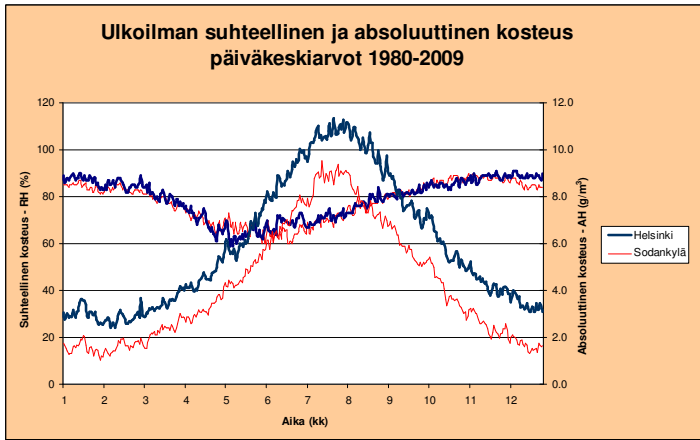
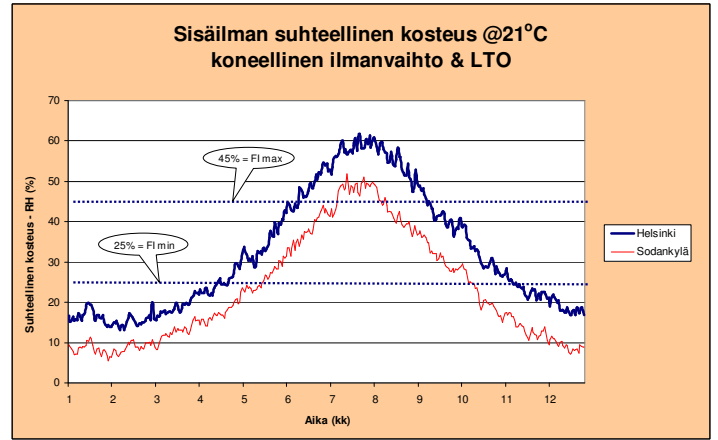


IRTI KOSTEUSFOBIASTA

KUIVA SISÄILMA ON HAITAKSI JA TUHLAA ENERGIAA



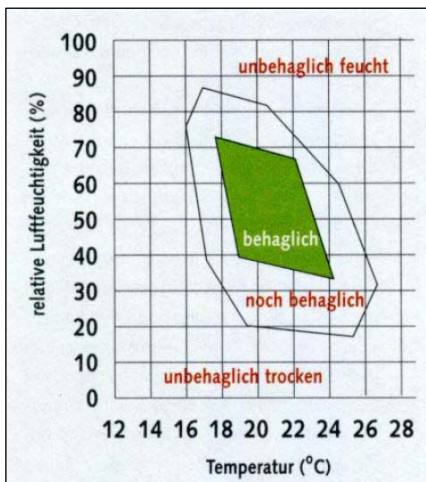
↑ **Ulkoilman kosteus (RH ja AH).**
Source: Ilmatieteenlaitos (T, RH).



↑ **Sisäilman suhteellinen kosteus (RH).** Alaraja 25% ja yläraja 45% ovat yleisimmin Suomessa sanotut.

Liian kuiva sisäilma talvella johtuu ilmanvaihdosta. **Vain Suomessa koneellinen ilmanvaihto on pakollinen ja vailla vaatimusta kosteuden palauttamisesta sisäilmaan.** Tästä seuraa, että uusissa asunnoissa

- kovilla pakkasilla sisäilman $RH < 10\%$
- kun sisäilman $RH < 30\%$ ⇒ ihmisiä palelee ja he sairastuvat
- uudet kuivanlämpimän ilmanalan syöpäläiset hyökkäävät uusiin asuntoihin
- **vain Suomessa kiinalaiset kaapit halkeilevat**



← **Mukavuuslämpö & suhteellinen kosteus (behaglich):** Saksan ohje Mollier-diagrammissa. Saksa vaatii koneellisessa ilmanvaihdossa & LTOssa kosteuden palauttamista sisäilmaan!

		Sisäilman suhteellinen kosteus - RH						
Mittari- lämpötila	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
24°C	20	21	22	22	23	24	25	25
23°C	19	20	20	21	22	22	23	24
22°C	18	18	19	20	21	21	22	23
21°C	17	18	18	19	19	20	20	21
20°C	16	17	17	18	18	19	19	20

↑ **Taulukko näyttää mukavuuslämmön riippuvuuden RHsta** (Apparent temperature. Source: National Oceanic and Atmospheric Administration, US); taulukon luvut pyöristettyjä °C.

Taulukosta voidaan nähdä, että **talvella kun $RH < 20\%$, niin talo pitää lämmittää mittarilämpöön 24°C, jotta asukas tuntisi olonsa 21°C mukaiseksi ja mukavaksi!** Kun talon mittarilämpöä joudutaan nostamaan talvella kolmella asteella 21 ⇒ 24°C, energiaa kuluu vuositasolla 12% enemmän! Syyllinen tähän on Ympäristöministeriö, joka ei ymmärrä asettaa mitään ohjeita tai vaatimuksia sisäilman suhteelliselle kosteudelle.

Terveiden, viihtyisyyden ja tuottavuuden sekä energian säästämisen kannalta Suomen rakentamismääräyksiä tulisi muuttaa ja täydentää seuraavasti:

- **Sisäilman ohjearvo, asunnot ja toimistot:** $RH = 30-60\%$ ($T = 20-24^\circ C$)
- **Vaatimus: Kosteuden talteenotto – $KTO > 45\%$** (kesäaikaan pois päältä kuten LTO nyt).

→ Lisää infoa: <https://onlinebookshop.villareal.fi>

IRTI KOSTEUSFOBIASTA KUIVA SISÄILMA ON HAITAKSI JA TUHLAA ENERGIAA

Olavi TUPAMÄKI ©

Ins.tsto Villa Real® Oy

TIIVISTELMÄ

Esitelmäni käsittelee huonetilojen suhteellisen kosteuden (relative humidity - RH) piirteitä ja merkitystä tuoden esiin uusia ja yllättäviäkin tuloksia. Erityisesti tässä puhutaan liian alhaisen RH:n haitallisista ja lämmitysenergiaa tuhlaavista piirteistä.

1 JOHDANTO

Seuraavassa esitän standardista ISO 6241 /1/ johdetun listan tekijöistä, joiden parasta rakennuksen asukas/käyttäjä vaatii. Terveuden, viihtyisyyden ja tuottavuuden kannalta erityisesti sisäympäristö, sisäilmasto ja sisäilma ovat tärkeitä.

Occupational factors refer to usability, i.e. indoor environment, climate and air related to health, comfort, productivity and safety of the building, as briefly listed below:

- Hygrothermal performance: air temperature, thermal radiation, air velocity, relative humidity, condensation
- Air quality (CO₂, radon, emissions etc)
- Acoustical performance: external and internal noise, reverberation
- Visual performance: lighting, spaces and surfaces (colour, texture etc), optical contact
- Design: geometry, subdivision, services, flexibility, ergonomics
- Tightness: air, water, snow, dust
- Safety: structural, fire, and against utility supply interruptions, intrusion etc
- Life cycle costs – LCC (usually calculated as net present value – NPV)

2 MIKÄ SUHTEELLINEN KOSTEUS - RH

Suhteellinen kosteus - RH määritellään vallitsevan vesihöyryn paineen ja kylläisen vesihöyryn paineen välisenä suhteena tietyssä lämpötilassa. RH kertoo montako prosenttia absoluuttinen kosteus - AH on vallitsevan lämpötilan kyllästyskosteudesta. Tässä esitelmässä tarvittavat absoluuttisen kosteuden määrät (g/m³) voidaan laskea mitatusta suhteellisesta kosteudesta tietyssä lämpötilassa (T=°C) seuraavalla kaavalla:

$$AH=6.11*EXP(17.27*T/(T+237.3))/(T+273.15)*217*RH/100$$

Seuraavassa kaaviossa näytetään ulkoilman suhteellinen ja absoluuttinen kosteus eri vuodenaikoina. Siitä nähdään, että talven pakkasilla ilman AH on pieni eli ilma on kuivaa, kuten sanotaankin. Sen sijaan kuivan pakkasilman suhteellinen kosteus lähestyy 100 %.

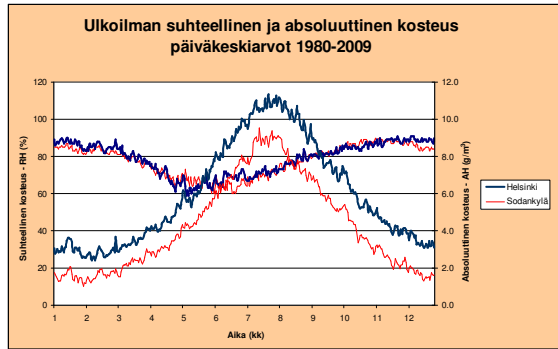


Figure 1 Ulkoilman kosteus (RH ja AH).
Source: Ilmatieteenlaitos (T, RH).

Sisäilman RH riippuu lukuisista tekijöistä. Vuoden 2008 alusta voimaan tulleiden rakentamismääräysten mukaan taloon on käytännössä pakko asentaa koneellinen ilmanvaihto, joka vaihtaa koko lämpimän huoneilman kahdessa tunnissa ulkoa otettavaan tuoreeseen ulkoilmaan. Lämpöenergian hukkaa pienennetään lämmön talteenotolla - LTO; talteenoton määrä on 45-85% laitteesta riippuen. Poistoilman myötä poistuu talosta kuitenkin myös ilman kosteus. Kun talvella tuloilman AH on alhainen, niin lämpimässä sisätilassa RH romahtaa kuten seuraavassa kaaviossa näytetään.

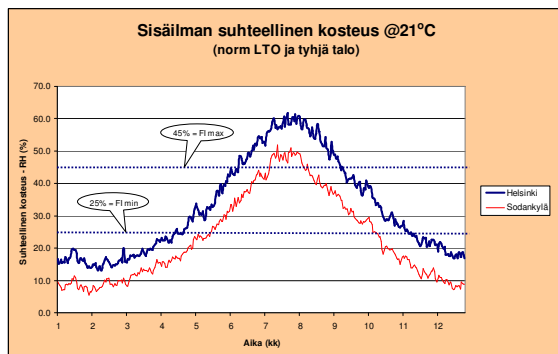


Figure 2 Sisäilman suhteellinen kosteus (RH).

Talon asukkaat, toimiston työntekijät ja tapahtuvat toiminnot toki voivat nostaa kosteutta.

Suomen rakentamismääräys D2/2012 sanoo: ”Jos sisäilman kosteus ylittää arvon $7\text{ g H}_2\text{O/kg}$ kuivaa ilmaa, kostutetaan huoneilmaa vain painavista syistä esimerkiksi prosessin tai varastoinnin niin vaatiessa. Arvo $7\text{ g H}_2\text{O/kg}$ kuivaa ilmaa vastaa huoneilman tilaa, jossa suhteellinen kosteus on 45%, kun huonelämpötila on 21°C ja ilman paine on $101,3\text{kPa}$. Alhaisesta sisäilman suhteellisesta kosteudesta aiheutuvien haittojen vähentämiseksi vältetään lämmityskauden aikana tarpeettoman korkeita huonelämpötiloja.” Minimiarvoista tms. ei puhuta mitään.

Useissa kotimaisissa ohjeissa kuitenkin sanotaan, että sisäilman RH pitäisi olla 25-45%; nämä olen merkinnyt yllä näytettyyn kaavioon. Näin mm. Sisäilmayhdistyksen verkkotieto sisäilmaluokalle S1 sekä Allergia- ja astmaliiton kolmen vuoden takainen Sisäilmaopas; uusimmasta tieto on jätetty pois. Hengityslitto taas sanoo, että ”Sopivana huoneilman suhteellisena kosteutena pidetään talviaikaan 20-40% ja kesäaikaan 50-60%. Kosteusmittarin hankinta on välttämätöntä.”; julkaisussaan Terveellisen asunnon ABC/2008 se

sanoo, että ”Lämmityskaudella sopiva sisäilman suhteellinen kosteus on noin 25-45%”. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysopas/2009 antaa raja-arvoiksi RH=20-60%.

Myös muissa vertailukelpoisissa maissa määräysten ja ohjeiden löytyminen on satunnaista. USA:n ASHRAE-standardi /2/ suosittelee RH=30-60% niin kesällä (T=22-26°C) kuin myös talvella (T=20-24°C). Occupational Safety and Health Administration - OSHA suosittelee RH=20-60% lämpötiloissa 20-25°C. Kanadan standardit suosittelevat RH=50-60% sekä kesällä (T=23-26°C) että talvella (T=20-24°C) /3/. Japanilaisten lehtitietojen mukaan siellä suositellaan talvella jopa RH=65% /4/ (lintu)influenssan torjumiseksi. Asiaa voidaan tarkastella yleisellä tasolla Mollierin diagrammilla, jota käyttäen Saksassa suositus olisi RH=35-70% (T=18-24°C); katso alla 5. **Saksa vaatii sisäilman kosteuden palauttamista.** Ruotsin rakentamismääräyksissä sanotaan, että materiaalien RH≤75% (BBR 18 avsnitt 6); eri lähteistä löytyy myös RH=20-60%. Dataloggerini oletusarvot ovat RH=35-75%.

3 ALHAINEN RH ON HAITALLISISTA

On selvää, että kosteus ja home ovat suuri ongelma Suomen kuten monen muunkin maan rakennuskannassa. Syyllinen ei kuitenkaan ole sisäilman kosteus, vaan rakenteiden kostuminen/kastuminen. Homeitiöitä (koko 3-40µm) on sisäilmassa kaikkialla, eikä niistä päästä eroon. Kosteusongelma syntyy vasta siitä, kun home alkaa kasvaa rakenteissa. Rakenteet kostuvat/kastuvat pääasiassa seuraavilla tavoilla: sadevesi, vesi/viemärijohtojen ja vettä käyttävien ja tuottavien laitteiden vuodot, kapillaarinen nousu maasta, diffuusio ja paine-erosta johtuva ilmakehän kosteuden kulkeutuminen rakenteeseen. Pohjoisessa Kanadassa viisi vuotta sitten kolmella paikkakunnalla tehty kenttätutkimus (T ja RH mitattiin 3 min välein) /5/ osoitti, että esiintyneillä sisäilman suhteellisilla kosteuksilla ei ollut mitään syy-yhteyttä rakennuksissa esiintyviin kosteusongelmiin. Tietysti on eri asia, jos sisäilman RH nousee erittäin korkeaksi. Yleisesti hyväksytyyn käsityksen mukaan raja on RH=75%, jota korkeammaksi ei rakenteenkaan kosteuden tulisi nousta.

Jos sisäilman kosteudesta ei huolehdi, niin talvella huoneilman suhteellinen kosteus putoaa Suomessa tasolle 10...20 % kuten edellä on näytetty; kovalla pakkasella reilusti alle 10%. Liian alhainen RH aiheuttaa monia ongelmia, joista seuraavassa:

- ihon, huulien, silmien ja limakalvojen (nenä, kurkku etc) kuivuminen
- altistuminen vilustumis- ja allergiasairauksiin (yskä, nuha, flunssa, astma etc)
- äänen käheys
- paleleminen; katso 5 seuraavassa
- lämmitysenergian turha kulutus; katso 6 seuraavassa
- bakteerit ja virukset
- uudet kuivan ilman syöpäläiset; lutikka, vyöturkiskuoriainen, ruskea koirapunkki etc
- parkettien ravistuminen ja puuesineiden säröily
- staattisen sähköisyys
- myös kotieläimet ja kodin viherkasvit kärsivät.

Kaiken edellä sanotun mukaisesti rakentamismääräykset ja -ohjeet tulisi muuttaa siten, että sisäilman kosteus pysyisi rajoissa RH=30-60%.

4 SEURANTAMITTAUSTULOKSIA

Seuraavassa kaaviossa esitän dataloggerin tuloksia 2-kerroksisesta omakotitalosta, joka edustaa varsin tyypillistä taloa Helsinginseudulla. Talossa on painovoimainen ilmanvaihto; poisto märkätiloista ja raitis ilma tuloilmaventtiileistä/putkista, ei siis vain ikkunanraoista.

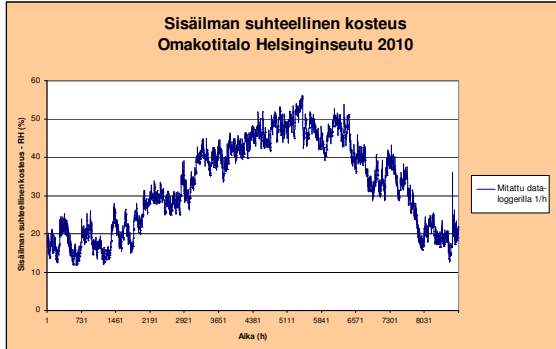


Figure 3 Mitattu suhteellinen kosteus (RH).

Kaaviosta näkyy, että RH on alle 20% lähes kolmen kuukauden ajan. Jos talossa olisi ollut nykymääräysten mukainen koneellinen ilmanvaihto, olisi talven RH ollut alhaisempi ja kuiva kausi jatkunut pidempään, kuten seuraavassa meneillään olevan FRAME-projektin /6/ kaaviossa näytetään; tässä toimistossa alhaisimmillaan RH=4%.

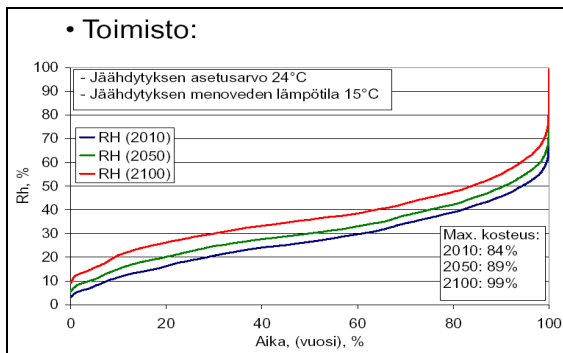


Figure 4 Toimistotalon suht. kosteus (RH).

Vain Suomessa koneellinen ilmanvaihto on pakollinen ja ilman vaatimusta kosteuden palauttamisesta sisäilmaan. Niinpä vain Suomessa kiinalaiset kaapit halkeilevat.

5 MUKAVUUSLÄMPÖ

Esimerkki: Kaksi vierekkäistä samanlaista taloa A ja B. Sisälämpötila molemmissa on 21°C, ja ulkolämpötila on -10°C. Talossa A on mukava puuhailla, mutta talossa B palelee. Syynä tähän se, että talossa B sisäilman kosteus on liian alhainen. Liian kuivassa ilmassa palelee, koska kuivaan ilmaan iholta haihtuva kosteus jäädyttää ihoa (vie lämpöenergiaa 2.27J/g; ihmisen haihdunta on 100-8,000g/d); samasta syystä kuivassa sähkösaunassa voi lämpömittarin mukaan ottaa yli 100°C löylyt.

Edellä sanottu ASHRAE-standardi määrittelee karkeasti mukavuusalueen (comfort zone). Se on kuitenkin paremmin esitetty seuraavassa kaaviossa, jonka mukaan ihmisen mukavuusalueella suhteellisen kosteuden tulisi olla RH=35-70% lämpötilassa 18-24°C.

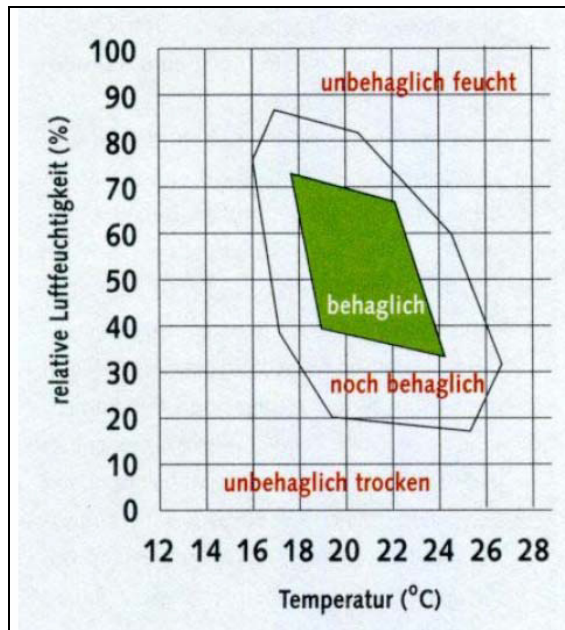


Figure 5 Ihmisen mukavuusalue (T,RH) /7/

!970-luvun lopulla kehitettiin erilaisia lämpöindeksejä USA:ssa (heat index) ja Canadassa (humidex), jotka pyrkivät kuvaamaan sitä, miltä lämpötila ihmisestä tuntuu; näitä käytetään mm. TV-sääennusteissa. Jo aikaisemmin oli kehitetty lähinnä kuumia työtiloja varten WBGT (wet bulb globe temperature) -malli. Aiheesta on tehty myös standardeja, joista tärkein on kokonaisvaltainen ISO 7730 /8/, josta lisää seuraavassa: A human being's thermal sensation is mainly related to the thermal balance of his or her body (male: 70kg, 1.8m² skin; female 60kg, 1.6m² skin) as a whole. This balance is influenced by physical activity (metabolic rates, W/m²) and clothing (thermal insulation rates, m²K/W), as well as the environmental parameters: air temperature, mean radiant temperature, air velocity and air humidity. When these factors have been estimated or measured, the thermal sensation for the body can be predicted by calculating the predicted mean vote - PMV, and predicted percentage dissatisfied - PPD that establishes a quantitative prediction of the percentage of thermally dissatisfied people who feel too cool or too warm. Calculations and recommendations are presented.

Kuten edellä on sanottu, mukavuuslämpö on monista tekijöistä riippuva näennäinen lämpötila (apparent temperature). Kodeissa ja toimistoissa se riippuu eniten sisäilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta. Seuraavassa kaaviossa näytetään näennäinen lämpötila kosteuden ja mittarilämpötilan funktiona; taulukon luvut ovat pyöristettyjä °C.

Mittari-lämpötila	Sisäilman suhteellinen kosteus - RH							
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
24°C	20	21	22	22	23	24	25	25
23°C	19	20	20	21	22	22	23	24
22°C	18	18	19	20	21	21	22	23
21°C	17	18	18	19	19	20	20	21
20°C	16	17	17	18	18	19	19	20

Figure 6 Apparent temperature. Source: National Oceanic and Atmospheric Administration, US

Taulukosta voidaan nähdä, että talvella kun RH=10-20%, niin talo pitää lämmittää mittarilämpöön 24°C, jotta asukas tuntisi olonsa 21°C mukaiseksi ja mukavaksi! Nykyisten rakentamismääräysten mukaisissa (ja vanhemmissakin) taloissa asukkaat ja toimistotyöntekijät ovat tämän ilmiön huomanneetkin. Eli, jos mittari talvella näyttää 21°C, niin useimmat, ja varsinkin naiset, palelevat ja vetävät villatakkia ylleen; onhan lämpötuntuma vain 18°C. Tosin tämä oli suositus vielä 1950-luvulla. Mutta olihan kahvikin kortilla.

6 ENERGIAA TUHLATAAN

Jotta talossa olisi riittävä mukavuuslämpö, joudutaan edellä sanotun mukaisesti taloa lämmittämään talvella jopa kolme astetta korkeampaan lämpötilaan. Tämä tietysti vie lämpöenergiaa, on vastoin kakkia uusia ja tulevia rakennusten energiansäästöavoitteita ja maksaa rahaa. Seuraava laskelma on tehty Ympäristöministeriön omalle mallitalolle 2008: Talo on (outo) 1-kerroksinen 147 m² omakotitalo kaukolämpöverkossa Helsingissä. Kun talon mittarilämpöä joudutaan nostamaan kolmella asteella 21⇒24°C, energiaa kuluu 21% enemmän. Kun kesällä lisälämmitys tuskin on tarpeen, ja tarvittava lisäenergia lasketaan tarkemmin koko vuodelle, tuloksena on, että **talotuhlaa lämmitysenergiaa 12%!**

Syylinen tähän on Ympäristöministeriö, joka ei ymmärrä asettaa mitään ohjeita tai vaatimuksia sisäilman suhteelliselle kosteudelle.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Terveyden, viihtyisyyden ja tuottavuuden sekä energian säästämisen kannalta Suomen rakentamismääräyksiä tulisi tarkistaa seuraavasti:

- Sisäilman ohjearvo, asunnot ja toimistot: **RH=30-60%** (T=20-24°C)
- Vaatimus: Kosteuden talteenotto - **KTO>45%** (kesäaikaan pois päältä kuten LTO nyt)

Tähän päästään erityisesti pyörivällä lämmönsiirtimellä, jota voidaan vielä tehostaa päällystämällä lämmönsiirtimen pinnat kosteutta siirtävällä hygroskoopillisella materiaalilla (silikageeli, zeoliitit etc), jolloin lämmönsiirtimestä käytetään termiä sorptioroottori. Näillä saadaan tarvittaessa jopa yli 90% kosteudesta palautettua takaisin sisätilaan

LÄHDELUETTELO

1. ISO 6241 (1984) Performance standards in building – Principles for their preparation and factors to be considered.
2. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. - ASHRAE Standard-55-2004 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy; rev. 2010.
3. NRC- CNRC Institute for Research in Construction (2007).
4. Nikkei Weekly (2007).
5. NRC CNRC - PERD 079 Project (2007)
6. Jokisalo J, Aalto Uni (2011), FRAME-seminaari - Rakennuksen lämmöneristystaso ja talotekniset järjestelmät muuttuvassa ilmastossa.
7. Tappler P, Donau-Universität Krems AT (2008): Luftgüte und Schadstoffe in Innenräumen.
8. ISO 7730 (2005) Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.