä ([linkki](#)).

Kylmäkoneiden toiminnan tehostaminen

Jäähallin tärkein tehtävä on luoda edellytykset jääurheilulle, eli luoda tilaan jääkenttä. Kentän ylläpito vaatii jatkuvaa jäädytystä, joka toteutetaan kylmäkoneilla. Näiden kylmäkoneiden tehokas toiminta on hallin sähköenergian kulutuksen ja koko hallin energiatehokkuuden kannalta keskeistä. Tekniikan uudistumisen ja laitteiden kulumisen myötä monissa halleissa kylmälaitteiden toiminnassa on parantamisen varaa. Käytännössä kyse on siitä, kuinka tehokkaasti kylmälaitteisto muuttaa kuluttamansa sähköenergian kylmä- ja lauhde-energiaksi.

Kylmäkoneiden tehokkuutta kuvataan kylmäkertoimella, COP (coefficient of performance). Tämä lukuarvo kuvaa sitä, kuinka tehokkaasti kylmäkone muuttaa käyttämänsä sähköenergian kylmäenergiaksi (ja lauhteeksi). Mitä suurempi arvo on, sitä parempi. Kylmäkertoimen omatoimista määrittelyä on käsitelty tarkemmin tässä([linkki](#)). Arvon määrittely ei kuitenkaan ole helppoa ja tarkan COP arvon määrittely vaatii ammattilaisen mittauksia. Mikäli kylmäkoneet ovat vanhoja ja niiden tehokkuutta on syytä epäillä, on ensimmäinen askel aina koneen todellisen kylmäkertoimen määrittely.

Monien jäähallien kohdalla ollaan tilanteessa, jossa kylmäkoneisto on tullut käyttöikänsä päähän tai on muuten tehoton. Koneiston uusiminen on suuri toimenpide, johon liittyy myös merkittävä investointi. Kylmäkoneiden tehokas toiminta on kuitenkin hallin toiminnan ja energiatehokkuuden kannalta niin keskeistä, että investointi on perusteltu. Kylmäkoneiden uusiminen vaatii aina perusteellista kartoitusta ja siihen liittyy usein muitakin kysymyksiä, esim. lauhde-energian käytöstä, ilman kuivatuksen toteutuksesta sekä tarvittavista liittymätehoista.

SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Energiatohokkuuden ja kosteusteknisen toiminnan muutos vaatii aina toimenpiteitä. Edellisten kohtien tavoitteena on löytää oikeat toimenpiteet siten, että hallista löydetään ongelma ja ongelmaan ratkaisu. Ongelmalähtöinen tarkastelu ehkäisee turhien ja perusteettomien toimenpiteiden ja investointien toteuttamista. Mikäli jäähallissa tehdään vähänkin suurempia korjaustoimenpiteitä, tulee prosessissa aina olla mukaan alan ammattilaiset, jotka suunnittelevat ja toteuttavat työt. Suunnittelijoiden tulee aina pystyä perustelemaan ehdottamansa toimenpiteet kohdekohtaisesti siten, että osoitetaan myös toimenpiteellä korjattava ongelma ja sen vaikutukset hallin toimintaan niin energia- kuin kosteusteknisesti.

Hyvän lopputuloksen edellytys on se, että sekä hallihenkilökunta että suunnittelija perehtyvät hallin lähtötilaan ja ongelmakohdat löydetään. Tämän jälkeen henkilökunta ja suunnittelijat etsivät yhdessä tarvittavat toimenpiteet riippuen ongelmien laajuudesta ja investointien suuruudesta. Kaikilla osapuolilla on aina oltava selkeä kuva siitä, mitä korjataan ja muutetaan. Toisessa jäähallissa toimineen korjauksen suora kopioiminen toiseen jäähalliin ei takaa muuta kuin hintalapun työlle.



Kuva 18. Kuvan lähde: <http://www.turkuenergia.fi/yrityksille/energiatohokkuus/energiansaasto/>

PALAUTE ENERGIA TEHOKKUUDEN PARANTAMISEN OSIOSTA

Energiatehokkuuden parantamisen osion keskeinen tehtävä on palvella hallihenkilökuntaa. Osio sisältää paljon informaatiota, joka on pyritty kirjoittamaan mahdollisimman selkeään muotoon. Mikäli huomaat osiossa virheitä tai kohtia, jotka ovat epäselviä, lähetä palutetta sivuston ylläpitäjille. Voit myös lähettää kehitysehdotuksia palautteen mukana. Rakentava palaute on tärkeä osa sivuston kehityksessä.

Palautetta voit lähettää sähköpostilla osoitteeseen: [sander.toomla\(at\)aalto.fi](mailto:sander.toomla(at)aalto.fi) (tai v. 2018- lipasinfo@jyu.fi)

