



Jäähallin määräystenmukaisuuden osoittaminen ja vaipan optimaalinen lämpöeristys

Kirjoittajat: Ari Laitinen, Teemu Vesanen, Matti Partanen

Luottamuksellisuus: julkinen

Raportin nimi	
Jäähallin määräystenmukaisuuden osoittaminen ja vaipan optimaalinen lämpöeristys	
Asiakkaan nimi, yhteystiedot	Asiakkaan viite
Opetus- ja kulttuuriministeriö, Risto Järvelä PL 29,00023 Valtioneuvosto	OKM/112/626/2013
Suomen Jääkiekkoliitto ry, Pekka Paavola Veturitie 13 H, 00240 Helsinki	
Projektin nimi	Projektin numero/lyhytnimi
Energiasäädösten vaikutus jäähallirakentamiseen	86094
Raportin laatija(t)	Sivujen/liitesivujen lukumäärä
Ari Laitinen, Teemu Vesanen, Matti Partanen	41/2
Avainsanat	Raportin numero
Jäähalli, energiamääräykset, lämpöeristys	VTT-R- 00077-15
Tiivistelmä	
<p>Uuden jäähallin määräystenmukaisuuden osoittamiseksi tarvitaan voimassa olevien määräysten mukaan kolme laskelmaa: 1) lämpöhäviölaskelma, 2) kokonaisenergiankulutus (E-luku) ja 3) lämpöteho mitoitustilanteessa.</p> <p>Korjaushankkeissa ainoana vaatimuksena on vaipan osalta täyttää rakennusosakohtaiset U-arvovaatimukset, periaatteena on puolittaa alkuperäiset U-arvot (Ympäristöministeriön asetus 4/13). Teknisiä laitteita uusittaessa periaatteena on, että uudet laitteet täyttävät uudet vaatimukset. Esimerkiksi ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen on oltava vähintään 45 %.</p> <p>Tässä raportissa esitetään konkreettisesti, kuinka jäähallin lämpöhäviölaskelma ja kokonaisenergiankulutuslaskelma tulisi nykymääräysten mukaan tehdä.</p> <p>Lisäksi tässä raportissa esitetään yhteenveto Matti Partasen diplomityön tuloksista liittyen jäähallin vaipan optimaaliseen lämmöneristystasoon.</p>	
Luottamuksellisuus	julkinen
Espoo 31.12.2014	
Laatija	Tarkastaja
	
Ari Laitinen, Senior Scientist	Teemu Vesanen, Research Scientist
Hyväksyjä	
	
Riikka Holopainen, Research Team Leader	
VTT:n yhteystiedot	
Ari Laitinen ari.laitinen@vtt.fi puh. 020 722 4721	
Jakelu (asiakkaat ja VTT)	
VTT, 1 kpl Erja Metsäranta, Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto, 1 kpl Pekka Paavola, Suomen Jääkiekkoliitto ry, 1 kpl	
<p>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</p>	

Alkusanat

Tämä raportti liittyy opetus- ja kulttuuriministeriön, Suomen Jääkiekkoliiton rahoituksella toteutettuun selvitykseen energiasäädösten vaikutuksesta jäähallien rakentamiseen. Hankkeessa teetettiin myös diplomityö liittyen vaipparakenteen eristävyiden vaikutuksiin harjoitusjäähallien energiankulutukseen. Hankkeessa kehitettiin jäähallien E-lukulaskentaan ohjeistus ja määriteltiin harjoitusjäähallin optimaaliset eristystasot.

Työn projektipäällikkönä toimi erikoistutkija Ari Laitinen. Muina tutkijoina toimivat tutkija Teemu Vesanen sekä tutkimusharjoittelija Matti Partanen. Työtä ohjasi ohjausryhmä, johon kuuluivat

Erja Metsäranta, Ylitarkastaja, Länsi- ja Sisä-Suomen Aluehallintovirasto, Opetus- ja kulttuuritoimi - vastuualue
Pekka Paavola, Suomen Jääkiekkoliitto

Tekijät ja VTT esittävät lämpimät kiitokset aktiiviselle ohjausryhmälle, haastateltujen yritysten ja jäähallien edustajille sekä tilaajalle. Erityiskiitokset hyvästä yhteistyöstä Timo Ruoholalle PRO-ARK Oy:stä.

Espoossa 31.12..2014

Tekijät

Sisällysluettelo

Alkusanat	2
Sisällysluettelo	3
1. Johdanto	5
2. EU-direktiivit	7
2.1 Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi, EPBD	7
2.2 RES	8
2.3 EED	8
2.4 EcoDesign	9
3. Jäähallit Suomen rakentamismääräyksissä	9
3.1 D3, rakennusten energiatehokkuus	9
3.2 Korjausrakentaminen	10
3.3 Energiatodistus	10
4. Ruotsin energiamääräykset	11
5. Jäähallin käsittely rakennusvalvonnassa	12
5.1 Uusimmissa jäähalleissa tehdyt laskelmat	13
6. Uuden jäähallin lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen	13
6.1 Lämpöhäviöiden tasauslaskin	13
6.1.1 Kohteen tiedot	15
6.1.2 Laajuustiedot	15
6.1.3 Rakennusosien pinta-alat ja lämmönläpäisykertoimet	15
6.1.4 Vaipan ilmavuodot	16
6.1.5 Ilmanvaihto	16
6.2 Tasauslaskennan tarkistuslista	21
7. Jäähallin kokonaisenergiankulutuksen laskenta	22
7.1 Laskennan lähtötiedot	23
7.1.1 Ilmanvuotoluku	25
7.1.2 Rakennusvaipan umpiosat ja ikkunat	25
7.1.3 Ilmanvaihto	25
7.1.4 Lämmitysjärjestelmä	27
7.1.5 Jäähdytysjärjestelmä	28
7.1.6 LKV:n käyttö	28
7.1.7 Sisäiset lämpökuormat	28
7.2 Laskenta	28
8. Lämmitysteho mitoitustilanteessa	30
9. Optimaalinen vaipan eristys	30
9.1 IDA-ICE simulointien lähtöarvot	31
9.2 Eristyksen vaikutus hallin lämmitysenergian tarpeeseen	31
9.3 Eristyksen vaikutus ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutukseen	33
9.4 Eristyksen ja sisälämpötilan vaikutus jääradan ylläpitoon tarvittavaan energiamäärään	34
9.5 Eristämisen vaikutus huipputehontarpeeseen	35
9.6 Optimaalinen eristyspaksuus	36

10. Yhteenveto	38
Lähdeviitteet	40
LIITE 1, Ruotsin ei-asuinrakennuksia koskevat energiavaatimukset	42
LIITE 2, Määräysten kehittämistarve jos jäähalliprosessi otettaisi mukaan.....	43

1. Johdanto

Rakennusten energiatehokkuutta koskevan lainsäädännön tavoitteena on rakennusten energia-tehokkuuden ja uusiutuvan energian käytön edistäminen sekä rakennusten energiakulutuksen pienentäminen ja hiilidioksidipäästöjen vähentäminen.

Rakennuksissa kuluu noin 40 % Suomen energian kokonaiskulutuksesta. Säädöksillä toimeenpannaan rakennusten energiatehokkuusdirektiiviä ja edistetään samalla Suomen omia tavoitteita energia-tehokkuuden parantamiseksi. Rakennuksen hyvä energiatehokkuus pienentää käytönaikaisia kustannuksia ja hillitsee käyttökustannusten nousua energian hinnan noustessa. Energiatehokkuuden parantaminen parantaa usein myös hallin käyttömukavuutta.

Energiatehokkuusvaatimukset, ns. E-lukuvaatimukset, astuivat voimaan 1.7.2012. Näissä vaatimuksissa poikkeuksena ovat jää- ja uimahallit, joille ei ainakaan toistaiseksi ole esitetty E-lukuvaatimusta. Sen sijaan E-luku on kuitenkin em. rakennuksillekin laskettava. Lähtöarvoja ei ole kuitenkaan annettu vaan laskennassa on käytettävä suunnitteluarvoja. Toimijoiden keskuudessa on ollut epäselvyyttä laskennan yksityiskohdista. Jääkiekkoliiton visioissa Suomen jäähallikanta tulee kasvamaan nykytasosta, noin 240 hallia, tasoon 280 – 300 hallia, noin kymmenen vuoden tähtäimellä. Uusia halleja rakennettaneen siis noin viiden hallin vuosivauhtia.

Energiatehokkuusmääräykset ovat aiemmin koskeneet pelkästään uudisrakennuksia. Koska olemassa olevien rakennusten energiankulutus on merkittävin tekijä rakennusten ympäristövaikutuksista, niin EU-tasolla on viime aikoina pohjustettu perusparannuksiin liittyviä energiatehokkuusvaatimuksia. Suomessa korjausrakentamisen energiatehokkuusvaatimukset otettiin käyttöön syyskuun alusta 2013. Kuinka jäähalleja käsitellään näiden vaatimusten puitteissa, on epäselvää. Jäähalleja ei ole ainakaan selvästi rajattu tarkastelun ulkopuolelle, mutta raja-arvoja ei ole annettu. Jäähallikannasta merkittävä osa, arviolta 100 hallia, tulee peruskorjausikään lähivuosina.



Kuva 1. Määräyskehityksen "roadmap".

Jäähallin vaipan vaikutusta energiankulutukseen ja -kustannuksiin ei ole aiemmin kokonaisvaltaisesti tutkittu. Tulevaisuuden nollaenergiarakentamisen ja peruskorjausrakentamisen vaatimuksia laadittaessa on tiedostettava vaipan osuus energiataseessa, jotta vaatimukset asetetaan perustellusti.

Energiamääräysten seuraavan vaiheen mukaisia rakennuksia kutsutaan lähes nollaenergiarakennuksiksi (eng. near zero energy building, NZEB). Lähes nollaenergiarakennuksissa yhdistyy rakennusten energiatehokkuusdirektiivin sanoin erittäin korkea energiatehokkuus ja energiantarpeen kattaminen hyvin laajalti uusiutuvilla energialähteille. Määräyksiä valmisteltaessa keskitytään myös kustannusoptimaalisuuteen eli rakentamiskustannusten optimointiin siten, että rakennuksen elinkaarikustannuksissa saavutetaan merkittävä säästö ilman, että investointi-kustannukset kasvavat kohtuuttomasti.



Kuva 2 Lähes nollaenergiarakennuksessa yhdistyvät korkea energiatehokkuus ja uusiutuvan energian käyttö

Elinkaarikustannuslaskenta kannustaa valitsemaan energiatehokkaita ja -taloudellisia ratkaisuja. Pitkällä aikavälillä edullinen investointi voi osoittautua kannattamattomaksi energiakustannusten kasvaessa.

Tavoitteet

Hankkeen tavoitteena oli esittää ”rautalankamalli” energiamääräysten vaikutuksista jäähallihankkeissa, niin uudiskohteissa kuin perusparannushankkeissa. Pääpaino oli voimassa olevissa määräyksissä, mutta mahdollisuuksien mukaan otettiin huomioon tulevat määräykset: uusiutuvan energian käyttö ja lähes 0-energiarakentaminen.

Lisäksi hankkeessa teetettiin diplomityö, jonka tavoitteena oli määrittää hallirakennuksen vaipan rooli harjoitusjäähallin energiataseessa. Tarkastelussa määritettiin harjoitusjäähallin ulkovaipan optimaalinen eristystaso eri lämpöolosuhteissa.

Toteutus

Selvityksessä käytiin läpi uudisrakentamiseen liittyvät kansalliset määräykset: rakentamismääräyskokoelman osa D3 energiatehokkuusvaatimukset ja energiatodistusta koskevat säädökset. Lisäksi perehdyttiin korjausrakentamisen energiamääräyksiin. Lisäksi selvitettiin taustalla olevat EY-direktiivit ja kartoitettiin energiansäästöön liittyvät kansalliset tukimahdollisuudet.

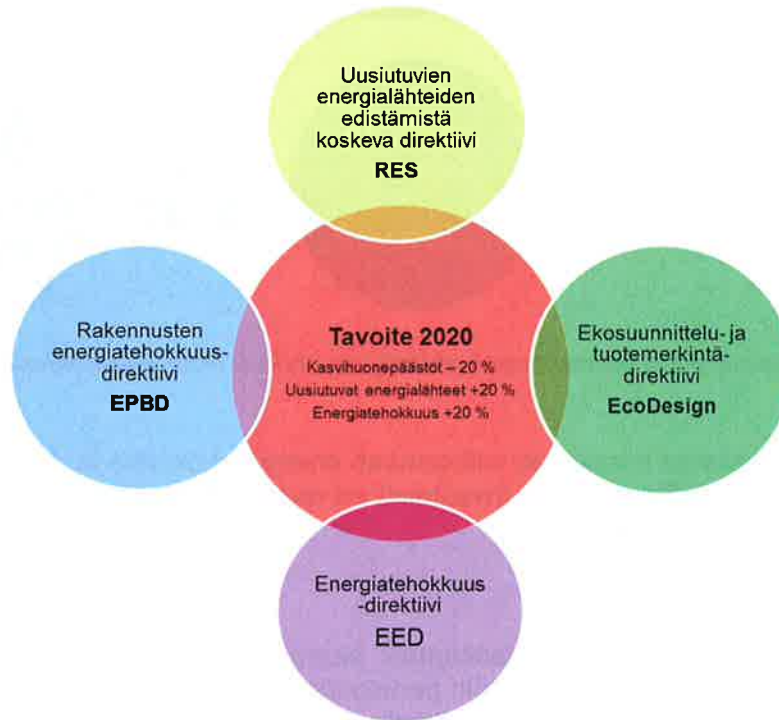
Selvitettiin energiatehokkuusvaatimusten voimaan astumisen jälkeen rakennettujen ja perusparannettujen harjoitushallien osalta rakennusvalvonnan edellyttämät vaatimukset ja laskelmat.

Hankkeen tuloksena on jäähallien määräystenmukaisuuden osoittamisessa tarvittavan energiaselvityksen ohjeistus sekä esimerkkilaskelmat todellisten hallien suunnittelutiedoilla. Jäähallin energiaselvitys sisältää jäähallin lämpölämpötilalaskelman, kokonaisenergian kulutuksen (E-luvun) laskemisen sekä lämpötehon laskemisen mitoitusoloissa.

Diplomityössä selvitettiin jäähallin vaipan kustannusoptimaalista eristystasoa hallin eri lämpötilatasoilla. Lisäksi selvitettiin myös hallin vaipan sisäpintaan asennettavan matalaemissiviteettipinnoitteen merkitystä hallin lämmitys- ja jäähdytysenergian tarpeisiin sekä tehontarpeisiin.

2. EU-direktiivit

Rakennusten ja niihin liittyvien laitteiden energiatehokkuuteen vaikutetaan EU-tasolla useammalla direktiivillä (kuva 3). Kaiken tavoitteena on vähentää kasvihuonepäästöjä, lisätä uusiutuvien energioiden käyttöä ja vähentää energiankulutusta.



Kuva 3. Rakennusten energiatehokkuuteen vaikuttavat direktiivit.

Direktiivit esitellään seuraavassa lyhyesti.

2.1 Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi, EPBD

* Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin (2010/31/EU) tavoitteena on vähentää hiilidioksidipäästöjä parantamalla rakennusten energiatehokkuutta. Direktiivi on uudelleenlaadittu versio direktiivistä 2002/91/EY.

Direktiivi vaikuttaa sekä uudis- että korjausrakentamiseen ja sisältää kolme pääaluetta:

- energiatodistuksen käyttöönotto
- energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset;
- lämmityskattiloiden ja ilmastointilaitteiden määräaikaistarkastukset.

Direktiiviä sovelletaan kansallisella tasolla ottamalla huomioon maan ilmasto-olosuhteet, paikalliset olosuhteet, sisäilmastolle asetetut vaatimukset ja kustannustehokkuus. Suomessa direktiivin vaatimukset on toteutettu lähinnä rakentamismääräyskokoelmaan.

Direktiivin tasolla määritellään, että energialaskennassa on käytettävä tiettyjä rakennusluokkia, joista yksi on urheilutilat. Tarkemmista rakennusluokista ei ole mainintaa tai poikkeuksia, joten jäähallit luonnollisesti sisältyvät urheilutiloihin.

Lisäksi mainitaan, että jäsenvaltiot voivat jättää vahvistamatta tai soveltamatta energiatehokkuus vaatimuksia tiettyjen rakennusluokkien osalta. Näihin sisältyy mm.

suojellut, uskonnolliset, väliaikaiset tai vuosittain rajoitetun ajan käytössä olevat rakennukset, sekä alle 50 m² rakennukset. Jäähallit eivät tyypillisesti kuulu mihinkään näistä ryhmistä, joten direktiivi koskee myös jäähalleja.

Toistaiseksi ei ole tiedossa komission kantaa Suomen rakentamismääräysten jäähalleja koskevaan poikkeukseen, jossa E-luku pitää laskea, mutta sille ei ole esitetty vaatimuksia. On hyvin mahdollista, että tämä ei riitä komissiolle vaan määräyksiä on uhkasakon uhalla muutettava pikaisesti.

Lähes nollaenergiarakentamisesta direktiivissä todetaan, että 31. päivään joulukuuta 2020 mennessä kaikkien uusien rakennusten on oltava lähes nollaenergiarakennuksia ja jäsenvaltioiden on laadittava kansalliset suunnitelmat lähes nollaenergiarakennusten lukumäärän kasvattamiseksi..

Eriyisen huomion kohteena direktiivissä ovat myös viranomaisten käytössä olevat ja muutkin julkiset rakennukset. Nollaenergiarakentamisen aikataulu on kireämpi vain viranomaisten käytössä ja omistuksessa oleville rakennuksille, mutta mm. energiatodistuksista sanotaan laueammin:

Jäsenvaltioiden on vaadittava, että jos yli 500 m² sellaisen rakennuksen kokonaishyöty-pinta-alasta, jolle on annettu energiatehokkuustodistus 12 artiklan 1 kohdan mukaisesti, on yleisön toistuvien käyntien kohteena, energiatehokkuustodistus asetetaan esille näkyvälle paikalle, jossa se on selvästi yleisön nähtävissä. (13. artikla, kohta 2).

Nähdäksemme tämä määritelmä koskee myös jäähalleja. Tulevissa nollaenergiarakentamisen määräyksissä asiaan täytyy ottaa kantaa. Rakennusalan toimijoiden yhteinen laaja FINZEB-hanke on esittänyt, että energiaintensiiviset rakennukset kuten tietyt liikerakennukset ja sairaalat [oletettavasti myös jää- ja uimahallit] käsiteltäisiin määräyksissä muista rakennustyypeistä poikkeavalla tavalla ilman energiamuotojen kertoimilla painotetun kokonaisenergiankulutuksen (ns. E-luvun) laskentaa. Näiden rakennusten arviointi perustuisi siten enemmän mitattuun energiankulutukseen ja sille asetettuun tavoitearvoon. Iso kysymys on, täyttäisikö tällainen menettely direktiivin antamat vaatimukset joihin kuuluu myös primäärienergian (Suomessa E-luvun) laskenta. Jäljempänä tässä raportissa kuvataan tarkemmin nykyistä E-luvun laskentaa jäähalleille ja sen ongelmia. Selvää on, että nykymentylyssä on ongelmia, joille tulisi tehdä jotain.

2.2 RES

"Jäsenvaltioiden on rakennussäännöksissään ja määräyksissään otettava käyttöön asianmukaiset toimenpiteet, joilla lisätään kaikenlaisen uusiutuvien lähteistä peräisin olevan energian osuutta rakennusalaalla."

RES-direktiivin näkyvin vaikutus liittyy uusiutuvan energian osuuteen rakentamismääräyksissä. Parhaillaan pohditaan tuleeko rakentamismääräyksiin minimivaatimus uusiutuvan energian osuudelle vai voidaanko direktiivin vaatimukset täyttää muuten. Jäähallin kannalta tulee mieleen voitaisiinko esimerkiksi lauhdelämmön käyttö laskea mukaan uusiutuvaksi energiaksi. Nykyisillä määräyksillä asialla ei ole liiemmin merkitystä. Uusiutuvan energian vaatimuksen toteutuessa olisi kuitenkin järjetöntä, että samaan aikaan päästettäisiin lauhdelämpöä taivaalle ja jouduttaisiin investoimaan vaikkapa aurinkolämpöön määräysten vuoksi.

2.3 EED

Energiatehokkuusdirektiivi (EED) tuli voimaan 4.12.2012. Se korvaa energiapalveludirektiivin (ESD, 2006/32/EY) ja CHP-direktiivin (2004/8/EY). Energiatehokkuusdirektiiviin sisältyy monenlaisia sitoumuksia energiaterhokkuuden parantamiseksi laaja-alaisesti. Rakennuksia koskevia toimia ovat mm. energiakatselmukset ja eri alojen energiansäästösopimukset.

2.4 EcoDesign

Ecodesign-direktiivi (2009/125/EY) tuli voimaan 20. marraskuuta 2009. Se korvasi soveltamisalaltaan suppeamman EuP-direktiivin (2005/32/EY).

Ecodesign-direktiivi koostuu eri laitteille asetetuista energiatehokkuusvaatimuksista. Tunnetuin esimerkki direktiivin vaikutuksista on hehkulamppujen asteittainen kieltäminen.

3. Jäähallit Suomen rakentamismääräyksissä

3.1 D3, rakennusten energiatehokkuus

Uudisrakentamisen energiamääräykset on koottu Suomen rakentamismääräyskokoelman osaan D3. Rakennukset ja tilat jaotellaan näissä määräyksissä seuraaviin käyttötarkoituksiluokkiin:

- Luokka 1: Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot
- Luokka 2: Asuinkerrostalot
- Luokka 3: Toimistorakennukset
- Luokka 4: Liikerakennukset
- Luokka 5: Majoitusliikerakennukset
- Luokka 6: Opetusrakennukset ja päiväkodit
- Luokka 7: Liikuntahallit pois lukien uima- ja jäähallit
- Luokka 8: Sairaalat
- Luokka 9: Muut rakennukset

Määräykset eivät koske:

- a) tuotantorakennusta, jossa tuotantoprosessi luovuttaa suuren määrän lämpöenergiaa
- b) rakennus, jonka lämmitetty netto-ala on enintään 50 m²,
- a) muut kuin asuinkäyttöön tarkoitetut maatalousrakennukset, joissa energiankäyttö on vähäinen,
- c) kasvihuone, väestönsuoja tai muu rakennus, jonka käyttö tarkoitukseensa vaikeutuisi kohtuuttomasti näitä määräyksiä noudatettaessa.
- d) loma-asunto, johon ei ole suunniteltu kokovuotiseen käyttöön tarkoitettua lämmitysjärjestelmää.
- e) määräaikainen rakennus, joka on valmistettu ennen näiden määräyksien voimaantuloa, esim. väliaikaiseen käyttöön tarkoitetut koulu- ja päiväkotirakennukset.

Loma-asunnoille ja määräaikaisille rakennuksille määräyksiä on helpotettu.

Rakennuksen ostoenergiankulutus on laskettava määräyksissä esitetyillä ulkoilman säätiedoilla, sisäilmasto-olosuhteiden, rakennuksen ja sen järjestelmien käyttö- ja käyntiaikojen sekä sisäisten lämpökuormien lähtöarvoilla (rakennustyyppin standardikäyttö). Muut energialaskennan tarvitsemat lähtötiedot otetaan rakennuksen suunnitteluasiakirjoista. Eri rakennustyypeille on asetettu eri enimmäisarvot, jota uudisrakennuksen E-luku ei saa ylittää.

Luokan 9 rakennuksille enimmäisarvoa ei ole annettu vaan ”E-luku on laskettava, mutta sille ei ole asetettu vaatimusta”. Luokan 9 rakennuksille ei myöskään ole annettu standardikäytön kuvausta. Sisälämpötilojen ja ilmavirtojen osalta mainitaan, että luokan 9 rakennukset on laskettava suunnitteluarvoilla. Esimerkiksi rakennuksen standardikäytön ja sisäisten lämpökuormien osalta tällaista mainintaa ei ole vaan asia jää määrittelemättä. Lämpökuormien osalta ei myöskään tarkkaan ottaen sanota, että liikuntahalleilla

tarkoitettaisiin taulukossa aiemmin määriteltyä rakennusluokkaa 7: ”Liikuntahalli pois lukien uima- ja jäähalli”. Lämpökuormia koskeva taulukko (D3/2012) on esitetty kuvassa 4.

Käyttötarkoitukseluokka	Kellonaika ^d	Käyttöaika		Käyttöaste	Valaistus W/m ²	Kuluttajalaitteet W/m ²	Ihmiset ^a W/m ²
		h/24h	d/7d				
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	00:00-24:00	24	7	0,6	8 ^{b,c}	3	2
Asuinkerrostalo	00:00-24:00	24	7	0,6	11 ^{b,c}	4	3
Toimistorakennus	07:00-18:00	11	5	0,65	12 ^c	12	5
Liikerakennus	08:00-21:00	13	6	1	19 ^c	1	2
Majoitusliikerakennus	00:00-24:00	24	7	0,3	14 ^c	4	4
Opetusrakennus ja päiväkot	08:00-16:00	8	5	0,6	18 ^c	8	14
Liikuntahalli	08:00-22:00	14	7	0,5	12 ^c	0	5
Sairaala	00:00-24:00	24	7	0,6	9 ^c	9	8

a ei sisällä kosteuteen sitoutunutta lämpöä, kokonaislämmönluovutus saadaan jakamalla kertoimella 0,6

b asuinrakennusten valaistuksen käyttöaste on 0,1

c ohjearvo uudisrakennuksille ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, pienempää valaistuksen tehoa voi käyttää, mikäli valaistustaso säilyy ja siitä esitetään erilliselvytys kohtien 3.3.3 ja 3.3.4 mukaisesti.

d ilmanvaihdon käyttöaika kohdan 3.3.7 mukaisesti

Kuva 4 Lämpökuormat D3:ssa.

Käyttötarkoitukseluokkaan 1 ja 9 kuuluvissa rakennuksissa ei tarvitse suorittaa kesäajan huonelämpötilan laskentaa.

Jäähallia koskevat kuitenkin ilmatiiviysvaatimukset, rakennusosakohtaiset U-arvovaatimukset, lämpöhäviövaatimukset eli taseuslaskelma, ilmanvaihdon energiatehokkuusvaatimukset, lämmitysjärjestelmän tehovaatimukset, sekä vaatimukset mittauksille.

3.2 Korjausrakentaminen

Korjausrakentamisen määräyksissä jäähalleja ei mainita poikkeuksena, joten niitä koskevat periaatteessa normaalit määräykset. Jäähalliaikin korjattaessa on siis valittavissa kolme vaihtoehtoa:

1. jäähalli täyttää rakennusosakohtaiset vaatimukset
2. jäähalli täyttää standardikulutukseen perustuvan energiankulutuksen vaatimukset
3. jäähalli täyttää standardikulutukseen perustuvan kokonaisenergiankulutuksen (E-luku) vaatimukset

Asetuksessa on annettu kuhunkin vaihtoehtoon liittyvät vaatimukset. Vaihtoehdon 1 osalta vaatimukset eivät riipu rakennustyyppistä, mutta kahdessa jälkimmäisessä vaihtoehdossa vaatimukset ovat rakennustyyppikohtaisia ja jäähalleja ei mainita luettelossa. Käytännössä näyttää siis siltä, että jäähallin on täytettävä rakennusosakohtaiset vaatimukset.

3.3 Energiatodistus

Jäähallille ei energiatodistusta tarvitse tehdä eikä sen tekeminen ole mahdollistakaan, koska vertailuarvoja kulutukselle ei ole. Lain energiatodistuksesta kolmannessa pykälässä selvästi poistetaan jäähallilta velvollisuus energiatodistuksen hankkimiseen:

”

Velvollisuuksien kohteena olevat ja niistä vapautetut rakennukset

Tässä laissa säädettyt velvollisuudet hankkia energiatodistus ja käyttää sitä koskevat rakennusta, jossa käytetään energiaa rakennuksen tilojen tarkoituksenmukaisten sisäilmasto-olosuhteiden ylläpitämiseksi. Velvollisuudet eivät kuitenkaan koske:

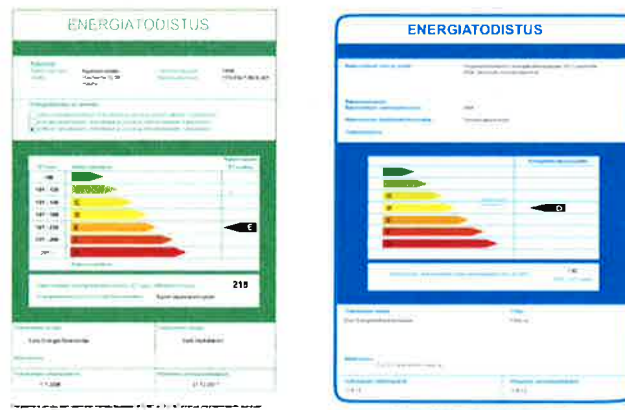
...

4) teollisuus- ja korjaamorakennusta, uimahallia, jäähallia, varistorakennusta, liikenteen rakennusta sekä rakennukseen liittyvää tai erillistä moottoriajoneuvosuojaa;

...

”

Edellisen energiatodistuslain (487/2007 ja YM-asetus 765/2007) aikana jäähalleillekin piti energiatodistus tehdä. Jäähallit olivat silloin samassa rakennustyyppi luokassa kokoontumisrakennusten kanssa. Uimahalleille oli oma luokkansa, mutta jäähallit jäivät samaan kategoriaan teatterien ja museoiden kanssa. Vanhan lain mukaiset ennen uuden lain voimaantuloa laaditut energiatodistukset ovat pääsääntöisesti voimassa alkuperäisen voimassaoloaikansa loppuun, enintään kymmenen vuotta laatimisesta. Vanhan lain mukaisen todistuksen tunnistaa vihreästä taustaväristä. Uuden lain mukainen energiatodistus on taustaväriiltään sininen (kuva 5).



Kuva 5 Vanhan (vas.) ja uuden (oik.) lain mukaiset energiatodistukset rinnakkain.

4. Ruotsin energiamääräykset

EU-jäsenenä myös Ruotsi on luonnollisesti implementoinut samat direktiivit lainsäädäntöönsä kuin Suomikin. Lähestymistapa energiatehokkuuteen on kuitenkin hyvin erilainen. Ruotsissa energiatehokkuusvaatimukset ja energiatodistukset perustuvat mitattuun kulutukseen. Uudisrakennukselle toki lasketaan energiankulutus, mutta laskettu tulos on informatiivinen. Varsinaiset määräykset koskevat kahden vuoden kuluttua rakennuksen käyttöönotosta tehtävää tarkastusta, jossa katsotaan mitattuja kulutuksia. Mitatulle kulutukselle on enimmäisarvot. Jos rakennuksen kulutus ylittää ne, omistajaa voidaan sakottaa tai ääritapauksessa rakennus voidaan jopa purkaa. Mitattu kulutus sääkorjataan ja siitä vähennetään käyttäjäsähkö, sekä poikkeavasta toiminnasta aiheutunut kulutus. Tämä jättää paljon vastuuta vertailukelpoista kulutusta arvioivalle asiantuntijalle.

Asuinrakennuksille ja ei-asuinrakennuksille on omat luku-arvot. Muuten eri rakennustyyppijä ei erotella. Jäähallit kuuluvat siis ”rakennustyyppiin” ei-asuinrakennukset ja niitä koskevat

samat määräykset kuin kouluja ja toimistoja. Tämän hankkeen puitteissa ei ollut kuitenkaan mahdollista selvittää tarkemmin kuinka jäähallien kulutuksia Ruotsissa korjataan vastaamaan ”normaalikulutusta”. Oletettavaa on, että vaatimukset käytännössä sielläkin vaihtelevat. Esimerkiksi Ruotsin jääkiekkoliiton julkaisema jäähallirakentajan opas (Bygga Ishall) jättää mainitsematta koko energialaskennan ja mitattujen kulutusten korjaamisen vertailukelpoisiksi.

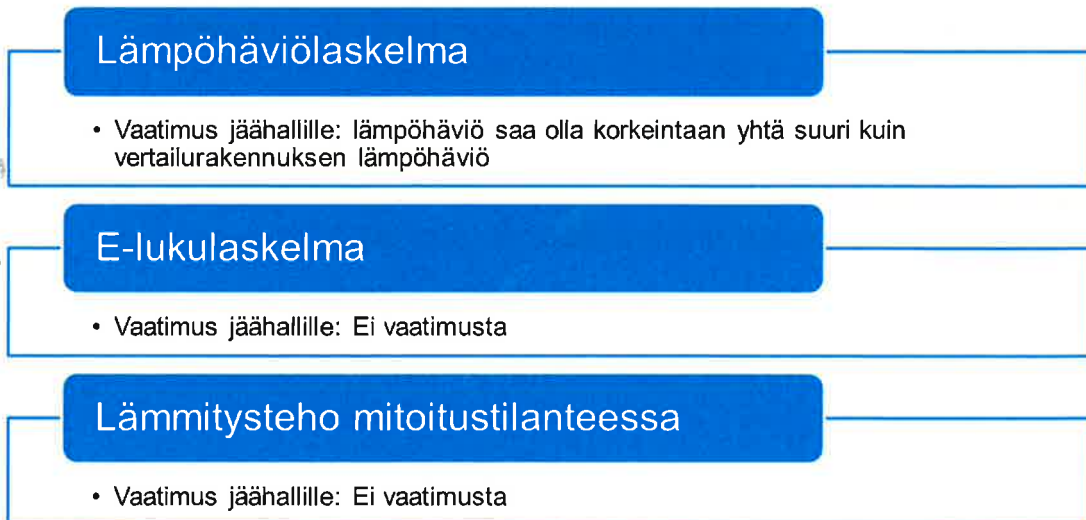
Liitteessä 1 on esitetty ei-asuinrakennuksia koskevat energia- ja U-arvovaatimukset. Lisäksi on vaatimuksia mm. asennettavalle lämmitysteholle.

5. Jäähallin käsittely rakennusvalvonnassa

SRakMK osa D3:n mukaisesti rakennusvalvontaan on uudisrakennuksesta toimitettava energiaselvitys, joka sisältää yleensä seuraavat tarkastelut:

- rakennuksen kokonaisenergian kulutus (E-luku)
- energialaskennan lähtötiedot ja tulokset
- kesäaikainen huonelämpötila [ei koske jäähallia] ja tarvittaessa jäähdytysteho
- rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuus [= tasauslaskenta]
- rakennuksen lämmitysteho mitoitustilanteessa
- rakennuksen energiatodistus [ei koske jäähallia]

Uuden jäähallin määräystenmukaisuuden osoittamiseksi tarvitaan voimassa olevien määräysten mukaan siis kolme laskelmaa (kuva 6): 1) lämpöhäviölaskelma, 2) kokonaisenergiankulutus (E-luku) ja 3) lämmitysteho mitoitustilanteessa.



Kuva 6 Määräystenmukaisuuden osoittamiseksi vaaditut laskelmat uusille jäähalleille.

Korjaushankkeissa ainoana vaatimuksena on vaipan osalta täyttää rakennusosakohtaiset U-arvovaatimukset, periaatteena on puolittaa alkuperäiset U-arvot (Ympäristöministeriön asetus 4/13). Teknisiä laitteita uusittaessa periaatteena on, että uudet laitteet täyttävät uudet vaatimukset. Esimerkiksi ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen on oltava vähintään 45 %.

5.1 Uusimmissa jäähalleissa tehdyt laskelmat

Hankkeessa käytiin läpi viimeisimpiä Suomeen rakennettuja jäähalleja. Projektiryhmälle toimitetuista dokumenteista ilmeni, että E-luvun laskenta oli kirjavaa, lähtötiedot osin puutteelliset ja tasauslaskentalomakkeita ei toimitettu. Esillä olleista halleista ei löytynyt hyvin dokumentoitua, nykyisten määräysten mukaista laskentatapausta tämän hankkeen esimerkiksi.

6. Uuden jäähallin lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen

Määräysten mukaan rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon lämpöhäviötä rajoitetaan hyvän energiatehokkuuden saavuttamiseksi. Rakennuksen lämpöhäviö saa olla enintään yhtä suuri kuin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 kohdissa 2.5.4, 2.5.7 ja 2.5.10 – 2.5.12 mukaisilla vertailuarvoilla rakennukselle määritetty vertailulämpöhäviö.

Lämpöhäviön määräystenmukaisuus osoitetaan tasauslaskelmalla, joka tehdään erikseen lämpimille ja puolilämpimille tiloille. Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus on laskennallinen menettelytapa lämpöhäviölle asetetun vaatimuksen täyttämiseksi. Jonkin osatekijän (vaippa, vuotoilma, ilmanvaihto) vertailulämpöhäviötä suurempi lämpöhäviö edellyttää vähintään vastaavaa lämpöhäviön vähentämistä toisen osatekijän kohdalla. Tasauslaskennassa otetaan huomioon rakennusosassa olevat säännölliset kylmäsiilat, mutta ei rakenteiden välisiä liitoksia.

Rakennuksen vaipan lämpöhäviö lasketaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 esitetyn laskentaperiaatteen mukaisesti käyttäen laskennassa D3:ssa esitetyjä rakennusosakohtaisia lämmönläpäisykertoimia ja ikkunapinta-alan vertailuarvoa.

6.1 Lämpöhäviöiden tasauslaskin

Lämpöhäviöiden laskennan tueksi ja yhdenmukaistamiseksi Ympäristöministeriö on julkaissut nettisivuillaan¹ Excel-pohjaisen tasauslaskimen sekä tasauslaskentaoppaan.

Seuraavassa käydään läpi tasauslaskimen (kuva 7) käyttö sovellettuna harjoitusjäähalliin.

¹ <http://www.ym.fi/fi->

[Fl/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Suomen_rakentamismaarayskokoelma\(3624\)](http://www.ym.fi/fi-Fl/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Suomen_rakentamismaarayskokoelma(3624))

Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskelma, D3-2012 (voimassa 1.7.2012 alkaen)

Rakennuskohde <small>Lus. Ohjeet</small>		Esimerkkitali	
Rakennuslupatunnus		12.34.56.78	
Rakennustyyppi		Harjoitusjäähalli	
Päsuunnittelija		Arkk. Suunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä		Tuija Tasaus	
Päiväys		10.11.2014	
Tulos: Suunnitteluratkaisu		TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET	

Rakennuksen laajuustiedot		Lasketatuloksia	
Rakennuslajavuus	30 230 rak-m ³	Julkisivupinta-ala on 1444 m ²	
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	3 074 m ²	Ikkunapinta-ala on 0 % maanpäällisestä kerrostasosalasta	
Lämmitynettoala, lämpimät tilat	483 m ²	Ikkunapinta-ala on 1 % julkisivun pinta-alasta	
Lämmitynettoala, puoliämpimät tilat	2 432 m ²	Lämpöhäviö on 84 % vertailutasosta (lämpimät tilat)	
Rakennusluokka (1 - 9)	9	Lämpöhäviö on 60 % vertailutasosta (puoliämpimät tilat)	
Rakennuksen kerros määrä	2 kerrosta		

Perustiedot		Lämpöhäviöiden tasaus					
		Ominaislämpöhäviö, W/K					
		$[H_{\text{net}} = A \cdot U]$					
RAKENNUSOSAT	Pinta-ala, m² [A]	U-arvot, W/(m²·K) [U]	Vertailu- ja Suunniteluratkaisu				
	Vertailu- arvo	Vertailu- arvo	Vertailu- ratkaisu				
	Suunnitelu- arvo	Enimmäis- arvo	Suunnitelu- arvo				
Lämpimät tilat							
Ulkoseinä	120	0.17	0.60	0.22	26.4		
Hirsiseinä		0.40	0.60				
Yläpohja		0.09	0.60				
Alapohja (ulkoiilmaan rajoittuva)		0.09	0.60				
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾		0.17	0.60				
Alapohja (maanvastainen) ²⁾	483	0.16	0.60	0.16	77.3	77.3	
Muu maanvastainen rakennusosa ²⁾		0.16	0.60				
Ikkunat	126.0	6.0	1.00	1.80	1.00	126.0	6.0
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ³⁾	8.0		1.00	1.80	1.00	8.0	8.0
Kattoikkunat			1.00	1.80			
Kattovalokuvut			1.00	2.00			
Lämpimät tilat yhteensä	617	617				211.3	117.7
Puoliämpimät tilat tai määrärajoitukset							
Ulkoseinä	967	1 298	0.26	0.60	0.22	251.4	285.6
Hirsiseinä			0.60	0.60			
Yläpohja	2 525	2 525	0.14	0.60	0.09	353.5	227.3
Alapohja (ulkoiilmaan rajoittuva)			0.14	0.60			
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0.26	0.60			
Alapohja (maanvastainen) ²⁾	2 432		0.24	0.60	0.13	583.7	316.2
Muu maanvastainen rakennusosa ²⁾			0.24	0.60			
Ikkunat	335.1	4.0	1.40	2.80		469.1	
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ³⁾	8.0		1.40	2.80	1.00	11.2	8.0
Kattoikkunat			1.40	2.80			
Kattovalokuvut			1.40	2.80			
Puoliämpimät tilat yhteensä	6 267	6 267				1 668.9	837.0

VAIPAN ILMAVUODOT		Ilmanvuoto, m³/(h·m²) [q_v]		Vuotoilmavirta, m³/s [Q_v, v² = Q_v · 24 · A/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H_{vuoto}]	
		Vertailu- arvo		Vertailu- arvo		Vertailu- ratkaisu	
		Suunnitelu- arvo		Suunnitelu- arvo		Suunnitelu- ratkaisu	
Vuotoilma							
Lämpimät tilat		2.0		2.0		0.0143	
Puoliämpimät tilat		2.0		2.0		0.1451	
						17.1	
						174.1	

ILMANVAIHTO		Poistoilmavirta, m³/s [Q_{v,p}]		Ilmanvaihdon LTC:n vuosiyhtösuhde, % [h_s]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H_{sv} = 1200 · Q_{v,p} · (1-h_s)]	
		Vertailu- arvo		Vertailu- arvo		Vertailu- ratkaisu	
		Suunnitelu- arvo		Suunnitelu- arvo		Suunnitelu- ratkaisu	
Hallitun ilmanvaihto							
Lämpimät tilat		1.464		45		52.3	
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta		0.150		0		136.6	
Puoliämpimät tilat		1.667		45		6.3	
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta		0.000		0			
						966.2	
						838.0	
						1 100.2	
						750.2	

Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus		Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H_{net} + H_{vuotoilma} + H_{sv}]	
		Vertailu- ratkaisu	
		Suunnitelu- ratkaisu	
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä		1 375	
Puoliämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä		2 943	
		1 153	
		1 761	

Kohteen tiedot

Laajuus- tiedot

Pinta- alat ja U-arvot

Ilmavuodot

Ilmanvaihto

- ¹⁾ Ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämmönläpäisykerroimen laskennassa voidaan ottaa huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotueen keskilämpötila, jos ryömintätilan tuuletusaukkojen määrä on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta. Tällöin osan C4 ohjeen mukaan yksityiskohtaisesti lasketun U-arvon sijaan voidaan käyttää rakenteen U-arvoa kerrottuna kertoimella 0,9. Jos ryömintätilan tuuletusaukkojen määrä on yli 8 promillea alapohjan pinta-alasta, alapohja lasketaan ulkoilmaan rajoittuvana.
- ²⁾ Maanvastaisen lattia- tai seinärakenteen lämmönläpäisykerroin voidaan osan C4 mukaisesti laskea yksinkertaisesti kertomalla pelkän lattia- tai seinärakenteen lämmönläpäisykerroin kertoimella 0,9. Kerroin ottaa huomioon maan lämmönvastuksen. Yksinkertaistettu menetelmä ei ota huomioon rakennuksen geometrian vaikutusta.
- ³⁾ Ulko-ovien ja tuuletusluukuihin sisältyvät myös savunpoisto-, uloskäynti- ja huoltoiluukut sekä muut vastaavat luukut.

Kuva 7. Tasauslaskimen 1. sivu. Kohteen tiedot syötetään sinisellä värjättyihin kohtiin. Kuvan oikeaan reunaan on merkitty punaisella kohdat, jotka käydään tarkemmin läpi tekstissä.

Lomakkeen täyttäminen kohta kohdalta:

6.1.1 Kohteen tiedot

Tähän syötetään kohteen yleiset tiedot sekä pääsuunnittelija ja tasauslaskennan tekijä.

6.1.2 Laajuustiedot

Tähän syötetään rakennuksen laajuustiedot, jotka löytyvät arkkitehtisuunnitelmista. Jäähallit kuuluvat rakennusluokkaan 9 (muut rakennukset).

Rakennustilavuudella tarkoitetaan tilaa, jota rajoittavat ulkoseinien ulkopinnat, alapohjan alapinta ja yläpohjan yläpinta.

Maanpäälliset kerrostasoala lasketaan rakennuksen kaikkien kokonaan tai osittain maan päällä sijaitsevien kerrosten kerrostasoalojen summana. Kerrostasoala on kerrostasoalan ala, jonka rajoina ovat kerrostasoa ympäröivien ulkoseinien ulkopinnat tai niiden ajateltu jatke ulkoseinien pinnassa olevien aukkojen ja koristeosien osalla. Kerrostasoaan lasketaan kaikki tilat riippumatta kerrostason sijainnista, sen sisältämien huoneiden käyttötarkoituksesta sekä riippumatta siitä ovatko huoneet kylmiä vai lämpimiä. Kerrostasoala sisältää myös porrasaukot sekä alat, joissa huonekorkeus on alle 1600 mm. Kerrostasoalan laskenta esitetään standardissa SFS 5139.

Lämmitetty nettoala on lämmitettyjen kerrostasoalojen summa kerrostasoalojen ympäröivien ulkoseinien sisäpintojen mukaan laskettuna. Lämmitetty nettoala voidaan laskea myös lämmitetystä bruttoalasta, josta on vähennetty ulkoseinien rakennusosa-ala.

6.1.3 Rakennusosien pinta-alat ja lämmönläpäisykertoimet

Tässä kohdassa annetaan rakennusosien (ulkoseinä, ovet, ikkunat, yläpohja, alapohja) suunnitellut pinta-alat ja U-arvot.

Pinta-alat

Ulkoseinien pinta-ala määritetään kokonaissisämittojen mukaan. Ulkoseinällä olevien ikkunoiden ja ovien pinta-alat eivät sisälly ulkoseinän pinta-alaan. Ikkunoiden ja ovien pinta-alat lasketaan kehän ulkomittojen mukaan. Väliseinien ja välipohjien liittymän kohdat ulkoseinään sisältyvät ulkoseinän pinta-alaan.

Ikkunan ja oven pinta-ala lasketaan kehän ulkomittojen mukaan.

Yläpohjan pinta-ala määritetään kokonaissisämittojen mukaan soveltaen edellä ulkoseinille esitettyä periaatetta. Kattoikkunoiden ja valokupujen pinta-ala ei sisälly yläpohjan pinta-alaan. Yläpohjan läpivientejä (kanavat, hormit ja tuuletusputket) ei vähennetä yläpohjan pinta-alasta. Väliseinien liittymien kohdat sisältyvät yläpohjan pinta-alaan.

Alapohjan pinta-ala määritetään kokonaissisämittojen mukaan soveltaen edellä ulkoseinille ja yläpohjille esitettyjä periaatteita.

Lämmönläpäisykertoimet (U-arvot)

Laskentapohjassa on annettu kiinteästi laskennassa käytettävät rakennusosakohtaiset vertailuarvot ja enimmäisarvot. Näitä arvoja käyttäjä ei voi muuttaa ja nämä arvot sisältyvät rakentamismääräyskokoelman osan D3 rakennuksen lämmöneristystä koskeviin vaatimuksiin ja vertailulämpöhäviön laskennassa käytettäviin lämmönläpäisykertoimien (U-arvot) vertailuarvoihin.

Tasauslaskimen mukana tulee aputaulukko (kuva x), jolla voidaan laskea lämpöhäviöiden tasauslaskennassa tarvittava rakennusosan pinta-ala ja keskimääräinen U-arvo, kun ulkoseinä, yläpohja, alapohja, ikkunat, ovet tai kattoikkunat koostuvat U-arvoltaan erilaisista

osista eikä niille ole tasauslaskentalomakkeessa omaa kohtaa. Suunnittelija vastaa siitä, että U-arvojen enimmäisarvoja ei ylitetä minkään osan kohdalla.

Rakennusosan Pinta-ala	U-arvo	Ominaislämpöhäviö	
		A, m ²	H, W/K
Rakennusosa tasauslaskentaan	70.6	0.327	22.98
Rakennusosa 1	12	0.24	2.88
Rakennusosa 2	34	0.5	17
Rakennusosa 3	24.6	0.13	3.198
Rakennusosa 4			0
Rakennusosa 5			0
Rakennusosa 6			0
Rakennusosa 7			0
Rakennusosa 8			0
Rakennusosa 9			0
Rakennusosa 10			0
Rakennusosa 11			0
Rakennusosa 12			0
Rakennusosa 13			0
Rakennusosa 14			0
Rakennusosa 15			0
Rakennusosa 16			0
Rakennusosa 17			0
Rakennusosa 18			0
Rakennusosa 19			0
Rakennusosa 20			0

Laskentatauluun siirrettävät pinta-ala ja keskimääräinen U-arvo, laskennan tulokset

Rakennusosakohtaiset pinta-alat ja vastaavat U-arvot, tiedot suunnitelmasta

Kuva 8. Tasauslaskimen aputaulukko pinta-alalla painotetun U-arvon ja kokonaispinta-alan laskentaan. Kohteen tiedot syötetään sinisellä värjättyihin kohtiin. Kuvan oikeaan reunaan on lisätty ohjeistusta.

6.1.4 Vaipan ilmvuodot

Jäähallin suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa voidaan käyttää vaipan ilmanvuotolukuna arvoa $q_{50}=4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Tällöin ilmanpitävyyttä ei tarvitse erikseen osoittaa. Pienempää ilmanvuotolukua voidaan käyttää, jos ilmanpitävyys osoitetaan jälkikäteen esimerkiksi mittaamalla tai muulla menettelyllä. Muulla menettelyllä tarkoitetaan esimerkiksi sellaista teollisen talonvalmistuksen laadunvarmistusmenettelyä, jolla lämpöhäviön laskennassa käytettävä ilmanpitävyys voidaan luotettavasti arvioida ennakolta.

Jos mittaamalla saatu ilmanpitävyys on parempi kuin alkuperäisessä suunnitteluratkaisussa käytetty arvo, voidaan mitattua arvoa käyttää tasauslaskennan ja E-luvun laskennassa.

Ilmanvuotoluku saa olla enintään $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Jos mitattu ilmanpitävyys on tätä huonompi, edellytetään korjaavia toimenpiteitä jotta vähintään minimitaso saavutetaan.

Jäähalleissa on huolellisella rakentamisella ja tavanomaisin ratkaisuin mahdollista päästä alle $1,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ ilmanvuotolukuihin.

6.1.5 Ilmanvaihto

Ilmavirrat

Ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan poistoilmavirralla. Jäähallille poistoilmavirtana käytetään suunnitteluarvoja, jotka perustuvat rakentamismääräyskokoelman osassa D2 esitettyihin ilmavirtojen mitoitusarvoihin. Muilla rakennuksilla kuin jäähalleilla poistoilmavirtana tasauslaskennassa käytetään D3:ssa annettuja ulkoilmavirtoja.

Tasauslaskennassa ei yleensä oteta huomioon ilmanvaihdon tarpeenmukaista ohjausta. Sen sijaan poistoilmavirtaa määritettäessä otetaan huomioon vuorokautinen ja viikoittainen käyntiaikasuhde. Poikkeuksena tästä on käyttötarkoitukseluokan 9 rakennukset, joille voidaan käyttää suunnitteluarvoja ja siten myös ottaa tasauslaskennassa huomioon ilmanvaihdon tarpeenmukainen ohjaus. Tarpeenmukaisen (esimerkiksi CO₂-ohjaus) ohjauksen vaikutus keskimääräiseen ilmavirtaan voidaan tehdä arvioimalla.

Jäähallin ulkoilmavirta varsinaisen hallin puolella määritetään D2:n mukaisesti halliosan lattiapinta-alan perusteella käyttäen mitoitavana arvoa 2 (dm³/s)/m² tai katsojien lukumäärän mukaan laskettua mitoitusilmavirtaa 8 (dm³/s)/hlö. Mitoitusilmavirraksi valitaan suurempi edellä mainituin perustein lasketuista ilmavirroista. Henkilöperustaista mitoitusta joudutaan käyttämään suunnilleen silloin, kun katsomon kapasiteetti on suurempi kuin 500 henkilöä. Hallin poistoilmavirtana käytetään samaa arvoa kuin ulkoilmavirralla, eli ilmavirtaukset ovat yhtä suuret.

Jäänhoitokoneen säilytystilojen osalta on ilmanvaihtoon kiinnitettävä erityistä huomiota ja otettava huomioon jäänhoitokoneen käyttövoima ja suunniteltava ilmanvaihto sen mukaisesti. Esimerkiksi akkukäyttöisten jäänhoitokoneiden lataustila tulee varustaa omalla suoraan ulos johdettavalla erillispoistolla. Tarkempia ohjeita löytyy jääkiekkoliiton ja opetusministeriön julkaisemasta akkukäyttöisten jäänhoitokoneiden käyttöturvallisuus -ohjeesta (Hirsimäki 1999).

Muiden tilojen osalta käytetään D2:ssa liitteessä 1 annettuja tilakohtaisia ohjeellisia mitoitusilmavirtoja.

Tasauslaskennassa käytettävät ilmavirrat voi määrittää Ympäristöministeriön nettisivuilla julkaistun työkalun avulla². Työkalulla voidaan määrittää paitsi tasauslaskennassa käytettävät ilmavirrat, niin myös ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteet. Työkalun toiminta käydään läpi seuraavassa kappaleessa.

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

Kuten edellä kerrottiin, tasauslaskennassa tarvittavat ilmavirrat ja lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteet voidaan määrittää ympäristöministeriön julkaisemalla työkalulla, jonka käyttö käydään seuraavassa läpi. Harjoitusjäähalli varustetaan yleensä vähintään kahdella tulo-poistoilmanvaihtokoneella, joista toinen hoitaa puolilämpimän rata-alueen ilmanvaihdon ja toinen lämpimät sosiaalitalat (puku- ja pesuhuoneet, ym.). Lisäksi hallissa voi olla erillispoistoja jotka kuuluvat D3:n lämmöntalteenotto -vaatimuksen piiriin, lämpimissä tiloissa tällaisia ovat esimerkiksi wc:t, porrashuoneet ja keittiön liesituuletin. Jäähallissa on usein myös poistoilman lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuulumattomia ilmanvaihtokoneita esimerkiksi akkukäyttöisen jäänhoitokoneen lataustila.

D3:ssa määrätään, että rakennuksen poistoilmasta on otettava lämpöä talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. Tämä vaatimus tarkistetaan tasauslaskennan yhteydessä.

Jäähallin lämpimien tilojen ilmanvaihdon laskenta on esitetty kuvassa 9. Työkaluun syötetään ilmanvaihtokonekohtaisesti mitoitusilmavirrat, käyttöilmavirtakerroin (otetaan huomioon tarpeenmukainen ohjaus), vuorokautinen ja viikoittainen käyntiaika sekä erillisellä työkalulla (kuva 10) määritetty ilmanvaihtokonekohtainen LTO:n vuosihyötysuhde. Tuloksena saadaan poistoilmavirta ja LTO:n vuosihyötysuhde, jotka siirretään tasauslaskentalomakkeeseen.

² [http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamisaarayskokoelma/Suomen_rakentamisaarayskokoelma\(3624\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamisaarayskokoelma/Suomen_rakentamisaarayskokoelma(3624))

Rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta, D3-2012 (voimassa 1.7.2012 alkaen)

Apulaitteet, jolla voidaan laskea lämpöhäviöiden tasauslaskennassa tarvittavat keskimääräiset poistoilmavirrat ja ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhteet, kun rakennuksessa on useita ilmanvaihtokoneita ja niillä erilaisia käyttötapoja.							Rakennuskohde: Harjoitusjäähalli Rakennuslupatunnus: esimerkki Rakennustyyppi: Jäähalli Pääsuunnittelija: Arkkitehti Laskelman tekijä: Lämpötila Päiväys: 10.11.2014			
Taulukko 1. Poistoilman lämmöntalteenottovaatimuksen perustavat lämpimien tilojen ilmanvaihtokoneet Taulukko 2. Poistoilman lämmöntalteenottovaatimuksen perustavat kuulumattomat lämpimien tilojen ilmanvaihtokoneet Taulukko 3. Poistoilman lämmöntalteenottovaatimuksen perustavat kuulumattomat poistilämpimien tilojen ilmanvaihtokoneet Taulukko 4. Poistoilman lämmöntalteenottovaatimuksen perustavat kuulumattomat poistilämpimien tilojen ilmanvaihtokoneet							Poistoilmavirta, m ³ /s 1,464		TASAUSLASKENTA-LÖHMÄKÖESSEEN Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % 52,3%	
Taulukko 1. Lämpimät tilat							Poistoilmavirta, m ³ /s		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, %	
Kone	Palvelualue	Käyttötapa	Mitoitus-tuloilmavirta, m ³ /s	Mitoitus-poistoilmavirta, m ³ /s	Käyttö-ilmavirta-kerrain	Käyttöajan teeskimääräinen poistoilmavirta, m ³ /s	Käyttöaika, h	Käyttöaika, vuorokaudessa	Käyttöaika, % vuorokaudesta	Ilmanvaihtokoneen LTO:n vuosihyötysuhde, % (l _{a, yksiköni})
TK2	Sosiaalitilat (kuhti- ja pesuhuoneet)	Jatkuva	1	1	1	1,000	24	7	1,000	77 %
Emilispöytä, PF1	WC:n poistot	Jatkuva		0,4	1	0,400	24	7	0,400	0 %
Emilispöytä, PF2	Pöytähuone	Jatkuva		0,05	1	0,050	24	7	0,050	0 %
Emilispöytä, PF3	Keittiö, huuva	Tehostus		0,05	1	0,050	2	7	0,004	
						0,000			0,000	
						0,000			0,000	
						0,000			0,000	
						0,000			0,000	
						0,000			0,000	
						0,000			0,000	
						0,000			0,000	
						0,000			0,000	
						0,000			0,000	
						0,000			0,000	
						0,000			0,000	
						0,000			0,000	
						0,000			0,000	
						0,000			0,000	
						0,000			0,000	
						0,000			0,000	
						0,000			0,000	
						0,000			0,000	
						0,000			0,000	
						0,000			0,000	

Siirretään tasauslaskintaan

Kuva 9. Jäähallin lämpimien tilojen, tasauslaskennassa käytettävien, poistoilmavirran ja ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhteen laskenta.

Rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta, D3-2012 (voimassa 1.7.2012 alkaen)

Rakennuskohde	Harjoitusjäähalli
Rakennuslupatunnus	esimerkki
Rakennustyyppi	Jäähalli
Pääsuunnittelija	Arkkitehti
Laskelman tekijä	Lämpötila
Päiväys	10.11.2014

 Apulaitteet, jolla voidaan laskea lämpöhäviöiden tasauslaskennassa varten ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde (l_{a, yksiköni}) eri säävyöhykkeillä.

Kone	Palvelualue	Käyttötapa	Mitoitus-tuloilmavirta, m ³ /s	Mitoitus-poistoilmavirta, m ³ /s	Käyttö-ilmavirta-kerrain
TK2	Sosiaalitilat	Jatkuva	1	1	1

Tuloilman lämpötilasuhde yhtäsuurilla ilmavirroilla	0,80	SFS-EN 308:n mukaan
Tuloilman lämpötilasuhde	0,80	
Poistoilman lämpötilasuhde	0,80	
Tuloilmavirran suhde poistoilmavirtaan LTO:ssa	1,00	

Huonelämpötila	21,0 °C
Jäteilman minimilämpötila jäätymispuolauksessa	0,0 °C

Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde (l _{a, yksiköni})		
Säävyöhyke		
I (II) Helsinki-Vantaa TRY 2012 testivuosi	77 %	100 %
III Jyväskylä TRY 2012 testivuosi	75 %	98 %
IV Sodankylä TRY 2012 testivuosi	70 %	91 %

© Ympäristöministeriö, LTO-laskin 2012 (versio marraskuu 2011)

Kuva 10. Jäähallin lämpimien tilojen ilmanvaihtokoneen vuosihyötysuhteen laskentatyökalu. Säävyöhykkeelle I (II) määritetty vuosihyötysuhde siirretään lämpimien tilojen ilmanvaihdon vuosihyötysuhteen laskentatyökaluun.

Kuvassa 11. esitellään jäähallin lämpimien tilojen poistoilman lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuulumattoman oletetun akkukäyttöisen jäänhoitokoneen lataustilan erillispoiston poistoilmavirran laskenta. Koneen poistoilmavirta on määritetty akkukäyttöisten jäänhoitokoneiden käyttöturvallisuus -ohjeen (Hirsimäki 1999) mukaan. Poistoilmakone käy täydellä ilmavirralla (käyttöilmavirtakerroin) koko ajan (24 tuntia vuorokaudessa, 7 päivänä viikossa),

Rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta,
D3-2012 (voimassa 1.7.2012 alkaen)

Rakennuskohde	Harjoitusjäähalli
Rakennuslupatunnus	esimerkki
Rakennustyyppi	Jäähalli
Pääsuunnittelija	Arkkitehti
Laskelman tekijä	Lämmöt Talteen
Päiväys	10.11.2014

Aputaulukko, jolla voidaan laskea lämpöhäviöiden taseuslaskentaa varten
ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde ($\eta_{a, ivkone}$)
eri säävyöhykkeillä.

Kone	Palvelualue	Käyttötapa	Mitoitus- tuloilmavirta m ³ /s	Mitoitus- poistoilmavirta m ³ /s	Käyttö- ilmavirta- kerroin
TK1	Rata-alue	Päivä	5	5	0.5

Tuloilman lämpötilasuhde yhtäsuurilla ilmavirroilla	0,80	SFS-EN 308:n mukaan
Tuloilman lämpötilasuhde	0,80	
Poistoilman lämpötilasuhde	0,80	
Tuloilmavirran suhde poistoilmavirtaan LTO:ssa	1,00	

Huonelämpötila	8,0 °C
Jäteilman minimilämpötila jäätymissuojauksessa	0,0 °C

Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ($\eta_{a, ivkone}$)

Säävyöhyke		
I (I) Helsinki-Vantaa TRY 2012 testivuosi	63 %	100 %
III Jyväskylän TRY 2012 testivuosi	59 %	94 %
IV Sodankylä TRY 2012 testivuosi	49 %	77 %

© Ympäristöministeriö, LTO-laskin 2012 (versio marraskuu 2011)

Kuva 13. Rata-aluetta hoitavan ilmanvaihtokoneen vuosihyötysuhteen laskenta päiväkäytölle. Laskennassa on oletettu hallin lämpötilaksi +8 °C. Mitoitusilmavirralla valmistajan ilmoittamaksi tuloilman lämpötilasuhteeksi on oletettu 0,80.

Kuvassa 14 on esitetty rata-alueen ilmanvaihtokoneen vuosihyötysuhde yökäytöllä. Ilmanvaihtokoneen tuloilmanlämpötilahyötysuhde (0,75) yöaikaisella ilmavirralla saadaan koneen valmistajalta.

Rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta,
D3-2012 (voimassa 1.7.2012 alkaen)

Rakennuskohde	Harjoitusjäähalli
Rakennuslupatunnus	esimerkki
Rakennustyyppi	Jäähalli
Pääsuunnittelija	Arkkitehti
Laskelman tekijä	Lämmöt Talteen
Päiväys	10.11.2014

Aputaulukko, jolla voidaan laskea lämpöhäviöiden taseuslaskentaa varten
ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde ($\eta_{a, ivkone}$)
eri säävyöhykkeillä.

Kone	Palvelualue	Käyttötapa	Mitoitus- tuloilmavirta m ³ /s	Mitoitus- poistoilmavirta m ³ /s	Käyttö- ilmavirta- kerroin
TK1	Rata-alue	Yö	0.5	0.5	1

Tuloilman lämpötilasuhde yhtäsuurilla ilmavirroilla	0,75	SFS-EN 308:n mukaan
Tuloilman lämpötilasuhde	0,75	
Poistoilman lämpötilasuhde	0,75	
Tuloilmavirran suhde poistoilmavirtaan LTO:ssa	1,00	

Huonelämpötila	8,0 °C
Jäteilman minimilämpötila jäätymissuojauksessa	0,0 °C

Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ($\eta_{a, ivkone}$)

Säävyöhyke		
I (II) Helsinki-Vantaa TRY 2012 testivuosi	61 %	100 %
III Jyväskylän TRY 2012 testivuosi	57 %	95 %
IV Sodankylä TRY 2012 testivuosi	48 %	79 %

© Ympäristöministeriö, LTO-laskin 2012 (versio marraskuu 2011)

Kuva 14. Rata-aluetta hoitavan ilmanvaihtokoneen vuosihyötysuhteen laskenta yökäytölle. Laskennassa on oletettu hallin lämpötilaksi +8 °C. Yöaikaisella ilmavirralla valmistajan ilmoittamaksi tuloilman lämpötilasuhteeksi on oletettu 0,75.

6.2 Tasauslaskennan tarkistuslista

Kun tasauslaskentalomake on täytetty, työkalun toiselta sivulta löytyvään tarkistuslistaan tulostuu tietojen perusteella automaattisesti tarkastelun tulos (kuva 15).

Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskelma, D3-2012 (voimassa 1.7.2012 alkaen)

Rakennuskohde	Esimerkkiha
Rakennuskatunnus	12-34-56-78

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista (osa D3)			
Pinta-alat			
Vertailukunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuissa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- lämpimissä tiloissa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- puoliämpimissä tiloissa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Rakennusosien U-arvot			
U-arvot ovat enintään enimmäisarvojen suuruisia	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Rakennusvaipan ilmanpitävyys			
Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnitteluarvo on enintään enimmäisarvon suuruinen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- lämpimissä tiloissa	<input checked="" type="checkbox"/>	4	2.00
- puoliämpimissä tiloissa	<input checked="" type="checkbox"/>	4	2.00
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus			
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- lämpimissä tiloissa	<input checked="" type="checkbox"/>	1 375 W/K	1 153 W/K
- puoliämpimissä tiloissa	<input checked="" type="checkbox"/>	2 943 W/K	1 761 W/K
Tarkistuslistan yhteenveto			
Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Lisäselvitykset	
Rakennuksen ilmanpitävyys	
Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnitteluarvoa. Suunnitteluarvon valinnasta on esitettävä selvitys. Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$, mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä. Jos ilmanpitävyyttä ei osoiteta mittaamalla tai muulla menettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään arvoa $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$.	
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde	
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisestä on esitettävä selvitys. Rakennuksen ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde voidaan määrittää lämmöntalteenottolaitteen valmistajan ilmoittaman varmennetun vuosihyötysuhteen perusteella. Ohjeita vuosihyötysuhteen määrittämiseksi esitetään ympäristöministeriön monisteessa 122 ja tasauslaskentaoppaassa. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään osassa D3/2012 esitetyn säävyöhykkeen säätieläolla (Helsinki-Vantaa).	

Kuva 15. Tasauslaskimen 2. sivu. Toisella sivulla on yhteenveto määräystenmukaisuuden osoittamisesta. Tälle sivulle tulostuu tarkistuslista automaattisesti lomakkeen 1. sivulla annettujen tietojen perusteella.

7. Jäähallin kokonaisenergiankulutuksen laskenta

Rakennusten (mukaan lukien jäähallit) ostoenergiankulutus lasketaan ympäristöministeriön asetuksen 2/11 (Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D3 / 2012) mukaisesti. Rakennuksen ominaisuuksista laskennassa otetaan huomioon vaipan johtumislämpöhäviöt, vuotoilmanvaihto, ilmanvaihto, käyttöveden kulutus ja lämpökuormat (henkilöt, valaistus, laitteet) sekä auringon vaikutus energiantarpeeseen. Laskennassa otetaan huomioon myös järjestelmien energiankulutus: lämmönjaon lämpöhäviöt ja lämmöntuoton hyötysuhteet. Lisäksi otetaan huomioon esimerkiksi aurinkolämmön ja -sähkön tuotto.

Tässä luvussa on esitetty menettely, kuinka jäähallin voisi kirjoittajien mielestä laskea. Niiden muuttujien kohdalla, joissa on sallittu hallikohtaisia arvoja, olemme esittäneet tyypillisen arvon. Laskennan lähtökohtana on pidetty sitä, että jäähallin laskenta suoritetaan pelkälle rakennukselle eikä jäähallin kylmäprosessia oteta huomioon. Menettely tuntuu nopeasti arvioituna oudolta, mutta se on määräysten käytäntö myös vaikkapa paljon kylmälaitteita sisältävän liikerakennuksen kohdalla. Suositus siitä, että laskennassa ei oteta huomioon jään ylläpitoon ja hoitoon tai kosteuden hallintaan liittyvää energiankäyttöä, perustuu siihen, että näille asioille ei ole esitetty yleisesti hyväksyttyä laskentamenetelmää, eikä myöskään simulointiohjelmistojen viralliset versiot sisällä nykyisellään jäähalliproessin käsittelyä.

Määräyskokoelman osassa D3 määritellään eri rakennustyypeille laskennassa käytettävät lähtötiedot:

- 1) Sää tiedot.
 - Kokonaisenergiankulutus lasketaan Helsinki-Vantaan sää tiedoilla (vyöhyke I), jotka on määritetty D3:ssa
- 2) Sisäilmasto-olosuhteet
 - Jäähalleille ei ole asetuksessa määritelty sisäilmasto-olosuhteita, vaan niille saa käyttää suunnittelu arvoja
- 3) Rakennuksen ja sen järjestelmien käyttö- ja käyntiaikojen sekä sisäisten lämpökuormien lähtöarvot (rakennustyyppin standardikäyttö)
 - Jäähalleille ei ole asetuksessa määritelty standardikäyttöä, vaan niille saa käyttää suunnittelu arvoja
- 4) Lämmin käyttövesi
 - Jäähalleille ei ole esitetty ominaiskulutusta

Kokonaisenergiankulutus voidaan laskea validoiduilla dynaamisilla (ottaa huomioon rakenteiden lämmönvarauskyvyn ajasta riippuvana) laskentatyökaluilla. Jos rakennuksessa ei ole jäähdystä tai jäähdystä on vain yksittäisissä tiloissa, laskenta voidaan suorittaa myös kuukausitason laskentamenetelmillä. Tällainen kuukausitason menetelmä on esimerkiksi rakentamismääräyskokoelman osassa D5 esitetty laskenta. Jäähallin tapauksessa laskenta voidaan tehdä siis joko dynaamisilla laskentaohjelmilla tai kuukausitason laskentana.

Tässä hankkeessa suositellaan jäähalleille noudatettavan seuraavia periaatteita:

- Energialaskenta suoritetaan koko vuodelle riippumatta mikä on jäähallin todellinen käyttöaika
- Laskennassa ei oteta huomioon jään ylläpitoon ja hoitoon tai kosteuden hallintaan liittyvää energiankäyttöä. Tällöin myöskään kylmäkoneiden lauhdelämpöä ei laskennassa käsitellä
- Laskenta suoritetaan yhtenä tilana erittelemättä pukuhuoneita ym.
- Rakennuksessa olevia erikoistiloja kuten kahvioita, kuivaushuoneita ym. ei tarvitse käsitellä erikseen, vaan ne lasketaan muihin alueisiin kuuluvaksi. Tämä on D3:n laskentasäännöissä

- Teknisiä järjestelmiä, joita ei ole D3:ssa mainittu, kuten ammattikeittiöt, ulkovalaistus, hissit, sulatuskaapelit, ym ei oteta laskennassa huomioon
- Laskennan lähtötietoina käytetään D3:ssa liikuntahallille määriteltyjä tietoja
 - määräykset sallivat jäähallille myös suunnitteluarvojen käyttöä, joten myös suunnitteluarvoja voi käyttää
 - kumpikaan laskentatapa ei anna realistista kuvaa jäähallin kulutuksesta, joten kirjoittajien mielestä on suositeltavaa pitäytyä mahdollisimman yksinkertaisessa laskentatavassa ja tällöin liikuntahalleille annetut lähtötiedot ovat yksiselitteisiä ja lisäksi rakennuslupavaiheessa suunnittelutiedot ovat tarkentumatta

7.1 Laskennan lähtötiedot

Laskennan lähtötiedoista edellytetään esitettäväksi vähintään kuvassa 16 esitetyt tiedot.

Rakennuskohde				
Osoite				
Rakennuksen käyttötarkoitus				
Rakennusvuosi				
Lämmitetty nettoala	m ²			
Ilmanvuotoluku q ₅₀	m ³ /(h m ²)			
Rakennusvaipan umpiosat	A m ²	U W/(m ² K)	U A W/K	%
Ulkoseinät				
Yläpohja				
Alapohja				
Ikkunat				
Ulko-ovet				
Kylmäsiilat				
Ikkunat ilmansuunnittain	A m ²	U W/(m ² K)	g-arvo -	
Pohjoinen				
Koillinen				
Itä				
Kaakko				
Etelä				
Lounas				
Länsi				
Luode				
Ilmanvaihtojärjestelmä	Ilmavirta tulo/poisto (m ³ /s) / (m ³ /s)	Järjestelmän SFP-luku kW/(m ³ /s)	LTO:n lämpötila- suhde -	Jäätymisen esto °C
Pääilmanvaihtokoneet				
Erillispoistot				
Ilmanvaihtojärjestelmä				
Lämmitysjärjestelmä	Tuoton hyötysuhde -	Lämmitysjärj. hyötysuhde -	Lämpökerroin ¹ -	Apulaitteiden sähkönkäyttö ² W
Tilojen ja iv:n lämmitys LKV:n valmistus				
¹ vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle				
² lämpöpumppujärjestelmissä voi sisältyä lämpöpumpun vuoden keskimääräiseen lämpökertoimeen				
Jäähdytysjärjestelmä	Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin, -			
LKV:n käyttö	m ³ /(m ² a)	yhteensä m ³ /a		
Sisäiset lämpökuormat	Henkilöt W/m ²	Kuluttajalaitteet W/m ²	Valaistus W/m ²	Käyttöaste -
Päiväys	Allekirjoitus	Nimen selvennys		

Kuva 16. Esimerkki laskennan lähtötietojen esittämisestä (Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3/2012). Punaisella ympyröidyt kohdat ovat hieman epäselviä ja niitä selvennetään tekstissä.

Jäähallin tapauksessa, lähtötietolomakkeen minim tiedot eivät ole riittäviä jos osa laskennan tiedoista perustuu suunnittelu-arvoihin. Tästä syystä lähtötietoihin tulisi lisätä ainakin seuraavat suunnittelutiedot:

- 1) Hallin sisälämpötila
- 2) Käyttöaika, jolloin sisäiset lämpökuormat vaikuttavat (kellonaika, käyttöajat h/24h ja d/7d)
- 3) Sisäisten lämpökuormien käyttöaste

7.1.1 Ilmanvuotoluku

Kuten aiemmin todettiin (kappale 6), jäähallin suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa voidaan käyttää vaipan ilmanvuotolukuna arvoa $q_{50}=4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Tällöin ilmanpitävyyttä ei tarvitse erikseen osoittaa. Pienempää ilmanvuotolukua voidaan käyttää, jos ilmanpitävyys osoitetaan jälkikäteen esimerkiksi mittaamalla tai muulla menettelyllä. Kokemuksemme mukaan jäähallissa tavoiteltava ilmanvuotoluku on $q_{50}=1,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$.

Ilmavuodot kasvattavat lämmitystarvetta ja lisäävät hallin kuivaustarvetta.

7.1.2 Rakennusvaipan umpiosat ja ikkunat

Rakennusvaipan U-arvot ja pinta-alat saadaan suunnitelmista ja niitä käytettiin jo edellä lämpöhäviölaskennassa.

Ikkunoiden osalta energialaskennassa tarvitaan tarkempia tietoja kuin mitä lämpöhäviölaskennassa. Ikkunat listataan ilmansuunnittain (vaikuttaa ikkunasta tulevaan auringon säteilyenergiaan). Uutena parametrina tarvitaan ikkunoista g-arvo. Auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin, g-arvo, kertoo kuinka hyvin ikkuna hyödyntää auringon säteilyenergiaa. Tämä tieto saadaan ikkunatoimittajalta.

7.1.3 Ilmanvaihto

Käyttöajan ilmavirta

Jäähallille ei ole määritelty käyttöajan standardi-ilmanvaihtoa, vaan ulkoilmavirralla voidaan käyttää suunnitteluarvoa. Kirjoittajien mielestä on suositeltavaa käyttää liikuntahallille annettua ulkoilmavirtaa $2 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2)$.

Suunnitteluarvo määritellään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 perusteella ja määritellään tiloittain. Hallipuolen ulkoilmavirran suunnitteluarvo on käytännössä joko lattiapinta-alaan perustuva ($2 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2)$) tai maksimitilanteen henkilömäärään perustuva ($8 \text{ dm}^3/(\text{s hlö})$). Näistä valitaan suuremman ulkoilmavirran antava mitoitus. Henkilömäärään perustuvaan mitoitukseen ajaututaan kun katsomon koko on suunnilleen 500 henkilöä tai enemmän.

Ilmanvaihdon käyttöaikana käytetään hallin aukioloaikoja siten, että ilmanvaihto käynnistyy tuntia ennen hallin käyttöajan alkua ja siirtyy käyttöajan ulkopuoliseen tilaan 1 tunti aukioloajan päättymisen jälkeen (D3 kohta 3.3.7)

Tarpeenmukaisella ohjauksella (ohjaus esimerkiksi hiilidioksidipitoisuuden tai kosteuden perusteella) varustetuissa tiloissa voidaan laskennassa käytettävissä ulkoilmavirroissa ottaa huomioon todellinen käyttö. Tämä voidaan simulointityökaluja käytettäessä toteuttaa mallintamalla esimerkiksi hiilidioksidipitoisuuden mukaan ohjattu ilmanvaihtokone ja määrittelemällä todellista käyttöä vastaava profiili henkilökuormalle. Laskennassa käytetyt ohjaussuureet ja käyttöprofiilit on syytä dokumentoida ja laskea niistä keskimääräinen käyttöaste, joka pitää ilmoittaa lähtötietolomakkeella. Keskimääräisen käyttöasteen ja mitoitusilmavirran käyttö ei saa alittaa käyttöajan ulkopuolista vähimmäisilmavirtaa.

Ilmavirta käyttöajan ulkopuolella

Käyttöajan ulkopuolella laskennassa käytetään ulkoilmavirtana vähintään $0,15 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2)$, (D3 kohta 3.2.2).

Lähtötietotaulukkoa voi laajentaa ja käsitellä ilmanvaihtokoneita erikseen sekä ilmoittaa ilmavirrat konekohtaisesti sekä käyttöjaksolle että käyttöjakson ulkopuoliselle ajalle erikseen. Tällöin myös SFP-luvut, LTO:n lämpötilasuhteet samoin kuin jäätymisen esto lämpötilat ilmoitetaan konekohtaisesti ja mahdollisuuksien/tarpeen mukaan eritellään päivä- ja yökäytölle.

Järjestelmän SFP- luku

Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho (SFP) saa olla enintään $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Koneellisen poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho (SFP) saa olla enintään $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$, (D3 kohta 2.6.1.1). On huomattava, että SFP- vaatimus on esitetty järjestelmille eikä yksittäisille koneille. Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon määrittäminen on esitetty Rakennustiedon julkaisemassa ohjeessa LVI 30-10529.

Tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho (SFP) on rakennuksen kaikkien tulo- ja poistoilmakoneiden puhaltimien yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähköteho (kW) jaettuna koneiden yhteenlasketulla tulo- tai poistoilmavirralla (m^3/s), suuremmalla näistä. Puhaltimien sähköverkosta ottama sähköteho sisältää puhaltimien moottorien sähkötehon lisäksi mahdollisten taajuusmuuttajien ja muiden tehonsäätölaitteiden tehot.

Erillispoistojen ominaissähköteho on rakennuksen kaikkien erillispoistojen puhaltimien sähköverkosta ottama yhteenlaskettu sähköteho jaettuna puhaltimien yhteenlasketuilla mitoitusilmavirtaamilla. Puhaltimien sähköverkosta ottama sähköteho sisältää puhaltimien moottorien sähkötehojen lisäksi mahdollisten taajuusmuuttajien ja muiden tehonsäätölaitteiden sähkötehon.

Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho SFP on rakennuksen koko ilmanvaihtojärjestelmän kaikkien puhaltimien yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähköteho (kW) jaettuna ilmanvaihtojärjestelmän koko mitoitusjäteilmavirralla tai mitoitusulkoilmavirralla (m^3/s), suurempi näistä. Ilmanvaihtojärjestelmän sähköverkosta ottama sähköteho sisältää puhaltimien moottorien sähkötehon lisäksi mahdollisten taajuusmuuttajien ja muiden tehonsäätölaitteiden sähkötehon. Ilmanvaihtojärjestelmä käsittää rakennuksen kaikki tulo- ja poistoilmakoneet sekä erillispoistot.

Sähkötehot määritellään mitoitusvirtaamilla. Muuttuvan ilmavirran järjestelmässä SFP-luku määritellään mitoittavalla ilmavirralla ottamatta huomioon mahdollisia eroavuuksia tilojen käyttöajoissa ja ilmavirroissa.

LTO:n lämpötilasuhde

Osassa D3 määrätään, että rakennuksen poistoilmasta on otettava lämpöä talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. Tämä vaatimuksen mukaisuus osoitetaan jo tasauslaskennassa, jossa määritellään ilmanvaihtojärjestelmän vuosihyötysuhde.

Taulukon otsikosta ei käy ilmi kumpaa lämpötilasuhdetta (tuloilman vai poistoilman) tarkoitetaan, eikä tätä ole selvennetty asiakirjoissa. Usein lämpötilasuhteesta puhuttaessa tarkoitetaan tuloilman lämpötilasuhdetta, jota voinee siis käyttää tässäkin. Laskettaessa ilmanvaihdon lämmitysenergiantarvetta, suoritetaan laskenta ilmanvaihtokoneittain, ja esimerkiksi määräyskokoelman osan D5 laskentamenetelmässä käytetään konekohtaista vuosihyötysuhdetta. Yksittäisen ilmanvaihtokoneen ja koko rakennuksen

ilmanvaihtojärjestelmän vuosihyötysuhteen laskenta käydään läpi tämän raportin kohdassa 6.

Jäätymisen esto

Ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaitteen poistoilman lämpötilaa rajoitetaan kylmimpinä jaksoina. Tällä estetään poistoilmakanavan umpeen jäätyminen. Olosuhteista (=rakennustyyppistä) ja käytetystä tekniikasta riippuen jäätymisen eston lämpötilaraja voi vaihdella muutamasta plusasteesta aina muutama pakkasasteeseen (esimerkiksi +5 ... -10 °C). Tämän arvon saa ilmanvaihtokoneen toimittajalta.

Jäätymisen esto rajoittaa lämmöntalteenottoa kylmimpien jaksojen aikana ja vaikuttaa ilmanvaihdon vuosihyötysuhteeseen ja ilmanvaihdon lämmitysenergiantarpeeseen. Jäätymisen eston vaikutusta vuosihyötysuhteeseen on käsitelty tässä raportissa kohdassa 5.

7.1.4 Lämmitysjärjestelmä

Tässä lomakkeen kohdassa on taulukkoa tarpeen mukaan täydennettävä lisäämällä rivejä sen mukaan kuin rakennuksessa käytetään eri lämmöntuottomuotoja ja/tai lämmönjakojärjestelmiä.

Rakentamismääräyskokoelman osassa D5 annetaan yleisimpien lämmöntuottojärjestelmien vuosihyötysuhteita ja sähkönkäytön tunnuslukuja, joita voi käyttää siinä tapauksessa, että parempaa tietoa ei ole saatavilla. Lämmöntuoton ja lämmönjaon vuosihyötysuhteiden laskenta on esitetty ympäristöministeriön oppaassa "Lämmitysjärjestelmien laskentaopas 2012", joka löytyy sähköisessä muodossa ympäristöministeriön nettisivuilta.

Ongelmana lämmitysjärjestelmän käsittelyssä on, että D3 eikä liioin D5 tunne lauhdelämpöä. Tässä raportissa ehdotetaan, että E-luvun laskennassa ei oteta huomioon jään ylläpidon energiavaikutuksia ja sen mukaan on linjassa, että myöskään lauhdetta ei laskennassa käsitellä ollenkaan. Tällöin oletetaan, että lämmöntarve tuotetaan kokonaisuudessaan varsinaisella / varalämmitysjärjestelmällä.

Lämmöntuoton hyötysuhde

Lämmöntuoton hyötysuhteella tarkoitetaan vuosihyötysuhdetta. Lämmöntuoton hyötysuhde vaihtelee kuormituksen mukaan: usein osakuormituksella hyötysuhde on huonompi kuin mitoituskuormituksella. Eri lämmöntuottomuotojen vuosihyötysuhteita ja jopa kuukausihyötysuhteita löytyy rakentamismääräyskokoelman osasta D5.

Lämmitysjärjestelmän hyötysuhde

Otsikosta huolimatta tässä tarkoitetaan ilmeisesti lämmönjaon hyötysuhdetta. Lämmönjaon vuosihyötysuhteita löytyy rakentamismääräyskokoelman osasta D5.

Lämpökerroin

Tähän taulukon kohtaan annetaan lämpöpumpun vuosilämpökerroin (SPF- luku), jos rakennusta lämmitetään jollain lämpöpumpulla. Lämpöpumppujen SPF- lukuja on annettu rakentamismääräyskokoelman osassa D5.

Apulaitteiden sähkönkäyttö

Apulaitteiden sähkönkäytöllä tarkoitetaan esimerkiksi lämmönjaon pumppujen ja lämmitysjärjestelmän automaatiojärjestelmien sähkönkäyttöä.

Rakentamismääräyskokoelman osassa D5 on annettu ohjeellisia sähkön ominaiskulutuslukuja eri lämmönjakotavoille ja eri lämmöntuottotavoille.

7.1.5 Jäähdytysjärjestelmä

Jos jäähallissa on tilojen jäähdytystä, niin tähän annetaan jäähdytysjärjestelmän vuotuinen kylmäkerroin, joka sisältää myös jäähdytysverkoston lämpöhäviöt.

Rakentamismääräyskokoelman osassa D5 on esitetty yksinkertaistettu menetelmä kylmäkerroimen määrittämiseksi. Menetelmä soveltuu vain tilojen jäähdytysjärjestelmien käsittelyyn ja annetut ohjeelliset kylmäkerroimet ja häviökerroimien arvot eivät sovellu jäähallin kylmäprosessin laskentaan.

7.1.6 LKV:n käyttö

Jäähalleille ei ole annettu määräyskokoelman osassa D3 käyttöveden ominaiskulutusta, ja kulutuksena voidaan käyttää suunnitteluarvoa. Jos jäänhoitoa ei laskennassa oteta huomioon, niin on perusteltua käyttää liikuntahalleille annettua ominaiskulutusta $343 \text{ dm}^3/(\text{m}^2 \text{ a})$.

7.1.7 Sisäiset lämpökuormat

Jäähalleille ei ole määräysten osassa D3 annettu sisäisiä lämpökuormia, ja näille voidaan siis käyttää suunnitteluarvoja. Laskennassa suositellaan käytäväksi D3:ssa annettuja liikuntahallin ominaislukuja. Myös liikuntahallin käyttöajat ja käyttöaste soveltuvat hyvin laskentaan.

Henkilöt

Ihmisille D3:ssa annetaan ominaislämpökuormaksi 5 W/m^2 tai vaihtoehtoisesti henkilötiheydeksi $1/17 \text{ hlö/m}^2$. Henkilötiheyden mukaan laskien tämä tarkoittaa 2500 m^2 hallissa kokonaishenkilömäärää 147 hlö . Kun vielä liikuntahallille D3:ssa annettu käyttöaste $0,5$ otetaan huomioon, saadaan keskimääräiseksi käyttöajaksi henkilökuormaksi 74 henkilöä.

Kuluttajalaitteet

Kuluttajalaitteiden ominaisteho D3:ssa liikuntahallille on 0 W/m^2 . Tämä on myös harjoitusjäähalleille hyvä arvo.

Valaistus

Valaistukselle D3:ssa annetaan ominaislämpökuormaksi 12 W/m^2 . Tämä antaa harjoitusjäähalleille kohtuullisen totuudenmukaisen kokonaistehon perinteistä valaistustekniikkaa käytettäessä, 30 kW maksimiteho hallissa, jonka pinta-ala on 2500 m^2 . Keskimääräistä tehoa laskettaessa on vielä otettava huomioon käyttöaste (liikuntahalleille $0,5$), jolloin keskimääräinen valaistuksen teho on edellä esitettyssä esimerkissä 15 kW .

D3:ssa annetaan mahdollisuus määrittää valaistuksen lämpökuorma myös tarkemmin ottaen huomioon tarpeenmukaisen valaistuksen ohjaus ja parempi valaistustekniikka (esimerkiksi LED-valaistus). Valaistuksen tarpeenmukaisen ohjauksen laskennassa käytetyn mallin on oltava tilakohtainen ja keskimääräistä tehoa laskettaessa käytetään D3:ssa liikuntahalleille annettuja käyttöaikoja. Valaistustekniikan vaikutus keskimääräiseen tehoon voidaan määrittää ottaen huomioon jäähallien valaistustasovaatimukset (Jäähallien valaistusohje 2014).

7.2 Laskenta

Jäähallin ostoenergiatarve lasketaan esimerkiksi rakentamismääräyskokoelman osassa D5 esitetyllä menetelmällä tai jollain hyväksytyllä simulointiohjelmalla. Laskennassa otetaan

huomioon vaipan lämpöhäviöt kylmäsiltoineen, vuotoilma, ilmanvaihto, sisäisistä lämpökuormista ja auringon lämpösäteilyistä lämmityksessä hyödynnettävä osuus, lämpimän käyttöveden lämmitystarve sekä lämmönjako- ja lämmöntuottojärjestelmän lämpöhäviöt. Lisäksi otetaan huomioon rakennuksessa hyödynnettävät uusiutuvat energiat (esimerkiksi aurinkolämpö, aurinkosähkö). Kuten aiemmin todettiin, niin laskennassa ei ole suositeltavaa ottaa huomioon kylmäprosessia eikä ilman kuivausta.

Laskennassa eri energiamuotoja käsitellään erikseen ja ostoenergian kokonaiskulutus lasketaan summaamalla energiamuotokertoimella painotetut ostoenergiat. Energiamuotokertoimina on käytettävä määräyskokoelman osassa D3 annettuja kertoimia.

Laskennan tulostuksessa on esitettävä ainakin kuvassa 17 esitetyt tiedot (Suomen rakentamismääräys osa D3/2012).

Rakennuskohde			
Osoite			
Rakennuksen käyttötarkoitus			
Rakennusvuosi			
Lämmitetty nettoala		m ²	
E-luku		kWh/(m ² a) (kWh lämmitettyä nettoalaa kohti)	
E-luvun erittely	Ostoenergia	Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertomella painotettu energiankulutus
	kWh/a	-	kWh/a kWh/(m ² a)
Sähkö		1,7	
Kaukolämpö		0,7	
Kaukojäähdytys		0,4	
Uusiutuva polttoaine		0,5	
Fossiilinen polttoaine		1	
Yhteensä		-	
Uusiutuva omavaraisenergia	kWh/a	kWh/(m ² a)	
Aurinkosähkö			
Aurinkolämpö			
Tuulisähkö			
Lämpöpumpun lämmönlähteestä ottama energia			
Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus	Sähkö kWh/(m ² a)	Lämpö kWh/(m ² a)	Kaukojäähdytys kWh/(m ² a)
Lämmitysjärjestelmä			
• Tilojen lämmitys ¹			
• Tuloilman lämmitys			
• Lämpimän käyttöveden valmistus			
Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus			
• Jaähdytysjärjestelmä			
• Kuluttajalaitteet ja valaistus			
Yhteensä			
¹ Ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen			
Energian nettotarve	kWh/a	kWh/(m ² a)	
Tilojen lämmitys ²			
Ilmanvaihdon lämmitys ³			
Lämpimän käyttöveden valmistus			
Jaähdytys			
² sisältää vuotoilman korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa			
³ ja skattu lämmönlähteenoton kanssa			
Lämpökuormat	kWh/a	kWh/(m ² a)	
Aurinko			
Ihmiset			
Kuluttajalaitteet			
Valaistus			
Laskentatyökalun nimi ja versionumero			
Päiväys	Allekirjoitus	Nimen selvitys	

Kuva

17. Esimerkki laskennan tulosten esittämisestä (Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3/2012).

8. Lämmitysteho mitoitustilanteessa

Lämmitystehontarve mitoitetaan siten, että suunnitellut lämpöolot voidaan ylläpitää rakentamismääräyskokoelman osassa D3 esitetyillä jäähallin rakentamisaikakunnasta riippuvalla mitoitussuorituslämpötilalla. Lämmitystehoa laskettaessa otetaan siis huomioon rakentamisaikakunta toisin kuin E-lukua laskettaessa, joka lasketaan aina Helsinki-Vantaan säätiedoilla.

Lämmitystehon määrittämisessä ei oteta huomioon sisäisiä lämpökuormia (laitteet, henkilöt) eikä auringon lämpösäteilyä. Laskenta voidaan tehdä esimerkiksi rakentamismääräyskokoelman osan D5 menetelmällä tai hyväksyttävällä simulointiohjelmalla. Jäähallille suositellaan käytettäväksi D3:ssa liikuntahallille annettua sisäilman lämpötilaa + 18 °C.

Lämmitystehontarpeet lasketaan yleensä tiloittain. Kun jään ylläpitoa ja hallin ilman kuivaustarvetta ei laskennassa oteta huomioon, hallille laskettu lämmitystehontarve ei vastaa todellista tarvetta.

9. Energiankäytön mittaus

Rakentamismääräyksissä osassa D3 edellytetään, että rakennukset varustetaan mittauksilla siten, että eri energiamuotojen käyttö voidaan selvittää.

Mittaukset sisältävät vähintään kokonaisenergiankulutuksien mittaukset eli sähkön ja mahdollisten eri ostoenergiankulutusten mittaukset.

Sähköenergiankulutuksen mittaus on suositeltavaa toteuttaa seuraavasti:

- Päämittaus
- Kylmäkoneiston sähkönkäyttö
- Mahdollisen erillisen ilmankuivauslaitteiston sähkönkäyttö
- Ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkäyttö niin, että ilmanvaihdon ominaissähköteho (SFP-luku) voidaan määrittää (edellyttää myös ilmavirtojen mittausta).
- Valaistuksen sähkönkäyttö eriteltynä ratavalaisukseen ja muuhun valaistukseen
- Mahdollisen tilojen jäähdytysjärjestelmän sähkönkäyttö (harjoitushalleissa tilojen jäähdytystä ei ole)
- Lämmöntuottojärjestelmän sähkönkäyttö esimerkiksi lämpöpumppuratkaisuissa

Lämmitysenergiankulutuksen mittaus voitaisiin toteuttaa seuraavasti:

- Päämittaus eri energiamuodoista
- Lämpimien tilojen lämmitysenergiankulutus
- Puolilämpimien tilojen (=halli) lämmitysenergian tarve
- Lämpimän käyttöveden kokonaiskulutuskulutus ja jäähoidon kulutus erillismittauksena
- Ilmanvaihdon lämmitysenergiankulutus
- Erillisen ilmankuivaimen lämmitysenergiankulutus

10. Optimaalinen vaipan eristys

Hankkeen yhteydessä tehdyssä diplomityössä mallinnettiin jäähallin vaipparakenteen merkitystä jäähallin energiantarpeeseen. Mallinnustyökaluina käytettiin EQUA Simulation Ab:n kehittämää *IDA Indoor Climate and Energy*-ohjelmistoa ja *Ice Rinks and Tools* -

lisäosaa. Vaipan energiaoptimaalinen U-arvo määritettiin MOBO-ohjelmalla, joka mahdollistaa optimiarvojen löytämisen valituilla muuttujilla suuresta yhdistelmäjoukosta. Energiaoptimaalisimmalla U-arvolla tarkoitetaan tässä sitä arvoa, jolla jäähallin vuotuinen laskennallinen ja yhteenlaskettu lämmitysenergiantarve, jääradan jäähdytysenergiantarve ja halliosan ilmanvaihdon jäähdytys- ja lämmityspatterien energiantarve on pienin. Lämmitysenergiantarpeeseen lasketaan sekä jääradan sisältävän puolilämpimän hallitilan että lämpimien sosiaalitilojen lämmitysenergia.

10.1 IDA-ICE simulointien lähtöarvot

Tutkimuksessa muuttujina olivat ulkoseinien ja yläpohjan lämmöneristepaksuus, jääradan sisältävän puolilämpimän halliosan lämpötila ja halliosan sisäpintojen emissiviteetti. Taulukossa 1 on esitetty simuloinneissa käytetyt parametrit ja niille käytetyt vaihteluvälit.

Taulukko 1. Simuloinneissa käytetyt parametrit.

Parametrit	
Paikkakunta	Helsinki-Vantaa
Vaipan U-arvot	Ulkoseinä: 0,07-1,26 W/(m ² K), yläpohja: 0,05-1,02 W/(m ² K)
Vaipan ilmanvuotoluku	2 m ³ /(h m ²)
Kylmäsiilat	IDA ICE -ohjelmiston tarjoamat normaalitason arvot
Vaipan sisäpinnan emissiviteetti	0.1 tai 0.9
Hallin geometria	Puolilämmin tila 2432 m ² ja lämmin tila 483 m ²
Puolilämpimän halliosan lämpötilat	+4 °C, +6 °C, +8 °C, +10 °C tai +12 °C
Kylmäkoneiston kylmäkertoimet hallin lämpötilan mukaisessa järjestyksessä	COP: 3,06, 3,01, 2,96, 2,91 ja 2,86

Parametrien eri yhdistelmistä rakennettiin IDA ICE -ohjelmaan versiopuu, jolla kaikki vaihtoehdot laskettiin. Simulointeja vertailtiin keskenään pinta-alalla painotetun U-arvon avulla, joka laskettiin kaavalla x. Kunkin versiopolun päätapauksena on Raaseporin jäähallin ulkoseinän ja yläpohjan U-arvon omaava simulointitapaus, jonka painotetuksi U-arvoksi saatiin 0,14 W/(m²K).

$$U_{\text{painotettu}} = \frac{A_{US}}{A_{\text{vaippa}}} U_{US} + \frac{A_{YP}}{A_{\text{vaippa}}} U_{YP} \quad (x)$$

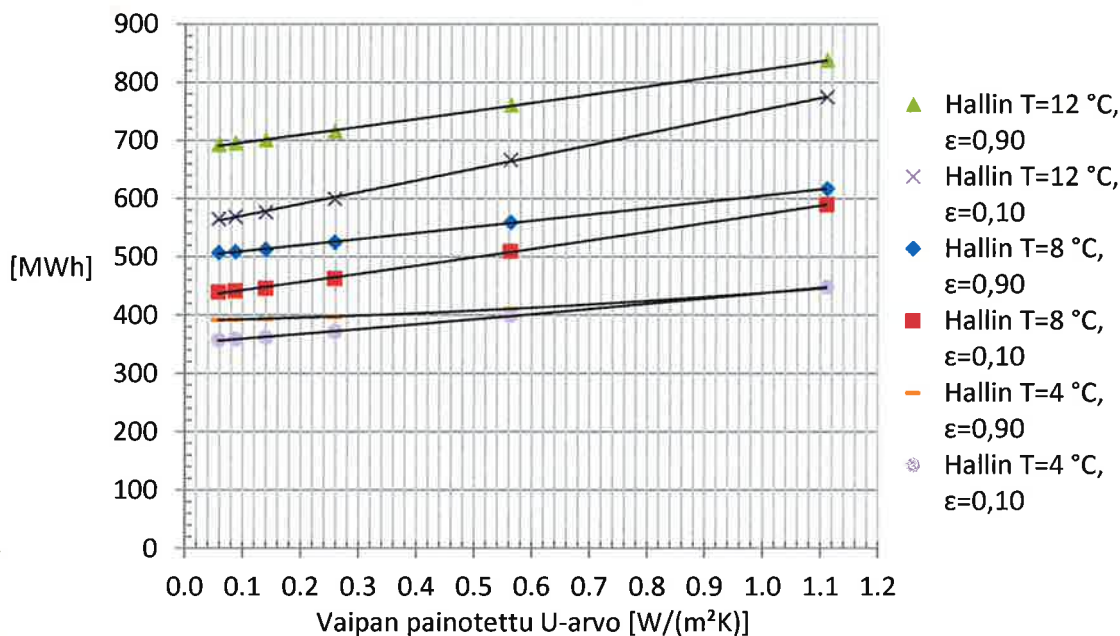
missä,

A_{US}	ulkoseinän pinta-ala, 1853 m ²
A_{YP}	yläpohjan pinta-ala, 3046 m ²
A_{vaippa}	vaipan pinta-ala, 4899 m ²
U_{US}	ulkoseinän U-arvo (W/ m ² K)
U_{YP}	yläpohjan U-arvo (W/ m ² K)

10.2 Eristyksen vaikutus hallin lämmitysenergian tarpeeseen

Simulointituloksista (kuva 18) nähdään, että mitä pienempi vaipan U-arvo on, sitä vähemmän se tarvitsee energiaa vuodessa tilojen lämmitykseen. Toisaalta lämmitysenergiantarpeen ero heikosti ja hyvin eristettyjen hallien tapauksissa pienenee mitä alhaisempi halliosan mitoituslämpötila on. Esimerkiksi jäähallin, jonka lämpötila on 12 °C, sisäpintojen emissiviteetti 0,9 ja vaipan painotettu U-arvo 1,11 W/(m²K), halliosan vuotuinen lämmitystarve on noin 20 % suurempi kuin kyseisen versiopolun päätapauksen. Kun

verrataan kahta vastaavaa tapausta 4 °C hallissa, niin heikoimmin eristetyn jäähallin halliosan vuotuinen lämmitysenergiantarve on 13,5 % suurempi kuin päätapausten. Tästä nähdään selvästi, että mitä alhaisempi jäähallin halliosan mitoitustilämpötila on, sitä vähemmän merkitystä vaipan lämmöneristävyydellä on. Kuvassa 18 havainnollistetaan hallin lämpötilan (12 °C, 8 °C ja 4 °C) vaikutusta halliosan lämmitysenergiantarpeeseen eri U-arvotasolla kuuden versioipolun tapauksessa. Kuvasta 18 nähdään, että hallin sisäpintojen matalaemissiviteettipinnoitteen avulla pystytään myös pienentämään halliosan lämmitysenergiantarvetta. Esimerkiksi halliosan mitoitustilämpötilan ollessa 12 °C matalaemissiviteettipinnoite vähentää lämmitysenergiantarvetta noin 18 % päätapausten välillä. Matalaemissiviteettipinnoitteen avulla saavutettava lämmitysenergiensäästö kuitenkin pienenee mitä kylmemmästä hallista on kyse. Lisäksi pinnoitteen vaikutus halliosan lämmitysenergiantarpeeseen pienenee mitä suurempi vaipan U-arvo on. Toisaalta suurimman U-arvon omaavan, 12 °C hallin tapauksessa pinnoite pienentää halliosan lämmitysenergiantarvetta vielä 8 %.

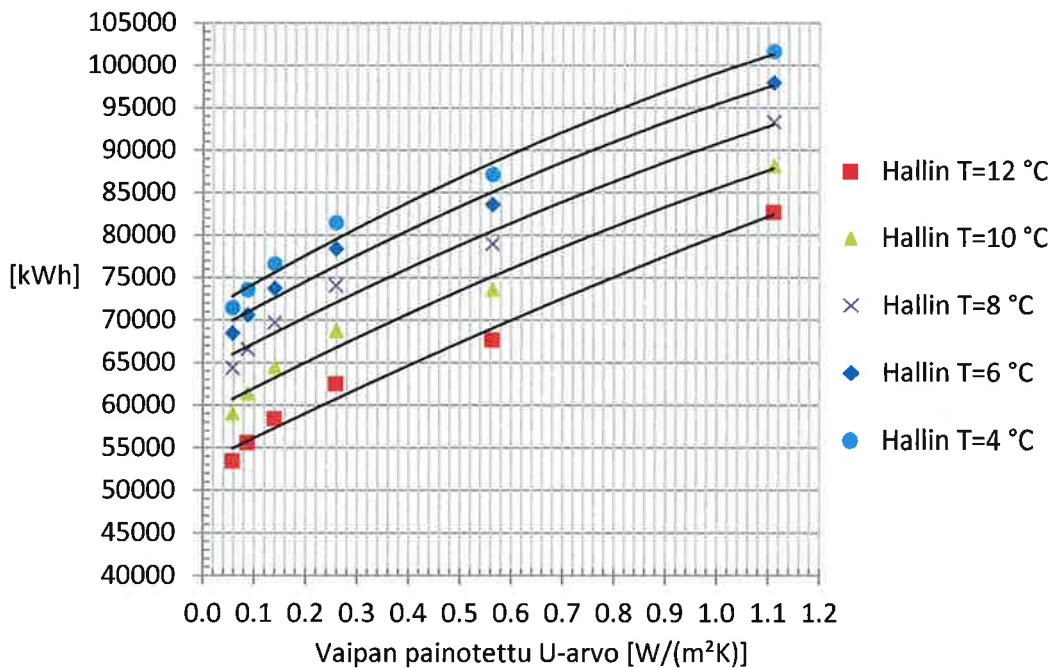


Kuva 18. Halliosan vuotuinen lämmitysenergiantarve vaipan U-arvon funktiona kolmella eri sisälämpötilalla matalaemissiviteettipinnoitteen kanssa ($\epsilon=0,10$) ja ilman sitä ($\epsilon=0,90$).

Vaipan U-arvon vaikutus jäähallin kuukausikohtaiseen lämmitysenergiantarpeeseen on myös merkittävä. Heikoimmin eristetyn hallin tapauksessa lämmitysenergiantarve on kylmänä vuodenaikana huomattavasti suurempi kuin muiden simulointitapausten, mutta lämpimänä vuodenaikana kyseisen hallin lämmitysenergiantarve on puolestaan pienin. Kun tarkastellaan esimerkiksi mitoitustilämpötilaltaan 12 °C:n, normaalipintaisen halliosan kuukausikohtaista lämmitysenergiantarvetta, huomataan, että jopa heikoimmin eristetyn hallin tapauksessa hallia joudutaan lämmittämään myös lämpimänä vuodenaikana jääradan takia, jotta halliosan sisäilman lämpötila ja kosteus pysyy vaaditulla tasolla.

Jäähallin halliosan mitoitustilämpötila vaikuttaa myös sosiaalitilojen lämmitysenergiantarpeeseen kuten kuva 19 osoittaa. Halliosan ja sosiaalitilojen välisen seinärakenteen U-arvo oli vakio 0,47 W/(m²K). Tuloksista on helposti nähtävissä, että mitä kylmempi halliosan lämpötila on, sitä suurempi on sosiaalitilojen eli puku- ja pesuhuoneiden, kahvion, käytävien ja varastotilojen yhteenlaskettu lämmitysenergiantarve. Esimerkiksi, kun verrataan 12 °C:sta ja 10 °C:sta hallia keskenään, niin nähdään, että jo kahden celsiusasteen pudotus kasvattaa sosiaalitilojen lämmitysenergiantarvetta hiukan yli 10 %. 4 °C:ssa hallissa sosiaalitilojen lämmitysenergiantarve oli jo lähes 32 % suurempi verrattuna 12 °C halliin.

Tulosten perusteella yhden celsiusasteen muutos halliosan mitoituslämpötilassa kasvattaa sosiaalitulojen lämmitysenergiantarvetta keskimäärin noin 4 %. Lisäksi vaipan U-arvon kasvaessa myös sosiaalitulojen vuotuinen lämmitysenergiantarve luonnollisesti kasvaa. Esimerkiksi 12 °C hallissa päätapausten ja heikoimmin eristetyin simuloitintapauksen lämmitysenergiantarpeen ero oli yli 30 %. Toisaalta sosiaalitulojen lämmitysenergiantarve on kuitenkin suhteessa vähäistä verrattuna halliosan lämmitysenergiantarpeeseen. Esimerkiksi 12 °C jäähallissa sosiaalitulojen lämmitysenergiantarpeen osuus oli vain noin 8 % ja 4 °C hallissa hiukan yli 16 % kokonaislämmitysenergiantarpeesta. Halliosan matalaemissiviteettipinnoitteella ei simuloitintulosten perusteella näytä olevan vaikutusta sosiaalitulojen lämmitysenergiantarpeeseen.



Kuva 19. Halliosan mitoituslämpötilan vaikutus sosiaalitulojen lämmitysenergiantarpeeseen vaipan U-arvon funktiona.

10.3 Eristyksen vaikutus ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutukseen

Simuloitintulosten perusteella voidaan todeta, että vaipan U-arvolla on vaikutusta myös halliosan ilmanvaihdon lämmitys- ja jäähdytyspatterien energiantarpeeseen. Jäähallimalliin rakennettua jääradan sisältävän halliosan ilmanvaihtokoneistoa ohjattiin poistoilmasta mitattavan hiilidioksidipitoisuuden ja suhteellisen kosteuden mukaan.

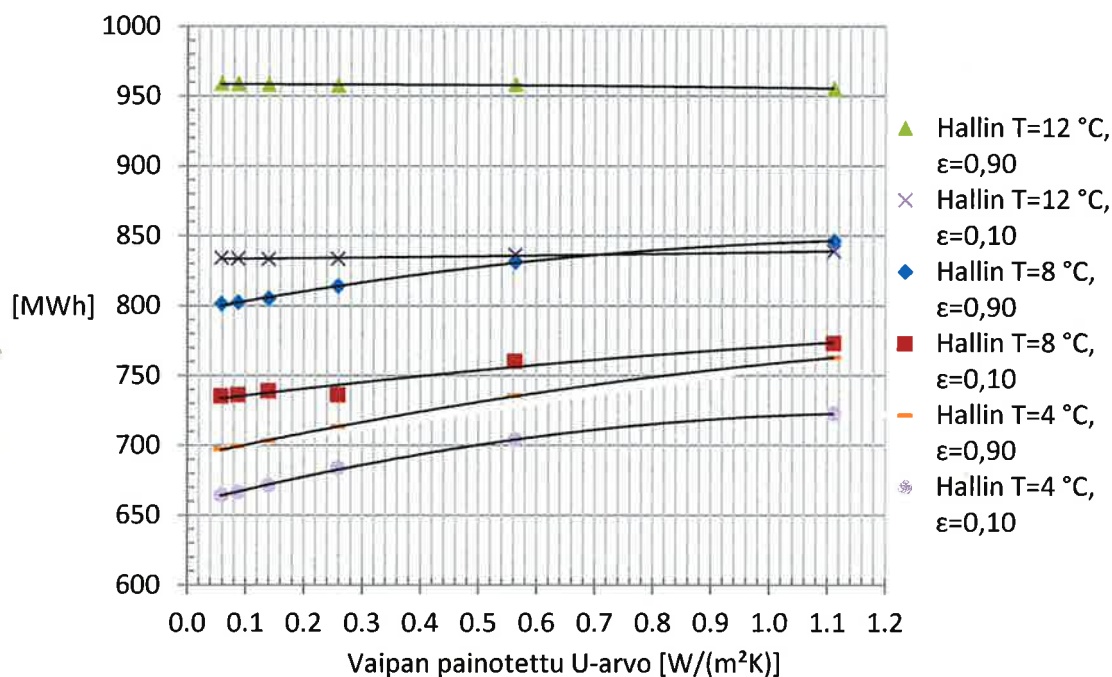
Lämpimänä vuodenaikana, kun ulkoilman keskimääräinen vesihöyrynpitoisuus on suurimmillaan, jäähalliin puhallettavan korvausilman kuivatus kuluttaa huomattavasti energiaa. Jäähdytyspatterin energiantarve on suurimmillaan 4 °C hallissa ja etenkin silloin, kun vaipan U-arvo on pieni. Toisaalta tutkituissa lämpimissä halleissa vaipan U-arvon kasvu taas lisää jäähdytyspatterin energiantarvetta. Jäähdytyspatterin energiantarpeeseen vaikuttaa suuresti ulkoilman lämpötila ja absoluuttinen kosteuspitoisuus sekä halliosan mitoituslämpötila. Mitä kylmempää hallin sisäilma on, sitä vähemmän se pystyy sisältämään vesihöyryä. Halliosan ilmanvaihdon ilman suhteellisen kosteuden ylärajana simuloinneissa oli 65 %, joten 4 °C hallin sisäilman absoluuttisen kosteuspitoisuuden yläraja on 4,16 g/m³, kun taas 12 °C hallin tapauksessa se on 6,96 g/m³. Näin ollen kylmissä halleissa

ilmankuivatuksen tarve on huomattavasti suurempi ja tästä johtuen kylmissä halleissa jäähdytyspatterin energiantarve on suurempaa kuin lämpimissä halleissa.

10.4 Eristyksen ja sisälämpötilan vaikutus jääradan ylläpitoon tarvittavaan energiamäärään

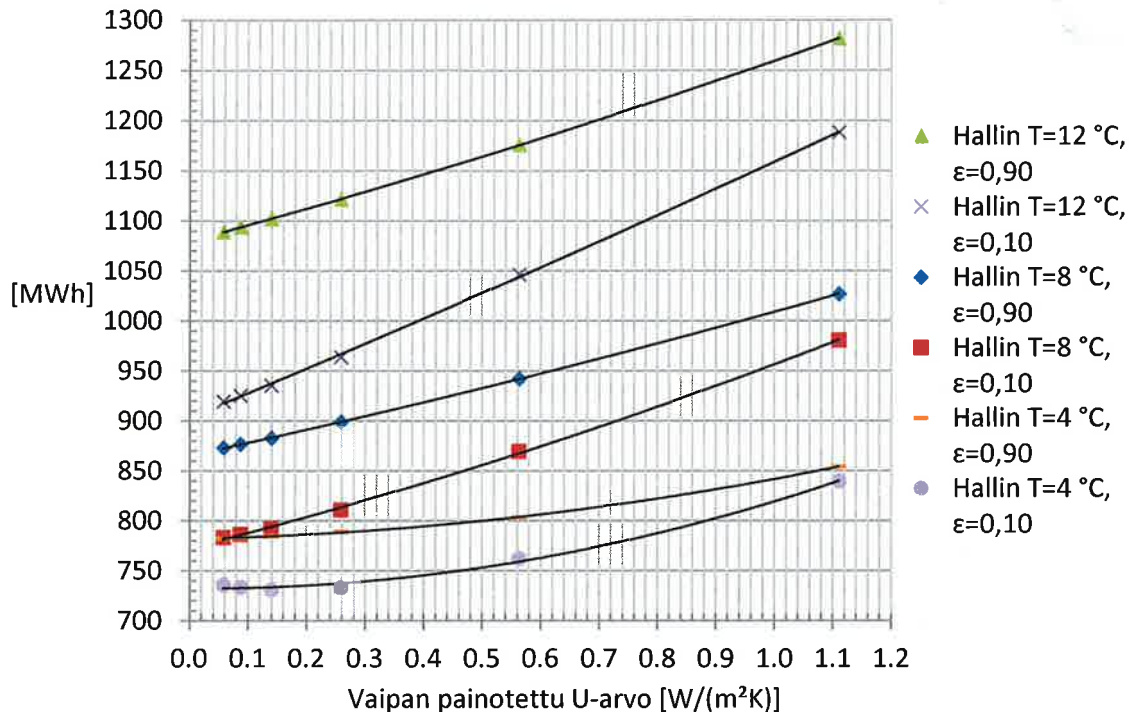
Kolmanneksi tutkittiin jäärataan kohdistuvaa lämpökuormaa eli jääradan hoitoon ja ylläpitämiseen vaadittavaa jäähdytysenergiatarvetta. Kylmissä halleissa jääradan vuotuinen jäähdytysenergiatarve kasvaa vaipan U-arvon kasvaessa, kun taas mitoituslämpötilaltaan 12 °C:ssa hallissa vaipan U-arvolla ei tulosten mukaan näytä olevan enää vaikutusta jään jäähdytysenergiatarpeeseen, kuten kuva 20 osoittaa. Esimerkiksi suurimman U-arvon omaavassa 8 °C hallissa, jossa ei ole matalaemissiviteettipinnoitetta, jääradan jäähdytysenergiatarve on 5 % suurempi kuin kyseisen versiopolun päätapausten.

Suurin yksittäinen tekijä jääradan lämpökuorman minimoimiseksi on kuitenkin halliosan sisäpinnoille asennettava matalaemissiviteettipinnoite. Matalaemissiviteettipinnoitteen avulla saavutettava hyöty on suurempi, mitä lämpimämmästä hallista on kyse. 12 °C hallin kohdalla, jossa jääradan vuotuinen jäähdytysenergiatarve pysyy lähes vakiona riippumatta vaipan U-arvosta, matalaemissiviteettipinnoite vähentää jäähdytystarvetta keskimäärin noin 13 % ja vastaavasti 4 °C:ssa hallissa keskimäärin noin 4,5 %.



Kuva 20. Jääradan vuotuinen jäähdytysenergiatarve vaipan U-arvon funktiona kuuden versiopolun tapauksessa.

Vertailtaessa simulointitapausten vuotuisia energiantarvetta, johon on laskettu jäähallin lämmityksen, halliosan ilmanvaihdon lämmitys- ja jäähdytyspatterien sekä kylmäkoneen energiantarve, huomataan selvästi, että yhteenlaskettu energiantarve on vähäisintä halleissa, joissa vaipan U-arvo on pieni (kuva 21). Toisaalta erot energiantarpeessa versiopuiden päätapausten ja sitä paremmin eristettyjen hallien välillä eivät ole kovinkaan suuret. Esimerkiksi normaalipinnoitetun, 8 °C:n hallin pääsimulointitapausten vuotuinen energiantarve on vain 1,1 % suurempi kuin hallin, jonka vaipan U-arvo on 0,06 W/(m²K). Tästä herääkin kysymys, onko vaipan U-arvoa pienentämällä saavutettava energiasäästö jäähallin elinkaaren aikana taloudellisesti yhtä suuri kuin lisäeristämisestä syntyvä investointikustannus.



Kuva 21. Jäähallin tilojen lämmityksen, halliosan ilmanvaihdon jäähdytys- ja lämmityspatterien ja jääradan jäähdytyksen yhteenlaskettu vuotuinen energiantarve vaipan painotetun U-arvon funktiona kuuden versiopolun tapauksessa.

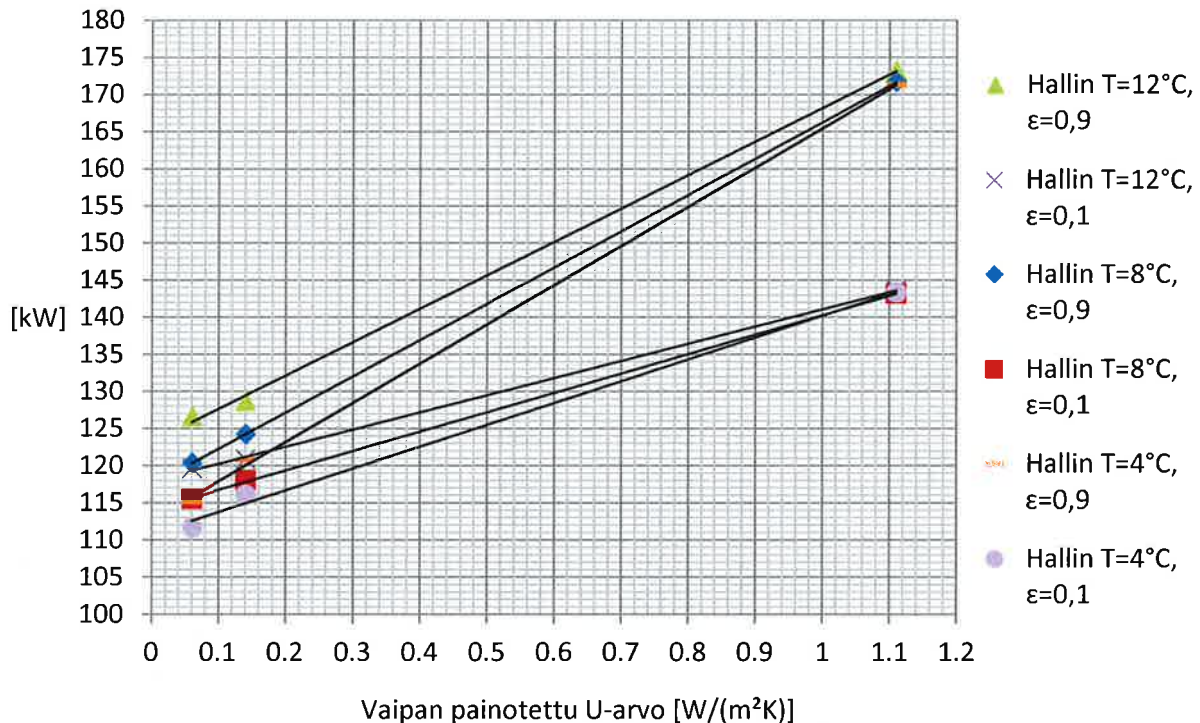
Matalaemissiviteettipinnoitteen vaikutus hallin vuotuisen laskennalliseen energiantarpeeseen on merkittävä. Pinnoitteen avulla vähennetään tutkimuksen mukaan ainakin halliosan lämmitysenergiantarvetta sekä kylmäkoneiston sähköenergiantarvetta. Vertailtaessa 12 °C hallin päätapauksia, joissa vaipan U-arvo on 0,14 W/(m²K), keskenään, nähdään, että matalaemissiviteettipinnoitettu jäähalli kuluttaa 15 % vähemmän energiaa kuin halli, jossa pinnoitetta ei ole. Kuten kappaleessa on aiemmin mainittu matalaemissiviteettipinnoitteella saavutettava energiansäästö pienenee, mitä kylmemmästä hallista on kyse. 4 °C:ssa hallissa matalaemissiviteettipinnoitetun hallin energiantarve pääsimulointitapauksissa on enää noin 7 % pienempi kuin vastaavan normaalipinnoitetun hallin.

Halliosan mitoituslämpötila vaikuttaa myös suuresti jäähallin energiantarpeeseen – tulosten mukaan 1 °C lasku hallin mitoituslämpötilassa pienentää sosiaalitylojen ja halliosan yhteenlaskettua lämmitysenergiantarvetta noin 6 %. Toisaalta kylmissä halleissa vaipan U-arvon merkitys pienenee verrattuna lämpimiin halleihin, kuten kuvasta 21 nähdään. Lämpimissä halleissa vaipan U-arvo vaikuttaa huomattavasti etenkin halliosan ja sosiaalitylojen lämmitysenergiantarpeeseen. Lämpimissä halleissa ulkoilman ja hallin sisäilman vuoden keskimääräinen lämpötilaero on suurempi kuin kylmissä halleissa ja näin ollen lämpövirran tiheys rakenteiden läpi kasvaa, joka lisää lämmitystehontarvetta.

10.5 Eristämisen vaikutus huipputehontarpeeseen

Jääradan jäähdytyksen huipputehontarve ajoittui heinäkuulle kaikissa simulointitapauksissa. Simulointituloksista nähdään, että vaipan eristämällä voidaan vaikuttaa merkittävästi jääradan jäähdytyksen huipputehontarpeeseen. Esimerkiksi 8 °C hallissa suurimman U-arvon omaavan jäähallin jääradan jäähdytyksen huipputehontarve on 38 % suurempi kuin kyseisen versiopolun päätapauksen, kun sisäpintojen emissiviteetti on 0,9. Matalaemissiviteettipinnoitetuissa vastaavissa tapauksissa puolestaan ero on 21 %. Näin ollen voidaan todeta, että matalaemissiviteettipinnoite tasoittaa jäähän kohdistuvaa

lämpökuormaa ja täten pienentää jäähdytyksen huipputehontarvetta. Kuvassa 22 on esitetty halliosan lämpötilan ja vaipan emissiviteetin vaikutus huipputehontarpeeseen U-arvon funktiona.



Kuva 22. Jääradan jäähdytyksen huipputehon tarve U-arvon funktiona kuuden versiopolun tapauksessa.

10.6 Optimaalinen eristyspaksuus

Varsinaisessa optimointiosuudessa selvitettiin eri lämpöisten hallien energioptimi U-arvo ja sitä vastaava lämmöneristepaksuus neljän lämmöneristemateriaalin tapauksessa. Saadut tulokset tukivat IDA ICE -versiopuusimuloinneissa saatuja tuloksia. Yleisesti ottaen nähdään, että mitä lämpimämpi halliosan mitoituslämpötila on, sitä merkittävämpi rooli vaipan eristämällä ja matalaemissiviteettipinnoitteella on. Taulukossa 2 on esitetty optimilämmöneristepaksuudet kussakin tapauksessa.

Tulosten perusteella on selvästi havaittavissa, että vaipan U-arvon optimoimisella voidaan parantaa jäähallien energiatehokkuutta. Yllättävää oli, että kaikissa tapauksissa ulkoseinän eristepaksuus oli yläpohjaa suurempi, ja varsinkin 4 °C ja 12 °C halleissa ulkoseinän ja yläpohjan eristepaksuuden ero oli merkittävä.

Toisekseen tulosten perusteella nähdään, että matalaemissiviteettipinnoitteen käyttö pienensi kaikissa tapauksissa jäähallin energiantarvetta huomattavasti ja sen käyttö onkin suositeltavaa, kunhan pinnoitteen pinta pysyy puhtaana eikä siihen pääse tiivistymään kosteutta. Toisaalta saman mitoituslämpötilan omaavissa halleissa, joissa vaipan sisäpintojen emissiviteetti oli 0,1 energioptimi lämmöneristepaksuus oli kaikissa tapauksissa suurempi kuin emissiviteetin arvolla 0,9, kuten taulukosta 2 nähdään.

Taulukko 2. Vaipan energiaoptimaaliset lämmöneristepaksuudet eri mitoituslämpötiloissa ja emissiviteetillä.

Energian- tarve [MWh]	T °C	ε	Rakenne	U-arvo W/(m²K)	Lämmöneristepaksuudet, mm			
					Poly- uretaani	Paisutettu polystyreeni	Kivivilla	Mineraali- villa
750	4	0,1	US	0,21	180	200	300	270
			YP	0,37	100	110	160	150
805,5	4	0,9	US	0,21	180	200	300	270
			YP	0,53	70	80	120	110
762,3	6	0,1	US	0,14	260	280	420	380
			YP	0,21	180	200	300	270
828,3	6	0,9	US	0,17	220	240	360	330
			YP	0,18	210	240	340	320
802	8	0,1	US	0,13	280	300	450	410
			YP	0,14	270	300	430	400
892,5	8	0,9	US	0,14	260	280	420	380
			YP	0,14	270	300	430	400
859,6	10	0,1	US	0,12	310	350	510	460
			YP	0,12	300	330	480	440
988,5	10	0,9	US	0,12	310	350	510	460
			YP	0,18	210	240	340	320
931,9	12	0,1	US	0,11	350	390	570	520
			YP	0,12	320	360	520	480
1100,8	12	0,9	US	0,11	330	370	540	490
			YP	0,15	240	270	390	360

Tämän tutkimusosuuden yhteenvedona voidaan todeta, että jäähallien energiatehokkuuteen kannattaa kiinnittää ehdottomasti huomiota hallien suuren energiansäästöpotentiaalin vuoksi. Mahdollisesti tulevat E-lukuvaatimukset jäähalleille ajavat suunnittelijat kiinnittämään entistä enemmän huomiota energiaa säästäviin rakenne- ja taloteknisiin ratkaisuihin. Rakennuksen energiatehokkuudessa myös vaipan U-arvon energiaoptimoimisella on osansa, kuten tutkimustulokset näyttävät. Lisäksi hallin mitoituslämpötilalla on huomattava vaikutus tilojen lämmitysenergiantarpeeseen ja näin ollen käyttöajan ulkopuolella, lähinnä öisin, hallien lämmitystä voitaisiin mahdollisesti rajoittaa energian säästämiseksi.

11. Yhteenveto

Määräystenmukaisuuden osoittaminen

Uuden jäähallin määräystenmukaisuuden osoittamiseksi tarvitaan voimassa olevien määräysten mukaan kolme laskelmaa: 1) lämpöhäviölaskelma, 2) kokonaisenergiankulutus (E-luku) ja 3) lämpöteho mitoitustilanteessa.

Korjaushankkeissa ainoana vaatimuksena on vaipan osalta täyttää rakennusosakohtaiset U-arvovaatimukset, periaatteena on puolittaa alkuperäiset U-arvot (Ympäristöministeriön asetus 4/13). Teknisiä laitteita uusittaessa periaatteena on, että uudet laitteet täyttävät uudet vaatimukset. Esimerkiksi ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen on oltava vähintään 45 %.

Lämpöhäviölaskelma

Lämpöhäviölaskelma suoritetaan kuten D3:ssa on määrätty. Tasauslaskenta voidaan suorittaa soveltamalla tässä raportissa ohjeistettua laskentaa sekä ympäristöministeriön julkaisemaa Tasauslaskenta 2012- opasta.

E-luvun laskenta

Tässä hankkeessa suositellaan jäähalleille noudatettavan seuraavia periaatteita:

- Energialaskenta suoritetaan koko vuodelle riippumatta mikä on jäähallin todellinen käyttöaika
- Laskennassa ei oteta huomioon jään ylläpitoon ja hoitoon tai kosteuden hallintaan liittyvää energiankäyttöä. Tällöin myöskään kylmäkoneiden lauhdelämpöä ei laskennassa käsitellä
- Laskenta suoritetaan yhtenä tilana erittelemättä pukuhuoneita ym.
- Rakennuksessa olevia erikoistiloja kuten kahvioita, kuivaushuoneita ym. ei tarvitse käsitellä erikseen, vaan ne lasketaan muihin alueisiin kuuluvaksi. Tämä on D3:n laskentasäännöissä
- Teknisiä järjestelmiä, joita ei ole D3:ssa mainittu, kuten ammattikeittiöt, ulkovalaistus, hissit, sulatuskaapelit, ym. ei oteta laskennassa huomioon
- Laskennan lähtötietoina käytetään D3:ssa liikuntahallille määriteltyjä tietoja
 - määräykset sallivat jäähallille myös suunnitteluarvojen käyttöä, joten myös suunnitteluarvoja voi käyttää
 - kumpikaan laskentatapa ei anna realistista kuvaa jäähallin kulutuksesta, joten kirjoittajien mielestä on suositeltavaa pitäytyä mahdollisimman yksinkertaisessa laskentatavassa ja tällöin liikuntahalleille annetut lähtötiedot ovat yksiselitteisiä ja lisäksi rakennuslupavaiheessa suunnittelutiedot ovat tarkentumatta

Lämpöteho mitoitustilanteessa

Lämpöteho lasketaan paikkakuntaakohtaisella ulkoilman lämpötilalla, jotka on määritelty D3:ssa. Lämpötehonlaskenta on esitetty rakentamismääräysten osassa D5 ja jäähallille suositellaan käytettäväksi D3:ssa liikuntahallille annettua sisäilman lämpötilaa + 18 °C.

Lasketut E-luku ja lämmitysteho eivät vastaa todellista tilannetta, koska mm. jään tilaa jäähdyttävää vaikutusta ei oteta huomioon, mutta antaa vertailukelpoista tietoa muihin liikuntahalleihin nähden.

Vaipan lämmöneristävyyden vaikutus energiantarpeeseen

Tulosten perusteella on selvästi havaittavissa, että vaipan U-arvon optimoimisella voidaan parantaa jäähallien energiatehokkuutta. Yllättävää oli, että kaikissa tapauksissa ulkoseinän eristepaksuus oli yläpohjaa suurempi, ja varsinkin 4 °C ja 12 °C halleissa ulkoseinän ja yläpohjan eristepaksuuden ero oli merkittävä. Toisekseen tulosten perusteella nähdään, että matalaemissiviteettipinnoitteen käyttö pienensi kaikissa tapauksissa jäähallin energiantarvetta huomattavasti ja sen käyttö onkin suositeltavaa, kunhan pinnoitteen pinta pysyy puhtaana eikä siihen pääse tiivistymään kosteutta. Toisaalta saman mitoitukslämpötilan omaavissa halleissa, joissa vaipan sisäpintojen emissiviteetti oli 0,1 0,9 sijaan energiaoptimi lämmöneristepaksuus oli kaikissa tapauksissa suurempi.

Rakennuksen energiatehokkuudessa vaipan U-arvon energiaoptimoimisella on osansa, kuten tutkimustulokset näyttävät. Lisäksi hallin mitoitukslämpötilalla on huomattava vaikutus tilojen lämmitysenergiatarpeeseen

Määräysten jatkokehitystarve

Määräysten jatkokehitykselle jäähallien kohdalla asettaa käytännön reunaehdon jäähalliprosessin laskentamahdollisuudet. Tällä hetkellä laskentaohjelmistot eivät sisällä riittäviä ominaisuuksia jään mallintamiseen, että käytännössä voitaisiin edellyttää todellisen energiankulutuksen laskentaa. Myöskään virallista käsin laskentamenetelmää ei ole. Tällä perusteella, ennen kuin laskentavalmiudet kehittyvät, kirjoittajat ehdottavat, että E-lukulaskentaa jäähalleille ei edellytettäisi eikä liioin lämpöteholaskelmaa. Tällöin ainoaksi vaatimukseksi jäisi lämpöhäviölaskelma eli tasauslaskenta.

Lähdeviitteet

BBR21, Boverkets byggregler, <http://www.boverket.se/Lag-ratt/Boverkets-forfattningssamling/BFS-efter-forkortning/BBR/>

Bygga Ishall, en faktabok för byggnation av ishallar Rev 1.64 2014-01-22 ©2009 - 2014 Svenska Ishockeyförbundet, http://www.swehockey.se/ImageVaultFiles/id_32320/d_1/cf_113/Bygga_Ishall.PDF

Motivan direktiivitiivistelmät: <http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/direktiivit>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU, annettu 19 päivänä toukokuuta 2010, rakennusten energiatehokkuudesta (uudelleenlaadittu) (EBPD), <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:FI:PDF>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/28/EY, annettu 23 päivänä huhtikuuta 2009, uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä (RES), <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:fi:PDF>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/27/EU, annettu 25 päivänä lokakuuta 2012, energiatehokkuudesta (EED), <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:FI:PDF>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/125/EY, annettu 21 päivänä lokakuuta 2009, energiaan liittyvien tuotteiden ekologiselle suunnittelulle asetettavien vaatimusten puitteista (EcoDesign), <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX:32009L0125>

Jäähallin kylmäkoneistojen hankintaopas, <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2548.pdf>
Laitinen, Ari; Nykänen, Veijo; Paiho, Satu, 2010. VTT, Espoo. 109 s. + liitt. 78 s., VTT Tiedotteita - Research Notes : 2548

Jäähallien valaistusohje, Suomen Jääkiekkoliitto Ry, Jääkiekon SM-liiga Oy, Opetus - ja kulttuuriministeriö, 2014. <http://www.finhockey.fi/info/jaahallit/>

Laki rakennuksen energiatodistuksesta 50/2013, <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130050>

LVI 30-10529 Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho SFP. Rakennustieto 2013.

Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D2, Ympäristöministeriön asetus rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1/11, http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf

Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D3, Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta 2/11, http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf

Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D5, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Ohjeet 2012, http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf

Tasauslaskentaopas 2012. Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen. Ympäristöministeriö 24.11.2011,

Ympäristöministeriön asetus 4/13 rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä, [http://www.finlex.fi/data/normit/40799-EU 27 2 2013YM_asetus_lopullinen_FIN.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/40799-EU_27_2_2013YM_asetus_lopullinen_FIN.pdf)

FiNZEB-hanke, <http://www.finzeb.fi>

LIITE 1, Ruotsin ei-asuinrakennuksia koskevat energiavaatimukset

Klimatzon	I	II	III
Byggnadens specifika energianvändning [kWh per m ² A _{temp} och år]	120	100	80
+ tillägg då uteluftsflödet av ökade hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m ² i temperaturreglerade utrymmen. Där q _{medel} är det genomsnittliga specifika uteluftsflödet under uppvärmningssäsongen och får högst tillgodoräknas upp till 1,00 [l/s per m ²].	110(q _{medel} -0,35)	90(q _{medel} -0,35)	70(q _{medel} -0,35)
Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient [W/m ² K]	0,60	0,60	0,60

(BFS 2011:26).

Kuva 23 Ei-asuinrakennuksia koskevat energiavaatimukset (muu kuin sähkölämmitys) [BBR21]

Klimatzon	I	II	III
Byggnadens specifika energianvändning [kWh per m ² A _{temp} och år]	95	75	55
+ tillägg då uteluftsflödet av ökade hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m ² i temperaturreglerade utrymmen. Där q _{medel} är det genomsnittliga specifika uteluftsflödet under uppvärmningssäsongen och får högst tillgodoräknas upp till 1,00 [l/s per m ²].	65(q _{medel} -0,35)	55(q _{medel} -0,35)	45(q _{medel} -0,35)
Installerad effekt för uppvärmning [kW]	5,5	5,0	4,5
+ tillägg då A _{temp} är större än 130 m ²	0,035(A _{temp} - 130)	0,030(A _{temp} - 130)	0,025(A _{temp} - 130)
+ tillägg då uteluftsflödet av ökade kontinuerliga hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m ² i temperaturreglerade utrymmen. Där q är det maximala specifika uteluftsflödet vid DVUT.	0,030(q-0,35)A _{temp}	0,026(q-0,35)A _{temp}	0,022(q-0,35)A _{temp}
Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient [W/m ² K]	0,60	0,60	0,60

Kuva 24 Ei-asuinrakennuksia koskevat energiavaatimukset (sähkölämmitys) [BBR21]

LIITE 2, Määräysten kehittämistarve jos jäähalliprosessi otettaisi mukaan laskentaan

