

KONDENSSI IKKUNOIDEN ULKOPINTAAN

Ulkoilman kosteuden tiivistyminen hyvin lämpöä eristävi- en ikkunoiden ulkopintaan on yllättänyt sekä ikkunoiden valmistajat että ostajat. Tavallisissa kolmilasisissa ikkunoissa ilmiötä ei ole esiintynyt tai kondenssi on ollut niin vähäistä, ettei siihen ole kiinnitetty huomiota. Vasta selektiivilasien ja eristyslasien täytekaasujen yleistyminen on tuonut ilmiön esille. Ilmiön tuottama haitta on kuitenkin useimmissa tapauksissa niin vähäinen, että sen vuoksi ei pidä hylätä uutta lasitekniologiaa ja sen tuomia lukuisia hyötyjä.

MISTÄ ILMIÖ JOHTUU?

Kondenssin esiintyminen ikkunan ulkopinnalla johtuu siitä, että uloimman lasin pintalämpötila alittaa ulkoilman kastepistelämpötilan. Tämä aiheutuu siitä, että ikkunan ulkopinta säteilee ympäristöön ja taivaalle lämpöä eikä pilvetön taivas ulkoilmaa kylmempänä säteile ikkunaan päin niin paljoa lämpöä kuin ikkuna säteilee pois päin. Tämän seurauksena ikkunan ulkopinta jäähtyy ulkoilmaa kylmemmäksi. Tavallisessa kaksi- ja kolmilasisessa ikkunassa sisältä päin tuleva lämpövuoto kompensoi ulkopinnan säteilyjen eron, mutta nykyaikaisissa ikkunoissa lämpövuoto on niin pieni, että ulkopinta pääsee jäähtymään tietyissä olosuhteissa ulkoilmaa kylmemmäksi.

Kuvassa 1 on esitetty ikkunan uloimman lasin lämpötasapainoon vaikuttavat tekijät. Kuvassa esitetystä lämpövirroista säteily taivaalle aiheuttaa lasin jäähtymisen ilmaa kylmemmäksi ja muut hidastavat tai estävät jäähtymisen. Jos lasin lämpötila alittaa ulkoilman kastepistelämpötilan, ikkunaan tiivistyy kosteutta tai huuurretta. Samasta ilmiöstä on kysymys myös auton ikkunoiden kostumisesta ja huurtumisesta, mutta rakennuksen ikkunoissa tiivistymisriski on pienempi ikkunoiden pystyasennon ja niiden läpi kulkevan lämpövuodon takia. Rakennuksen ikkunat kirkastuvat auringon noustua itsestään auton ikkunoita nopeammin sisältä tulevan lämpövuodon takia.

Kuva 1. Ikkunan ulkolasin lämpötasapainoon vaikuttavat tekijät.

MITKÄ TEKIJÄT VAIKUTTAVAT ILMIÖÖN?

Kosteuden tiivistymiseen vaikuttavat ikkunan lämmöneristävyyks, tuulen nopeus, pilvisyys, ilman suhteellinen kosteus, ilman lämpötila ja sen muutokset sekä ikkunan edessä olevat puut, muut rakennukset ja muut maastoesteet. Suurin tiivistymisriski on syksyisin, jolloin ulkoilman kosteus on suuri ja ikkunan lämpöhäviö ulko- ja sisäilman pienen lämpötilaeron vuoksi on pieni. Tuuli lämmittää ilmaa kylmemmäksi jäähtyneen lasin pinnan ja samalla vähentää tai poistaa kondenssiriskin. Ikkunoiden sijainti rakennuksessa vaikuttaa siten, että korkealla oleviin ikkunoihin ja kattoikkunoihin taivaan lämpötila vaikuttaa enemmän kuin ensimmäisen kerroksen ikkunoihin,

minkä vuoksi korkealla sijaitsevien ikkunoiden kondenssiriski on suurempi.

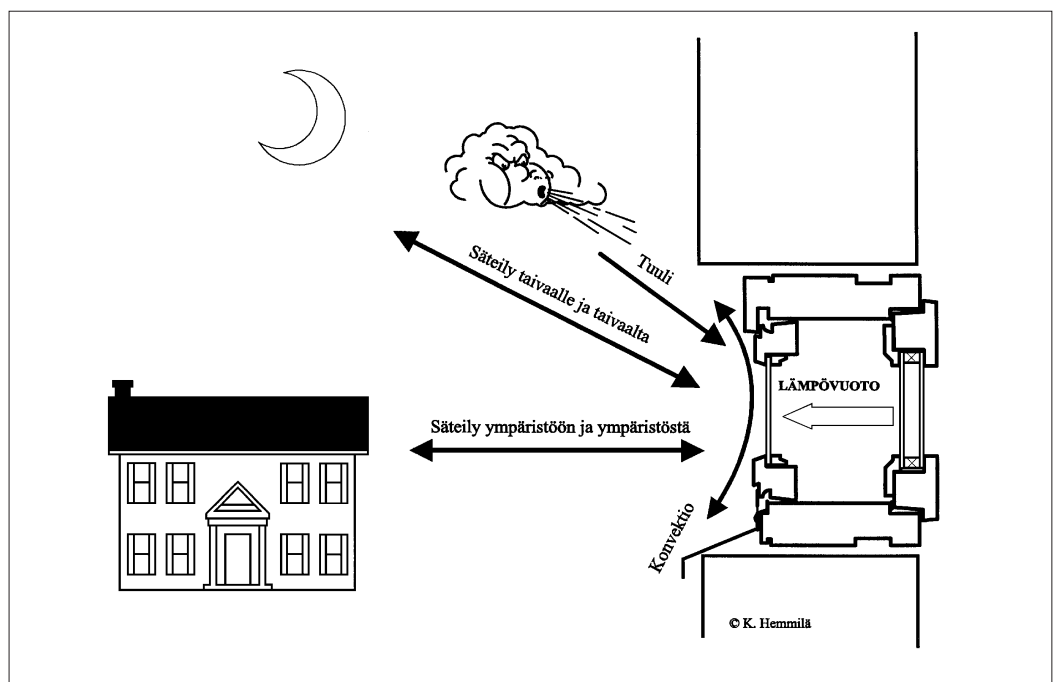
ILMIÖN LASKENNALLINEN TARKASTELU

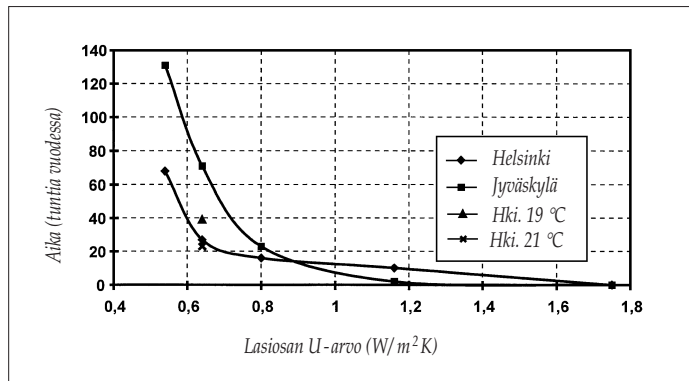
Ilmiön esiintymistiheyttä arvioitiin laskennallisesti Helsingin ja Jyväskylän vuoden 1979 säätiedoilla. Tarkasteluissa ikkunan lasiosan U-arvoa muutettiin $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$:stä $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$:iin. U-arvo $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ saavutetaan kolmella kirkkaalla lasilla ja $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ neljällä lasi- tai kalvokerroksella, joista kahdessa on pienemissiviteettinen selektiivipinnoite ja kahdessa umpiolasin kaasu välissä krypton-kaasua.

Ikkunan ulkopinnan keskimääräinen lämpötila laskettiin tunnit- taistensäätietojen perusteella ja lämpötilaa verrattiin ulkoilman kastepistelämpötilaan. Mikäli ulkopinnan lämpötila on matalampi kuin ulkoilman kastepistelämpötila, kondenssia esiintyi sillä hetkellä. Laskennalliset analyysit on tehty käytämällä seuraavia yksinkertaistuksia: näkyvyyskerroin ikkunasta taivaalle on 50 %, näkyvyyskerroin ikkunasta maastoon on 50 %, maaston lämpötila on sama kuin ilman

lämpötila, taivas on jatkuvasti pilvetön, ikkuna ulkopuolella ei ole varjostuksia ympäristöstä tai seinärakenteista ja ulkopinnan konvektiivinen lämmönsiirtokerroin on vakio. Todellisuudessa kylmä taivas jäädyttää myös maastoa, pilvet vähentävät kondenssiriskiä, ympäristö aiheuttaa varjostuksia ikkunaan ja tuulen nopeuden vaihtelut vaikuttavat lämmönsiirtoker- toimeen. Näiden yksinkertaistusten ja puutteellisten olosuhtetietojen vuoksi tulokset ovat likimääräisiä.

Kuvassa 2 on esitetty ikkuna ulkopinnan kondenssin esiintymis- aika Helsingissä ja Jyväskylässä vuoden 1979 säätietojen perusteella laskettuna. Kondenssin esiintymis- aika nousee jyrkästi, kun lasiosan lämmönläpäisykerrointa pienennetään tasolle $0,6 - 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Käyrän muoto on todennäköisesti varsin oikea, mutta kondenssin esiintymisaikoihin vaikuttavat merkittävästi laskelmissa vakioiksi oletetut ympäristötekijät, minkä vuoksi ajat ovat suuntaa antavia. Lisäksi kokonaisaikaan vaikuttavat vuotuiset sääolosuhteiden vaihtelut.





Kuva 2. Ulkopuolisen kondenssin laskettu esiintymisaika tarkasteluvuonna 1979 Helsingissä ja Jyväskylässä. Huonelämpötilana tarkastelussa oli 20 °C ja sen vaikutus käyrän tasoon on tarkasteltu Helsingin säätiedoilla käyttämällä huonelämpötiloina 19 °C ja 21 °C. Käyrät ovat likimääräistysistä johtuen suuntaa antavia.

KOKEMUKSIA SUOMEN OLOSUhteista

Ilmiötä ei ole havainnointi Suomessa järjestelmällisesti, vaan tiedot perustuvat yksittäisten ihmisten yhteydenottoihin ja muutamiin havaintoihin. Saatujen tietojen perusteella voidaan päätellä:

- esiintymiseen vaikuttavat paikalliset olosuhteet (esimerkiksi, kun Espoossa ilmiö esiintyi voimakkaana, Sipoossa ei ollut mitään ongelmaa)
- kosteilla alueilla (esimerkiksi vesistöjen rannalla) kosteuden tiivistymistä on useammin kuin kuivilla alueilla
- tuulensuojaisilla alueilla tiivistymistä tapahtuu useammin kuin täysin avoimilla alueilla
- kosteuden tiivistyminen uloimman lasin ulkopintaan on harvinaista tavallisilla kolmilasisilla ikkunoilla (lasiosan U - arvo on noin 1,9 W/m²K)
- joissain olosuhteissa kosteutta on tiivistynyt nelilasiin ikkunoihin (lasiosan U - arvo on noin 1,4 W/m²K)
- selektiivilasilla ja täytekaasulla varustetuissa ikkunoissa (lasiosan U - arvo on noin 1,1 W/m²K) kosteutta voi tiivistyä muutamina vuorokautena vuodessa
- tavallisen ikkunan edessä olevan ulkoilmaan tuulettuvan absorboivan auringsuojalasin pintaan voi tiivistyä kosteutta samalla tavoin kuin hyvin lämpöä eristäviin ikkunoihin
- kosteutta voi tiivistyä jopa kaksilasiin puolilämpimien tai viileiden kellaritilojen ikkunoihin

KOKEMUKSIA ULKOMAILTA

Kosteudentiivistyminen ikkunan ulkopintaan on tunnettu ilmiö myös

ulkomailla. Erityisesti Pohjoismaissa, missä ikkunoiden lämmöneristävydet ovat hyvät verrattuna esimerkiksi Keski-Eurooppaan, ilmiö on havaittu Ruotsissa 90-luvun alussa NUTEKin järjestämän ikkunakilpailun jälkeen kilpailussa palkituissa ikkunoissa. Syynä siihen oli nelilasisien kahdella selektiivilasilla varustettujen ikkunoiden lasiosan hyvä lämmöneristävyys (U - arvo on tasoa 0,6 - 0,7 W/m²K). Tutkimusten pohjalta tehtiin raportit /1-4/.

Tutkimuksen /4/ Boråsissa vuonna 1994 tehdyissä mittauksissa tutkittiin kytketyn ikkunan kondenssia. Ikkunassa oli sisäpuolella kaksilasin eristyslasi ja ulkopuolella erillislasi. Ikkunoita oli kolmea tyyppiä: ensimmäinen oli varustettu tavallisilla lasilla (keskiosan U - arvo 1,8 W/m²K), toisessa oli yksi selektiivinen pinnoite ja argon-kaasu (keskiosan U - arvo 1,1 W/m²K) ja kolmannessa oli kaksi se-

lektiivilasia ja argon-kaasu (keskiosan U - arvo 0,9 W/m²K). Viimeksi mainitussa ikkunassa oli kovapinnoitteinen selektiivilasi uloimmassa puitteessa. Kuvassa 3 on esitetty kahdella selektiivilasilla varustetun ikkunan havaitut kondenssit.

Kuvasta 3 voidaan havaita, että kosteuden tiivistyminen ajoittuu pääasiassa elokuun ja marraskuun välille. Tämä johtunee siitä, että ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus ovat edellä mainittuna ajanjaksona varsin korkeat. Ulko- ja sisäilman lämpötilojen pienen eron vuoksi ikkunan lävitse kulkeva lämpöhäviö on pieni. Suuri kosteuspitoisuus ulkoilmassa pienentää pintalämpötilan ja kastepistemäärä eroa. Lisäksi kuvasta voidaan havaita, että kondenssi ajoittuu pääasiassa yön tunteihin ja että vain noin puolet ajasta ikkuna kostuu ylös asti.

Tutkimuksessa /4/ havaittiin, että pääosa kondenssista esiintyi yön pimeinä tunteina ja se haihtui pois nopeasti aamutunteina. Tavallisimmin sitä esiintyi kirkkaina öinä, kun ilmansuhteellinen kosteus oli yli 95 %, tuuli oli vähäistä ja ulkoilman lämpötila oli välillä 0 - 10 °C.

Myös Yhdysvalloissa kosteuden tiivistyminen ikkunan ulkopintaan on tunnettu. Raportissa /5/ tarkastellaan selektiivilasilla varustetun kaksinkertaisen eristyslasin kondenssia. Ratkaisuksi siinä esitetään kovapinnoitetun selektiivilasin käyttöä uloimmana lasina siten, että pinnoite on ulospäin.

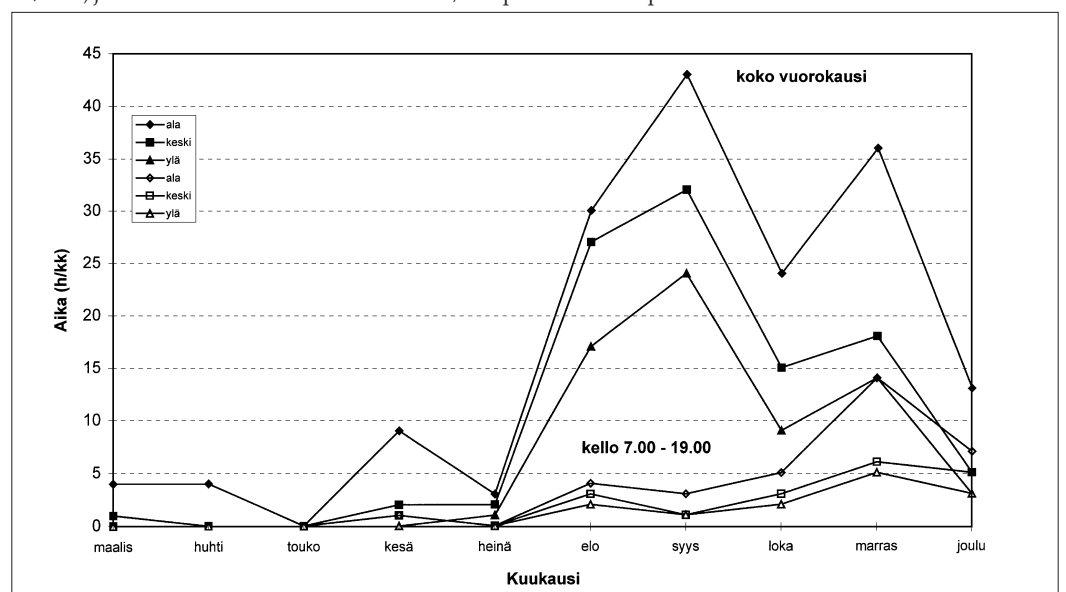
Raportissa kerrotaan, että edellä mainittu rakenne on toiminut myös tehdyissä kokeissa.

KEINOT VÄHENTÄÄ ULKOPUOLISTA KONDENSsia

Varma tapa estää kondenssi on käyttää yöksi suljettavia luokkuja ikkunoiden ulkopuolella, markiiseja tai lippoja ikkunoiden yläpuolella, pitkiä räystäitä rakennuksessa tai ulkopuolista säleikköä ikkunan edessä. Nämä kaikki ratkaisut muuttavat rakennusten ulkonäköä eivätkä sen vuoksi sovellu kaikkiin rakennuksiin.

Yksi mahdollisuus estää ulkopinnan kondenssi on käyttää kovapinnoitteista selektiivilasia uloimmana lasina siten, että pinnoite on ulospäin. Tällöin säteilylämmönsiirto ikkunan ulkopinnalta pienenee ja lasi lämpee. Ongelmana tässä menetelmässä on se, ettei selektiivilasin kestävyysdestä tämän tyyppisessä rakenteessa ole kokemuksia. Näin käytettynä selektiivilasi ei paranna ikkunan lämmöneristävyttä kovinkaan paljon.

Kondenssia voidaan vähentää nostamalla huoneilman lämpötilaa tai asentamalla ikkunat ulkoseinän sisäpinnan kanssa samaan tasoon, jolloin ikkunoiden ulkopuolella on syvennys. Sisälämpötilan nostolla on pieni vaikutus, kuten kuvasta 1 voidaan havaita, mutta lämpötilaa ei ole järkevää nostaa kovinkaan paljoa energiankulutuksen kasvun ja viihtyisyyden heikkenemisen vuoksi.



Kuva 3. Ulkopuolisen kondenssin esiintymisaika eri kuukausina Boråsissa ikkunan eri osissa yhteensä ja kello 7.00 - 19.00 välisenä aikana /4/. Ikkunan lasiosan U - arvo on noin 0,9 W/m²K.

Ikkunoiden asentaminen syvennykseen pienentää sitä kulmaa, jolla se näkee ympäristön. Tämä vähentää taivaan ja ikkunan välistä lämmönsiirtoa ja kondenssia ainakin reuna-alueilla. Toisaalta syvennys vähentää ilmavirtauksia ikkunan pinnalla, mikä puolestaan lisää kondenssiriskiä. Mikä asennussyvyys tuottaa pienimmän tiivistymisriskin, on rakennus-, ympäristö-, olosuhde- ja ikkunakohtainen arvo, jonka arvioiminen on hyvin hankalaa.

Raportissa /3/ mainitaan, että ikkunoiden ulkopinnan puhdistaminen vähentää kondenssiriskiä, mutta ei tiedetä, kuinka suuri vaikutus sillä on käytännössä.

PÄÄTELMÄT

Ulkopuolinen kondenssi ei ole valmistaja- tai ikkunatyypikohtainen, vaan se on seuraus lähinnä ikkunan hyvästä lämmöneristävyydestä. Ulkopuolisen kondenssin pelossa ei kuitenkaan pidä palata vanhoihin kaksi- ja kolmilasisiin ikkunatyyppeihin, koska näissä esiintyy kovilla pak-

kasilla sisäpuolista kondenssia, joka on kestoaltaan pitempiaikaista ja voi vaurioittaa ikkunan pintakäsittelyä sekä karmin ja sisäpuutteen puuosia.

Ilmiön esiintymistiheyden arviointi on vaikeaa, koska ilmiö riippuu voimakkaasti sääolosuhteista. Vuotuiset ja alueelliset vaihtelut ovat todennäköisesti suuria. Tässä vaiheessa ongelmana on myös se, ettei Suomesta ole kerätty järjestelmällistä tietoa ilmiön esiintymisestä. Tämän tiedon hankinta on tärkeää, jotta voitaisiin saada kuva niistä alueista, jotka ovat erityisen alttiita ilmiönsiintymiselle janiistä alueista, joilla ilmiön esiintyminen on harvinaista. Tämän pohjalta tulee määritellä hyväksyttävät kondenssijat ja mahdollisesti U - arvojen minimirajat eri alueilla.

Miksi emme sallisi ajoittaista kondenssia ikkunoiden ulkopintaan, kun vanhoissa kaksi- ja kolmilasissa ikkunoissakin on hyväksytty ajoittainen kondenssi sisäpintaan. Ilmiö sinänsä ei ole suuri ongelma, sillä sitä esiintyy harvoin, pääasiassa loppukesällä ja syksyllä, eikä se vaikuta ikkunan kestävyys. Ainoa todelli-

nen haitta aiheutuu läpi näkemiseen. Ilmiö voidaan kuitenkin kokea epämiellyttävänä, koska ikkunasta ei ajoittain näy kunnolla läpi. Kondenssi kuitenkin ajoittuu pääosin yön pimeisiin hetkiin ja aamuhämärään, minkä vuoksi haitta on pienempi kuin havainnoista voisi päätellä.

Ulkopuolinen kondenssi voi kuitenkin asettaa käytännön rajan ikkunan lasiosan lämmöneristävyyden parantamiselle. Mikäli ikkunan lasiosan U - arvoa pienennetään alle 0,6 W/m²K:n, ulkopuolisen kondenssin esiintymistiheys kasvaa merkittävästi. Tämän vuoksi ikkunan tuotekehityksessä tulisi myös keskittyä karmin- ja puiteosien lämmöneristävyyden parantamiseen, sillä näiden lämmöneristävyys on useimmiten huomattavasti pienempi kuin lasiosan ja toisaalta karmin ja puitteen ulkopintaan tiivistyvä kosteus ei aiheuta haittaa.

Ulkopuolinen kondenssi on ilmiön jokamiehen testausmenetelmä, jolla voi varmistua, että on saanut hyvän lämpöä eristävät ikkunat. Menetelmä ei ole kuitenkaan aukoton, sillä ympäristö ja olosuhteet vaikuttavat

ratkaisevasti ilmiön esiintymiseen. Tämän vuoksi rakennuksen ikkunat voivat olla hyvin lämpöä eristävät ikkunat, vaikkei kondenssia esiintyisikään.

Kirjallisuus

1. Persson, A., Jonsson, B., Marklund, P.-O., Wickman, P., Eriksson, S.-O., *Kondens på fönster - osaker, åtgärder, dimensionering*. 1994. 35 s. + 2 bilagor.
2. Ericson, Ulla, *Entreprenörers och förvaltares erfarenheter av energifönster. Utrednings- och statistikkontoret*. 1995. 22 s.
3. *Kondens på fönster*, NUTEK. 1995. 16 s.
4. Jonsson, Bertil, *External Condensation on Windows. Building Physics in the Nordic Countries*. Espoo, September 9 - 10, 1996. *Proceedings of the 4th Symposium*. pp 215 - 222.
5. Nisön, J., D., N., *Dew on Windows. Energy-Efficient Windows: Research, Ideas, and Product Reviews. Energy Design Update*. 1996. pp 72 - 73.

ISMO HEIMONEN
VTT RAKENNUSTEKNIikka
