

Ilpo Kaikkonen

## Ikkunoiden energiatalous



Insinööri

(AMK)

Rakennustekniikka

Kevät

2017

## TIIVISTELMÄ

**Tekijä(t):** Kaikkonen Ilpo

**Työn nimi:** Ikkunoiden energiatalous

**Tutkintonimike:** Insinööri (AMK), rakennustekniikka

**Asiasanat:** aliquam, dignissim, molestie, tortor, vitae

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella ikkunoiden teknisiä ominaisuuksia ja niiden vaikutuksia tutkimalla ikkunoiden kehitysvaiheita, lämpötekniistä toimintaa ja U-arvon kehitystä.

Ikkunoiden lämpötekniistä toimintaa voidaan parantaa eristyslaseielementillä, keinoina ovat selektiivipinnoitteet, täytekaasut, lasien lukumäärät, lasien välien optimointi sekä karmi ja puiteratkaisun rakenteelliset keinot ja materiaalivalinnat.

Ikkunat ovat tärkeitä rakennusosia. Niiden kautta saadaan rakennukseen auringonsäteilyä, joka pienentää valaistuksen ja lämmityksen tarvittavaa energiaa. Ikkunat kannattaa suunnata etelään, jolloin ne antavat valoa myös talvella. Sopivan kokoiset räystäsrakenteet estävät liiallisen auringon paisteen kesällä. Matalaenergia- ja passiivitaloissa kannattaa kiinnittää erityistä huomiota auringonsuojaukseen, jotta vältetään jäähdystarpeelta.

Rakennusta voidaan suojata ikkunan kautta tulevalta auringon säteilyltä usein eri keinoin. Ikkunalaasiin lisättävä aurinkosuojapinnoite on huomaamaton tapa vähentää sisään tulevaa auringon säteilyä ja lisätä rakennuksen energiatehokkuutta.

Ikkunat tiivistetään siten, että ne ovat sisäpuolelta höyrytiivit ja ulkopuolelta vesitiiviit. Tiivistämällä ikkunat asumismukavuus paranee huomasti, mutta samalla rahaa säästyy. Ikkunoiden tiiveys on energiasäästökysymys.

## ABSTRACT

**Author(s):** Kaikkonen Ilpo

**Title of the Publication:** Energy efficiency in windows

**Degree Title:** e.g. Bachelor of Engineering, Construction Engineering

**Keywords:** aliquam, dignissim, molestie, tortor, vitae

The thesis purpose was to study different technical features of windows and their effects by examining the stages of windows development, thermal activity and U- value performance.

The thermal activity of windows can be improved by insulating glass elements using as selective coatings, filling gases, number of glasses, optimization, of the distance between glasses, as well as choice of materials.

Windows are important building elements, their season will be the building of solar radiation, which reduces lighting and heating energy required. Windows should be oriented to the south, causing them to give light even in the winter. A suitable size of the eaves structure to prevent the excessive sunlight in the summer. Low- energy and passive houses should pay special attention to sun protection, in order to avoid the need for cooling.

The building can be protected though window from solar radition several different means.Window glass to increase the sun protection coating is a discreet way to reduce the in coming solar radition and increase the building´s energy efficiency.

Windows sealed to that the inside vapor- tight and the outside waterproof.By sealing windows, living comfort will improve dramatically, but at the time the money you save.The windows sealing is an energy saving issue.

## ALKUSANAT

Kiitän henkilöitä, joilta olen saanut virikkeitä tämän insinööriyön suorittamiseen.

Kiitän myös koulukavereitani ikimuistoisesta opiskelujasta sekä ystäviäni, jotka ovat tukeneet opiskeluaikana.

Kiitokset Kajaanin ammattikorkeakoulun opettajille hyvästä opetuksesta, erityisesti Matti Tiaiselle.

Kajaanissa 13. 02. 2017

Ilpo Kaikkonen

## Sisältö

1 JOHDANTO.....	1
2 IKKUNOIDEN KEHITYSVAIHEET .....	2
2.1 Ikkunoiden valmistus.....	3
2.2 Ikkunatyypit .....	4
2.3 Lämmöneristyskyky.....	7
2.4 Ikkunoiden U- arvon kehitys.....	7
3 IKKUNOIDEN LÄMPÖTEKNINEN TOIMINTA .....	9
3.1 Lämmönkulku ikkunassa.....	9
3.2 Ikkunoiden energiatehokkuus .....	11
4 ERISTYSLASIELEMENTTI .....	13
4.1 Välilista.....	14
4.2 Täytekaasu .....	14
4.3 Lasi .....	16
5 IKKUNOIDEN KAUTTA TULEVA AURINGON SÄTEILYENERGIA.....	18
5.1 Ikkunoiden energialuokitus.....	18
5.2 Auringonsäteilyn lämmön huomioon ottaminen .....	19
5.3 Ikkunoiden kautta tulevan säteilyenergian määrittäminen.....	20
6 KARMIN JA RUNGON TIIVISTYS .....	27
Ikkunan sijainti seinärakenteen syvyys suunnassa .....	29
7 IKKUNOIDEN TULEVAISUUDEN RATKAISUT .....	34
8 YHTEENVETO .....	36
LÄHDELUETTELO .....	37
LIITTEET .....	
LIITE 1 Ympäristön varjostuksen korjauskertoimet $F_{\text{ympäristö}}$ .....	
Yläpuolisten varjostuksen korjauskertoimet $F_{\text{ylävarjostus}}$ .....	
Sivuvarjostuksen korjauskertoimet lämmityskaudelle $F_{\text{sivuvarjostus}}$ .....	

## KÄSITTEITÄ

### Auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin (g-arvo)

g-arvon suhdeluku, joka kertoo, kuinka suuri ikkunan ulkopintaan tulleesta auringonsäteilystä tulee ikkunan läpi huone tilaa lämmittämään.

### Eristyslasien täytekaasut

Lämmöneristävyys paranee, kun eristyslasien välitila täytetään ilmaa hidastuotteisemmällä kaasulla. Täytekaasuna käytetään jalokaasuja, joita ovat esimerkiksi argon, krypton ja ksenon.

### Hygroσκοoppisuus

Kyky sitoa itseensä ilman vesihöyryä ja luovuttaa tätä sitoutunutta kosteutta takaisin ilmaan, kun ilman suhteellinen kosteus on pienempi kuin aineen.

### Ilmanvaihtokerroin

Ilmoittaa, kuinka monta kertaa ilma vaihtuu tunnissa. Ilmanvaihtokerroin lasketaan jakamalla huoneeseen tunnissa tullut tai sieltä poistunut ilmavirta huoneen ilmatilavuudella. Kerroin 1/h.

### Kondenssi

Ulkoilman kosteuden tiivistyminen hyvin lämpöä eristävien ikkunoiden ulkopintaan.

### Konvektio

Lämmön siirtyminen ilmavirran mukana. Kosteuskonvektiossa kosteus siirtyy ilmavirran mukana.

## **Lasien selektiivipinnoitteet**

Selektiivipinnoite on läpinäkyvä metalli- tai metallioksidipinnoite, joka läpäisee ja heijastaa säteilyn eri taajuuksia eri tavalla. Selektiivipinnoite vähentää ikkunan lasien välistä lämpösäteilyä ja parantaa siten ikkunan lämmöneristävyttä.

<b>MSE-ikkuna</b>	Moduulimittainen, sisään avautuva, eristyslasilla varustettu kaksipuitteinen ja kolmilasinen ikkuna.
<b>MSK-ikkuna</b>	Moduulimittainen sisään avautuva kolmipuitteinen kolmilasinen ikkuna.
<b>U-arvo</b>	Lämmönläpäisykerroin eli U- arvo ilmoittaa sen lämpömäärän, jonka 1 m <sup>2</sup> suuruinen rakennusosa läpäisee tunnissa, kun lämpötilaero on 1 °C. Rakennustekniikassa lämmönläpäisykerroimen tarkoituksena on kuvata rakennuksen eri rakennusosien lämmöneristekykyä. Mitä pienempi U- arvo, sitä parempi lämmöneristys. SI-järjestelmän mukaisesti lämmönläpäisykerroimen yksikkö on wattikelviniä ja neliometriä kohti eli (W/m <sup>2</sup> K)

## 1 JOHDANTO

Ikkunat on tärkeä osa asumista. Länsimaisista ihmisistä valtaosa viettää sisätiloissa 70 - 80 % ajastaan. Auringon ja luonnonvalolla on huomattava vaikutus ihmisen terveyteen ja viihtyvyyteen. Auringon valolla on suuri merkitys energian kulutukseen. Auringon lämpösäteily lämmittää sisäilmaa kesäisin voimakkaasti, jolloin ikkunoiden täytyy olla suojattu selektiivisesti kuumalta lämpösäteilyltä.

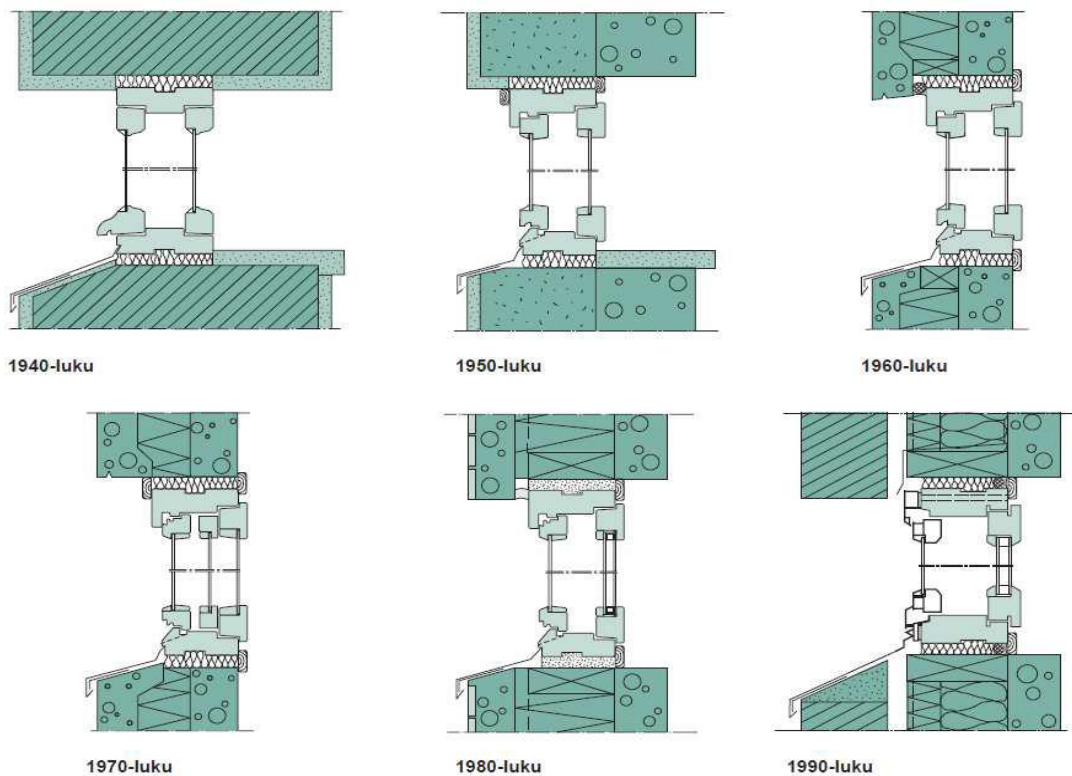
Suomen rakentamismääräyskokoelma antaa määräykset ja ohjeet uuden rakennuksen ikkunoille ja ikkunamäärälle. Vanhat kerrostalot ja puutalot eivät täytä nykyisiä ikkunavaatimuksia. Niiden omistajia mietityttää remonttia suunnitellessaan, mikä ikkunavaihtoehto on heidän kannaltaan järkevin ja parantaa heidän talonsa asumisviihtyvyyttä ja on asennus- ja energiansäästökustannuksiltaan paras.

Tässä insinööriyössä esitellään erilaisia ikkunamalleja ja energiataloudellisuutta säästäviä ratkaisuja.



## 2 IKKUNOIDEN KEHITYSVAIHEET

Ikkunat pientaloissa ovat olleet 1960-luvulle saakka pääasiassa kaksilasisia sisään ja ulos avautuvia tai sisäänpäin aukeavia puuikkunoita. Sisäänpäin aukeavia, pääosin sivusaranoituja MS-ikkunoita on käytetty 1960-luvulta lähtien. Kun Suomen rakentamismääräyskokoelma määritti vuonna 1975 lämpimien tilojen ikkunan valoaukon lämmönläpäisykertoimeksi  $2,1 \text{ W/m}^2$ , tulivat uudisrakentamisessa käyttöön kolmilasiset ja kolmipuitteiset MSK ikkunat. 1980- ja 1990-luvulla tulivat kolmilasiset ja kaksipuitteiset MSE ikkunat, joissa on kaksi puitetta ja sisimmässä puitteessa on kaksilasinen eristyslasi. Lämmöneristävyysvaatimusten yhä kiristyessä ovat 2000-luvulla yleistyneet ikkunat, joissa on eristyslasi sekä sisä- että ulkopuitteessa (MSE2E) tai kolmilasinen eristyslasi sisäpuitteessa (MSE3E). Tyypillisimmät ikkunat eri aikakausilla on esitetty kuvassa 1.



Kuva1. Tyypillisiä ikkunarakenteita eri vuosikymmeniltä.[1.]

## 2.1 Ikkunoiden valmistus

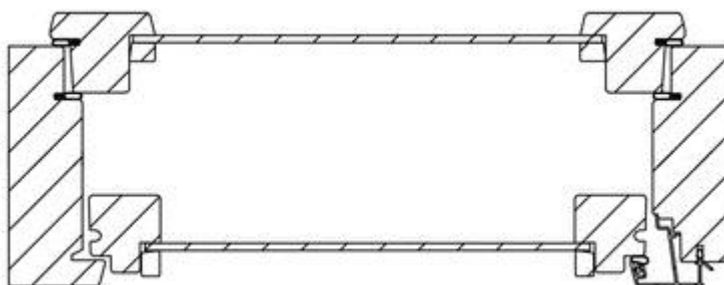
Suomessa käytetyt ja valmistetut ikkunat ovat muuttuneet 1900-luvulla paljon niin rakenteiltaan ja materiaaleiltaan kuin myös valmistusteknisesti. Lähes sata vuotta sitten ikkuna tehtiin tilauksen mukaan valikoidusta puumateriaalista käsitöinä ja sovitettiin työmaalla paikoilleen. Tänä päivänä ikkunan valmistus on pitkälle automatisoitua sarjavalmistusta. Puumateriaalia ei valikoida tiettyyn käyttötarkoitukseen, vaan käytettävä raaka-aine on standardoitua. Ikkunat valmistetaan mittojen mukaan. Teollistuminen tarjoaa mahdollisuuden tasaisiin tuotantomääriin ja hyvin suunniteltuun valmistukseen ja alihankintaan. Ikkunatehtaat ovat keskittyneet puite ja karmimateriaalien kehittämiseen. Lasiosat toimittaa puolestaan lasivalmistukseen erikoistunut yhteistyökumppani. Erikoistuminen ja yhteistyökumppaniverkosto ovat tehostaneet ikkunanvalmistusta sekä nopeuttaneet tuotantoa oleellisesti. Lisäksi ikkunat ovat tasalaatuisempia. Haasteena on jatkossakin alan kilpailukyvyyn ja viennin kehittäminen sekä asiakkaiden yksilöllisten tarpeiden täyttäminen.

Ikkunan valmistus oli 1900-luvun alussa käsin valmistusta tilaustyönä puusepän pajassa. Lasitus ja maalaus tehtiin työmaalla. 1950-luvulla alkoi tehdasmainen ikkunan valmistus. Ikkunat tehtiin tilaustyönä ja osien sovitus, maalaus ja lasitus työmaalla. Koneellinen sarjatuotanto alkoi 1970-luvulla. Ikkunoilla oli vakiokoot, jolloin varastoon valmistuminen tuli mahdolliseksi. Ikkunoiden kuultokäsittely ja lasitus tehtiin tehtaalla. Teollinen valmistus alkoi 1985 tilauspohjaisesti, atk:ta hyödyntäen. Myös puuosien ruiskumaalaus alkoi tuolloin tehtaalla. Asuntorakentamisen määrä oli nopeassa kasvussa. Ikkunoiden varastoon valmistus väheni ja ikkunoita tehdään tilausten perusteella. Ulkopuitteen ja karmien ulko-osan valmistus alumiiniprofiilista alkoi 1990. Tehokkaat lämpöä eristävät lasiosat tulivat Suomen markkinoille vuonna 1995. Puun ja alumiinin yhdistämisestä ikkunassa tulee suosittu ratkaisu. Korjausrakentamisen osuus ikkunanvalmistuksessa kasvoi. Ikkunatehtaiden automaatio mahdollistaa valmistettävien ikkunoiden koon

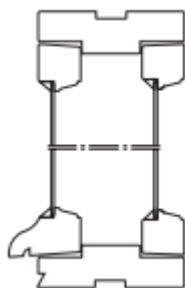
määrittelemisen 1 mm:n tarkkuudella. Energiansäästöikkunoiden käyttö yleistyy selvästi. [2.]

## 2.2 Ikkunatyypit

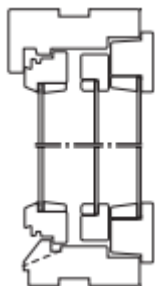
Ikkunatyypeistä puhuttaessa käytetään ikkunan puitteiden ja lasien lukumäärän perusteella määrättyjä lyhenteitä. Ikkunatyypit ja lyhenteet ovat kuvissa. (RT 41-10947)



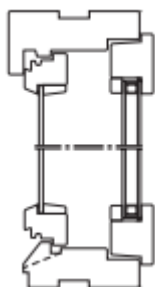
Kuva 2. **MS** Sisään aukeava kaksipuitteinen kaksilasinen ikkuna.



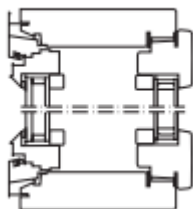
Kuva 3. **MSU** Sisään - ulos- aukeava kaksipuitteinen, kaksilasinen ikkuna.



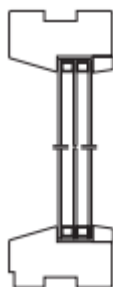
Kuva 4. **MSK** Sisään aukeava kolmipuitteinen kolmilasinen ikkuna, joka oli yleinen 1970 - ja 1980 - luvuilla rakennetuissa rakennuksissa.



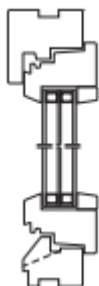
Kuva 5. **MSE** Sisään aukeava kaksipuitteinen kolmilasinen ikkuna, jonka sisemässä puitteessa on kaksilasinen umpiolasielementti, se on tällä hetkellä yleisin Suomessa käytetty ikkunatyyppe. Tuuletusikkunoissa puitteet voidaan kytkeä aukipitolaiteella yhteen.



Kuva 6. **MS2E** Sisään aukeava kaksipuitteinen nelilasinen ikkuna, jossa sekä sisä- että ulkopuitteessa on kaksilasinen umpiolasielementti.



Kuva 7. **MEK** Kiinteä ikkuna, joka on lasitettu kaksi- tai kolmilasisella kiinteällä umpiolasielementillä.



Kuva 8. **SE** Sisään aukeava yksipuitteinen ikkuna, joka on lasitettu kaksi- tai kolmilasisella umpiolasielementillä. Suomalaisten ikkunoiden perustyyppit ovat MSK-, MSE-, ja 3K-ikkunat. [2.]

### 2.3 Lämmöneristyskyky

U-arvo eli lämmönläpäisykerroin kertoo, kuinka paljon ikkuna läpäisee lämpöä. Mitä pienempi U-arvo on, sitä parempi on ikkunan lämmön eristävyys. Normitalon arvot on määritelty Suomen rakentamismääräyskokoelmassa RakMk D3. Määräykset koskevat uudisrakentamista, ja niitä sovelletaan rakennusten korjaus ja muutostöihin. Rakennusosien, myös ikkunoiden, lämmöneristävyttä kuvataan lämmönläpäisykertoimella eli U-arvolla ( $W/m^2K$ ), joka on käänteinen arvo lämmönvastukselle. U-arvon kasvaessa lämmöneristävyys heikkenee. Pelkkä U-arvo ei kuitenkaan kerro kaikkea ikkunan energiatehokkuudesta. Auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin, g-arvo kertoo, kuinka suuri osa ikkunan ulkopintaan tulleesta auringonsäteilystä tulee ikkunan läpi huonetilaa lämmittämään. Lisäksi koko ikkunarakenteen (lasi, karmit ja puitteet) ilmantiiveys on energiakulutuksen kannalta merkittävä asia. Kuluttajat voisivat mahdollisimman helposti vertailla eri ikkunamallien energiatehokkuutta. Energialuokituksessa lasketaan U-arvon, g-arvon sekä ikkunan ilmanpitävyyden mukaan vertailuarvoja E, jonka yksikkö on kWh/m<sup>2</sup>a. Esimerkiksi E-arvo 100 kWh/m<sup>2</sup>a tarkoittaa, että jokainen ikkunaneliömetri aiheuttaa 100 kWh:n vuotuisen energiakulutuksen.[3.]

### 2.4 Ikkunoiden U- arvon kehitys

Suomessa oli MS ikkunat käytössä 70 - luvun alkupuoliskolle saakka, U-arvo oli 2,6 - 2,8 W/m<sup>2</sup>K. Seuraava kehitys oli 80 - luvun jälkipuoliskolla U-arvo 1,7- 1,8 W/m<sup>2</sup>K ja ikkunatyyppeiksi MSK. Kehityksen myötä tuli uusi tuote, jonka U-arvo on 1,8 W/m<sup>2</sup>K ja ikkunatyyppeiksi on MSE. Ikkunateollisuuden kehityksen ansiosta tuotteen U - arvo on parantunut 1,8....1,0 W/m<sup>2</sup>K. Vuonna 2000 tulivat energiansäästö ikkunat. Ikkunassa on auringonsuojalasi + selektiivilasi. Selektiivilasien ansiosta U- arvo on lasiosalle on 0,52 W/m<sup>2</sup>K ja ikkunalle 0,76 W/m<sup>2</sup>K. Taulukossa 1 on U-arvon kehitys eri vuosina.

Taulukko 1. Ikkunoiden U- arvon kehitys eri vuosina.[4.]

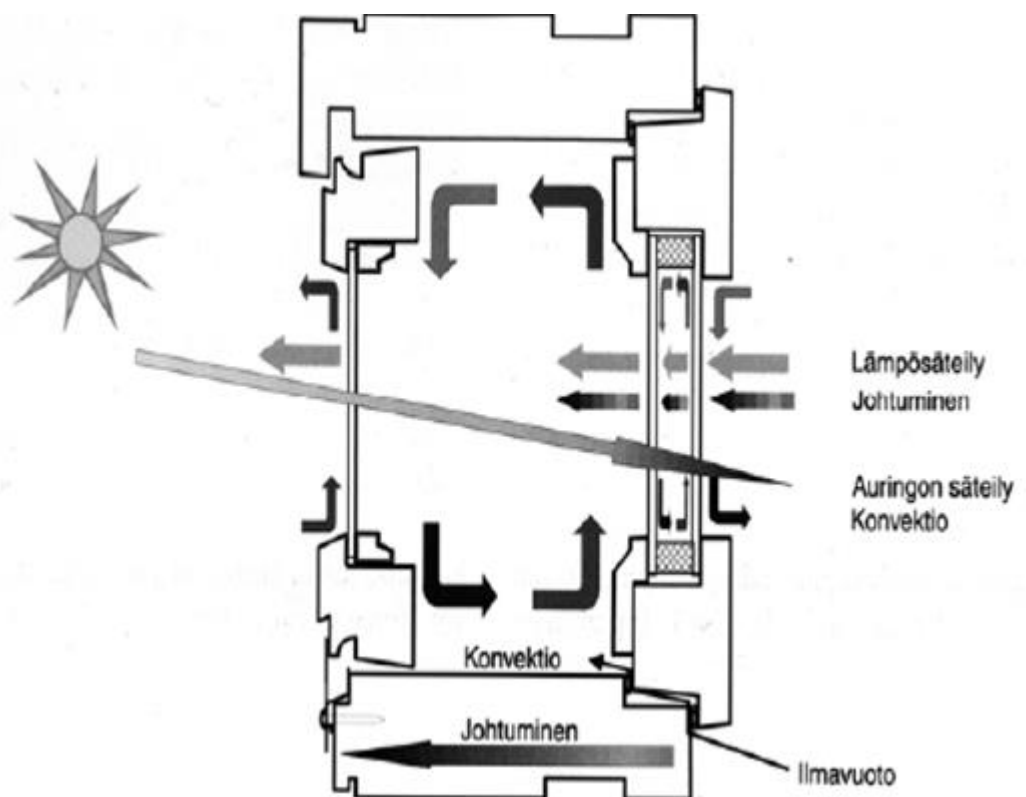
Rakennusosa	Rakennusluvun vireilletulovuosi								
	-1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-
Lämpimät tilat									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,70	0,35	0,28	0,25	0,24	0,17	0,17
Maanvarainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16	0,16
Ryömintätilainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,17	0,17
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,35	0,35	0,35	0,29	0,22	0,16	0,16	0,09	0,09
Yläpohja	0,47	0,47	0,35	0,29	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09
Ovi	2,2	2,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0
Ikkuna	2,8	2,8	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0	1,0

### 3 IKKUNOIDEN LÄMPÖTEKNINEN TOIMINTA

#### 3.1 Lämmönkulku ikkunassa

Ikkunan teknisistä ominaisuuksista tärkeimmät ovat lämmöneristävyys sekä ilman- ja sateenpitävyys. Nämä varmistavat viihtyisän ja terveellisen sisätilan ja estävät energian tuhlaamista.

Kuvassa 9 esitetään kaikki lämmönsiirtymismuodot, joilla lämpö kulkee ikkunan läpi.



Kuva 9. Lämmön siirtyminen ikkunan läpi.[2.]



Auringon lämpösäteily ja valo ovat aallonpituudeltaan niin lyhyitä, että ne läpäisevät suurimmaksi osaksi ikkunan lasit. Osa säteilystä absorboituu (imeytyy) lasiin, mikä lämmittää lasia. Sen sijaan huonepintojen lähettämä lämpösäteily on niin pitkäaaltoista, ettei se läpäise laseja, vaan absorboituu niihin. Konvektio on lämpötilaeroista ja tuulesta johtuvaa ilmavirtausta, joka siirtää myös lämpöä. Johduttaminen on lämmön siirtymistä kiinteässä, nestemäisessä tai kaasumaisessa aineessa siten, ettei tämä aine itse siirry. Ikkunassa lämpö siirtyy näillä kaikilla kolmella tavalla sekä ulko- että sisäpinnoille. Sisältä ulos siirtyvä lämpö vaikuttaa ikkunan lämmöneristävyyteen ja aiheuttaa lämmönhukkaa. Sisälle tuleva auringonsäteily on talvella ilmaislämpöä, mutta kesällä se aiheuttaa epäviihtyisyyttä lämmittämällä huonetiloja liian lämpimiksi. Virtauksia voi olla myös ikkunan läpi sisältä ulos tai ulkoa sisälle. Myös nämä ilmavuodot kuljettavat lämpöenergiaa ja vaikuttavat ikkunan energiakulutukseen. Ilmavuodon määrään ja näin lämpövuotoon vaikuttavat rakojen suuruus ja pinta-ala sekä ilmanpaineen ero ikkunan sisä- ja ulkopuolelta. Ikkunoiden lämmöneristävyys perustuu lasien välissä olevien kaasukerrosten lämmöneristävyyteen, eikä lasien lämmöneristävyydellä ole paljoakaan merkitystä. Tavallisilla laseilla varustetussa ikkunassa lasien välisen säteilyn osuus on noin 2/3 lasiosan lämpöhäviöstä. Kolmasosa lämpöhäviöstä aiheutuu johduttamisesta kaasussa ja kaasuvirtausten mukaan kuljettamasta lämmöstä.

Ennen ikkunoiden lämmöneristävyyttä pystyttiin parantamaan vain lasien määrää lisäämällä. Tällä saavutettava parannus olikin huomattava lisättäessä kaksilasiiseen ikkunaan kolmas lasi. Lasien määrän kasvattaminen kolmea suuremmaksi ei ole yleensä kannattavaa, sillä saavutettu hyöty haittoihin verrattuna on pieni. Haittoina ovat muun muassa painon ja sisäisten heijastusten kasvu sekä valonläpäisyn pieneneminen. Lasien välinen etäisyys vaikuttaa myös jonkin verran ikkunan lämmöneristävyyteen. Paras lämmöneristävyys saavutetaan, kun lasien välinen etäisyys on noin 20 mm. Tätä suurempi etäisyys heikentää lämmöneristävyyttä hieman ja pienempi etäisyys merkittävästi.[2.]

Ikkunan lämmöneristävyyttä voidaan parantaa lasien lukumäärää lisäämättä pienentämällä lämmön siirtymistä lasien välissä ja vähentämällä lämmön johtumista karmi- ja puiterakenteissa. Tähän on käytössä seuraavia rakenteellisia ratkaisuja:

- Eristyslasissa käytetään selektiivilasia.
- Eristyslasissa käytetään täytekaasuna argonia tai kryptonin ilman asemesta.
- Valitaan lasien väliset etäisyydet sillä tavoin, että niillä saavutetaan paras lämmöneristävyys.
- Eristyslasin välilistana käytetään alumiinista listaa paremmin lämpöä eristävää listaa, esimerkiksi ruostumattomasta teräksestä, TPS-massasta tai muovista valmistettua välilistaa, joka eristää lämpöä paremmin kuin alumiinilista.[2.]

### 3.2 Ikkunoiden energiatehokkuus

Ikkunat ovat rakennuksen vaipan huonoimmin lämpöä eristävä rakennusosa. Tämän takia kannattaa kiinnittää huomiota ikkunoiden energiatehokkuuteen, pinta-alaan ja siihen, mihin ilmansuuntaan ne on suunnattu. Ikkunat eivät ole pelkästään lämpöä hukkaavia rakenneosia; niiden kautta saadaan rakennukseen auringonsäteilyä, joka pienentää valaistukseen ja lämmitykseen tarvittavaa energiaa.

Suuria koko seinän korkuisia ikkunapintoja tulisi energiatehokkuuden näkökulmasta välttää. Suurimmat ikkunat ovat yleensä olohuoneessa. Olohuoneen ja muiden oleskelutilojen ikkunat kannattaa yleensä suunnata etelään, jolloin ne antavat valoa myös talvella. Sopivankokoiset räystäsrakenteet estävät liiallisen au-

ringonpaisteen kesällä. Matalaenergia- ja passiivitaloissa kannattaa kiinnittää erityistä huomiota aurinkosuojaukseen, jotta vältetään jäähdytystarpeelta.

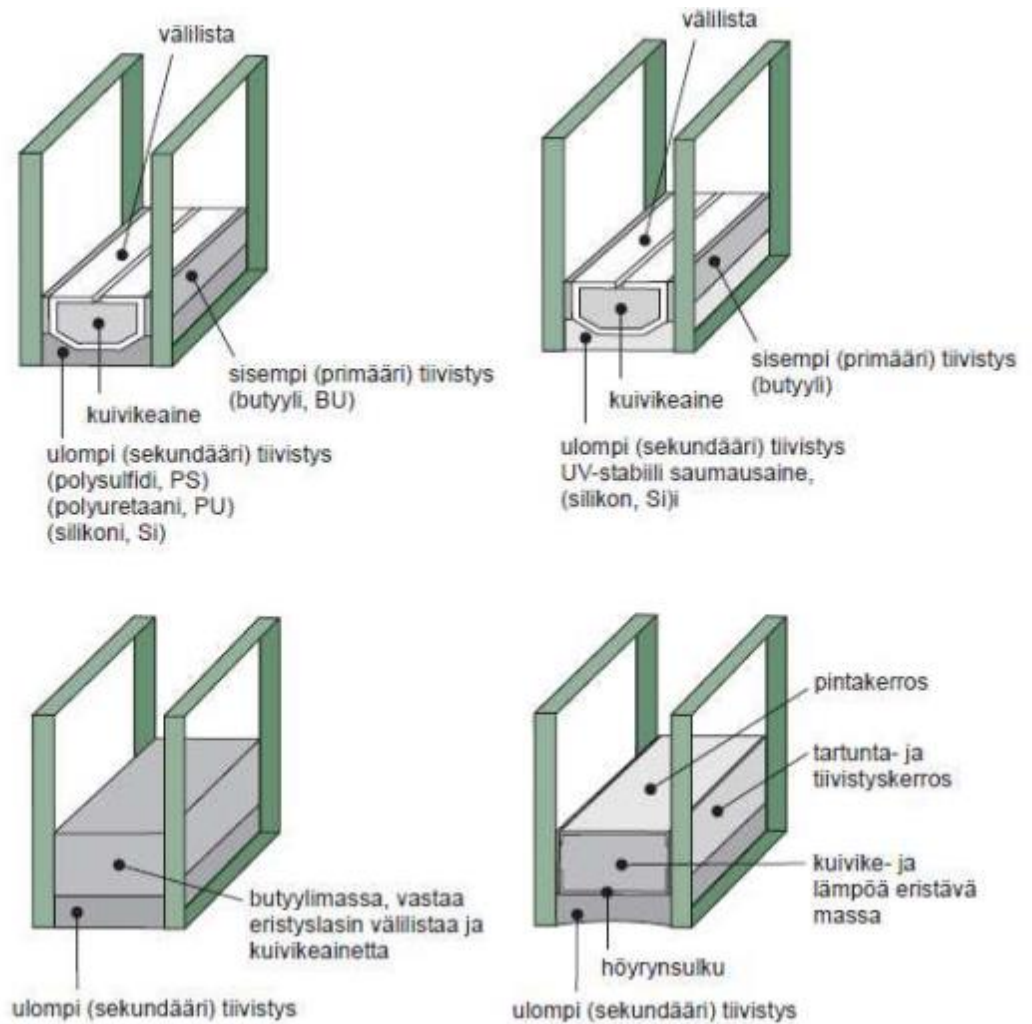
Hyvin lämpöä eristävien ikkunoiden ulkopintaan saattaa tietyissä sääolosuhteissa tiivistyä kosteutta. Ilmiötä ei juuri esiinny tavallisissa kolmilasisissa ikkunoissa. Kosteuden tiivistyminen ikkunan ulkopinnalle on ominaispiirre hyvin eristetyille ikkunoille, ja se kertoo, että ikkuna eristää lämpöä erittäin tehokkaasti. Haitta on kuitenkin pieni verrattuna hyvin eristettyjen ikkunoiden tuomiin etuihin. [3.]

Ikkunoiden läpi karkaava lämpöenergia saattaa olla jopa kuusinkertainen muun ulkovaipan keskiarvoon nähden, eikä hyvin suunniteltu ikkunakaan toimi oikein, mikäli se on huonosti paikoilleen asennettu. Etelään suunnattavat ikkunat tarjoavat hyödynnettäväksi suuren määrän luonnonvaloa, mutta aurinkoisina vuodenaikoina ne päästävät sisälle myös haitallisen paljon lämpöä. Rakennusteknisesti auringonpaahteen pääsyä sisätiloihin voidaan vähentää räystäillä, säleiköillä sekä muilla suojilla, mutta huomaamattomampi keino on käyttää auringonsuojakalvolla varustettuja ikkunoita. Ikkunakalvoja on käytetty jo parinkymmenen vuoden ajan, mutta uuden nanoteknologian ansiosta niiden käyttökelpoisuus ja tehokkuus ovat kasvaneet huomattavasti. Ikkunakalvo estää lämpöä läpäisemästä ikkunoita, jolloin jäähdytystarve pienenee hellejaksojen aikana. Kylmällä ilmalla kalvo puolestaan vähentää ikkunoiden kautta tapahtuvaa lämmön hukkaa. Kun tarkoituksena kuitenkin on myös auringosta saatavan lämmön hyväksikäyttö, kalvotus ei välttämättä sovi kaikkiin kohteisiin.

Ikkunan energiatehokkuutta voidaan parantaa pinnoitteilla sekä täytekaasuilla. Selektiivipinnoitteet ovat läpinäkyviä metalli- tai metallioksidipinnoitteita, jotka läpäisevät ja heijastavat säteilyn eri taajuuksia eri tavalla. Niillä voidaan vähentää ikkunan lasien välistä lämpösäteilyä ja täten parantaa lämmöneristävyttä. Toinen keino ikkunoiden eristävyuden parantamiseen on täyttää eristyslasien välitila ilmaa hidastuotteisemmalla kaasulla, kuten jalokaasuilla. Myös välilistan materiaalilla on vaikutusta koko ikkunan energiatehokkuuteen; ruostumaton teräs, lämpömassalista ja muovi eristävät alumiinia paremmin, jolloin ikkunan keskimääräinen U-arvo paranee. [3.]

#### 4 ERISTYSLASIELEMENTTI

Eristyslaselementti on elementti, jossa on liimattu kaksi tai useampia lasilevyjä kaasutiiviisti välilistakehään. Eristyslasin rakenteita on esitetty kuvassa 10. Väli- listat tiivistetään kosteuden pääsyn estämiseksi lasien välitilaan ja tiivistys muo- dostaa joustavan sidoksen lasille ja välilistalle. Kaksilasisen eristyslasin läm- möneristävyys vaikuttaa sen lasivälin paksuus, energiansäästölasien pinnoit- teiden emissiviteetit, välitilassa käytettävä täytekaasu sekä välilistan materiaalin lämmönjohtavuus.



Kuva 10. Eristyslasin rakennemalleja.[5.]

#### 4.1 Välilista

Yleisimmin käytetyt välilistan paksuudet ovat 9, 12, 15 ja 18 mm ja materiaalit alumiini ja ruostumaton teräs. Alumiinin lämmönjohtavuus on 150 - 200 W/mK ja ruostumattoman teräksen vastaavasti 17 W/mK. Alumiinin suuren lämmönjohtavuuden haittana on siitä aiheutuva huono eristyslasin reuna-alueen lämmöneristävyyden. Ruostumattoman teräksen suuremman lujuuden vuoksi voidaan siitä valmistettu lista tehdä seinämiltään jopa 50 % alumiinista ohuemmaksi, jolloin reuna-alue jää ohuemmaksi ja valo-aukko suuremmaksi. Nykyään käytetäänkin pääosin ruostumattomasta teräksestä valmistettuja välilistoja. Metallisten listojen ohella on kehitetty muun muassa muovista valmistettuja ja termoplastisesta polymeerista lasien väliin pursotettavia listoja. Näillä saavutetaan parempi reuna-alueen lämmöneristävyyden kuin metallisilla listoilla. Välitilan täytekaasuna käytetään ilmaa, argonia sekä kryptonit.[5.]

#### 4.2 Täytekaasu

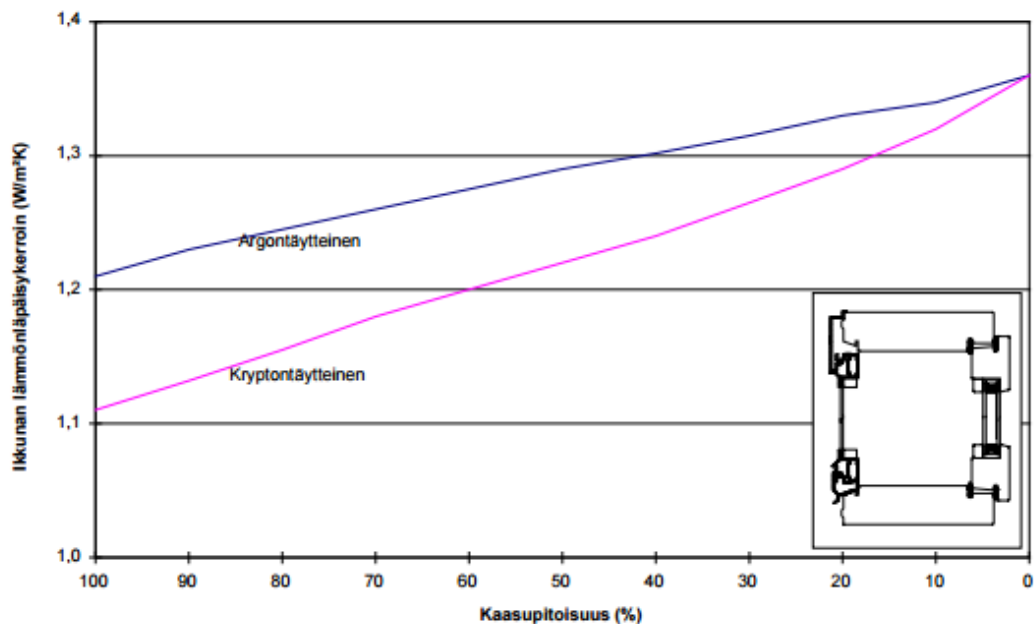
Ikkunan lämmöneristävyyttä voidaan parantaa täyttämällä eristyslasin välitila ilman sijasta lasivälin konvektiota ja lämmönjohtavuutta pienentävällä täytekaasulla. Tähän käyttötarkoitukseen soveltuvia kaasuja ovat argon, krypton ja ksenon. Nämä kaasut ovat myrkyttömiä ja kemiallisiin reaktioihin osallistumattomia. Näitä jalokaasuja esiintyy pieninä pitoisuuksina ilmassa, ja niitä valmistetaan erottamalla nesteytetystä ilmasta. Täytekaasun lämpöteknisiin ominaisuuksiin vaikuttavat mm. kaasun lämmönjohtavuus, viskositeetti ja lasien välinen etäisyys. Näillä kaasuilla on parempi lämmönjohtavuus kuin ilmalla. Argonin lämmönjohtavuus eli  $\lambda$ -arvo on 0,01772 W/mK, kryptonin 0,00943 W/mK ja ksenonin 0,00565

W/mK. Käytännössä ilman lisäksi käytetään argonia, koska ksenon ja krypton ovat harvinaisuutensa vuoksi kalliita. Täytekaasulla voidaan myös parantaa äänieristävyyttä, esimerkkinä rikkiheksafluoriini (SF<sub>6</sub>). [5.]

Täytekaasut parantavat MSE-selektiivilasi-ikkunan U-arvoa enimmillään 0,1-0,15 W/m<sup>2</sup>K (argon), 0,15 - 0,2 W/m<sup>2</sup>K (krypton) ja 0,2 - 0,25 W/m<sup>2</sup>K (ksenon). Eristyslasin välilistan leveys vaikuttaa saavutettaviin U-arvoihin. Kolminkertaisessa eristyslasissa tai erillisellä kalvolla varustetussa eristyslasissa on kaksi ilmapäliä, jolloin täytekaasujen lämmöneristävyyttä parantava vaikutus on noin kaksinkertainen, kuin molemmissa ilmapäleissä käytetään täytekaasua.

Kaasujen pysyvyydestä on tehty mittauksia mm. Saksassa. Valitsemalla oikein eristyslasin reunakitti ja käyttämällä riittävän paksua kittikerrosta kaasuvuoto voidaan pitää alle 1 % vuodessa. Mikäli kaasuvuoto pysyy ajan suhteen vakiona, on 50 vuoden kuluttua kaasusta jäljellä vielä puolet. Tällöin ikkunan lämmöneristävyyttä ei vielä ole oleellisesti huonontunut.

Täytekaasun pitoisuuden vaikutus on lähes suoraviivaista 100 - prosenttisen täytön ja pelkän ilman välillä. Eristyslasin täyttäminen niin, että kaasutilassa olisi puhdasta argonia tai kryptonaa, on käytössä olevilla täyttömenetelmillä mahdotonta, sillä sinne jää ainakin muutama prosentti ilmaa. Mikäli täyttö jostain syystä epäonnistuu, ilmaa voi olla useita kymmeniä prosentteja. Eristyslasi myös vuotaa koko ajan täytekaasua pois reunatiiviseristysten läpi. Vuodon suuruus riippuu tiivistemassojen läpäisevyydestä, massauksessa olevista vioista sekä massasauman paksuudesta ja leveydestä. Jos eristyslasissa on valmistuksen jälkeen 90 % täytekaasua ja vuoto on 1 % vuodessa, 20 vuoden kuluttua eristyslasissa on täytekaasua 74 %. Tällöin kryptontäytteen ikkunan lämmönläpäisykerroin kasvaa noin 0,03 W/m<sup>2</sup>K. [6.]



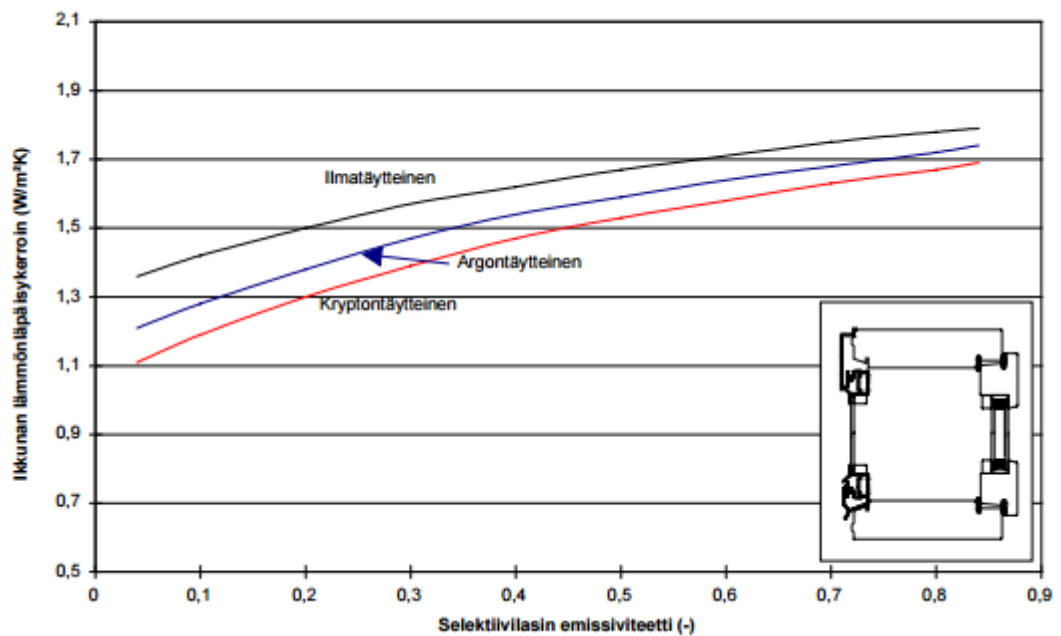
Kuva 11. Eristyslasin kaasun täyttöasteen vaikutus alumiinisella ulkopuutteella varustetun 12 M x 12 M kokoisen MSE - ikkunan keskimääräiseen lämmönläpäisykerroimeen. Ikkunassa on yksi selektiivilasi. [6.]

#### 4.3 Lasi

Normaaleissa ikkunoissa käytettävän lasin paksuus on yleisemmin kolme tai neljä millimetriä. Lasin lämmönjohtavuus eli  $\lambda$  - arvo on 1,0 W/mK. Käyttämällä eristyslasin yhdessä lasipinnassa energiansäästölasiä eli selektiivilasiä voidaan eristyslasin lämmöneristävyttä parantaa huomattavasti. Selektiivilasissa on lasipinnan emissiivisyyttä pienennetty metallioksidikerroksilla. Tämän ansiosta pitkäaaltoisesta, sisältäpäin heijastuvasta lämpösäteilystä vain osa läpäisee selektiivilasin. Eristyslasissa selektiivilasin sijainnilla ei ole merkitystä, mutta huonon pesunkestävyytensä takia metallioksidipinnoitteen tulee sijaita välitilaan rajoittuvalla pinnalla. [6.]

Kuvassa 12 on esitetty alumiinisella ulkopuutteella varustetun MSE- ikkunan keskimääräinen lämmön läpäisykerroin erilaisilla selektiivilaseilla.

Lämmönläpäisykertoimet on laskettu myös argon- ja kryptontäytteistä eristyslasia käyttäen, jolloin kuvasta on havaittavissa myös kaasun lämmönjohtavuuden ja muiden lämpö- ja virtausteknisten ominaisuuksien vaikutus.



Kuva 12. Selektiivilasin emissiviteetin vaikutus alumiinisella ulkopuiteella varustetun 12 M x 12 M kokoisen ikkunan keskimääräisellä lämmönläpäisykertoimeen. [6.]

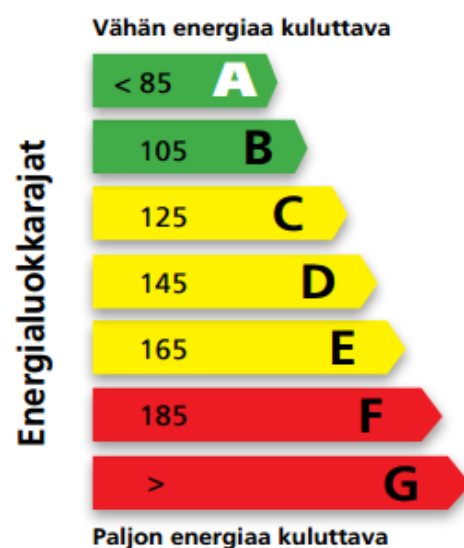


## 5 IKKUNOIDEN KAUTTA TULEVA AURINGON SÄTEILYENERGIA

### 5.1 Ikkunoiden energialuokitus

Suomessa on käytössä vapaaehtoinen ikkunoiden energialuokitus. Ikkunoiden energialuokituksessa otetaan huomioon ikkunan läpi menevä lämpöhäviö ja sitä pienentävän ikkunan läpi sisälle tuleva auringonsäteilylämpö. Ikkunoiden energialuokituksen tarkoituksena on auttaa vertailemaan erilaisten ja eri valmistajien tekemien ikkunoiden energiatehokkuutta keskenään hankittaessa uusia ikkunoita uudisrakennuksiin ja korjattaviin rakennuksiin. Luokitus on tarkoitettu asuinrakennusten ikkunoiden vertailuun. Se ei kuitenkaan sovellu rakennuksiin, joissa on koneellinen jäähdytys. Ikkunoiden energialuokitus on valmistajille vapaaehtoinen.

Energialuokituksessa ikkunalle lasketaan vertailuluku, joka kertoo, kuinka paljon ikkunarakenne aiheuttaa lämmitystarvetta vuodessa. Ikkunoille annetaan kodin kylmälaitteista tuttu energiamerkki, jossa ikkunat jaetaan luokkiin asteikolla luokat kuva 13. Luokituksessa otetaan huomioon ikkunan läpi menevä lämpöhäviö ja lämpöhäviötä pienentävä ikkunan läpi sisälle tuleva auringonsäteilylämpö.



Kuva 13. Ikkunoiden energialuokkarajat.[7.]

E = laskennallinen vuotuinen energiakulutus (kWh/m<sup>2</sup>/a)

Energialuokituksen E-arvot (kWh/m<sup>2</sup>/a):

Luokka A++	pienempi kuin 45
Luokka A+	45 - 64
Luokka A	65 - 84
Luokka B	85 - 104
Luokka C	105 - 124
Luokka D	125 – 144
Luokka E	145 – 164
Luokka F	165 – 184
Luokka G	Suurempi tai yhtä suuri kuin 185 [7.]

## 5.2 Auringonsäteilyn lämmön huomioon ottaminen

Rakennuksen ikkunoiden suuntaaminen etelään vaikuttaa vähentävästi energiakulutukseen syksyllä ja keväällä, lämmityskauden alussa ja lopussa. Toisaalta on huolehdittava myös aurinkosuojauksesta kesäaikaisen jäähdytystarpeen minimoimiseksi. Energiatehokkailla rakennuksilla päästään hyvin pieneen energiakulutukseen myös pohjoisrinteillä ja varjoisissa paikoissa. Auringon lämpöenergiaa voidaan hyödyntää kevästä syksyyn. Se pienentää lämmitysenergiatarvetta noin 10 %. Käyttöveden lämmitys auringon säteilysuuntiin nähden sopivasti

suunnatuilla katon lappeilla olevilla aurinkokeräimillä voi vähentää lämpimän veden energiankulutusta 10 - 15 %.

Auringonpaisteesta voi kesäaikana tulla sisälle myös liikaa lämpöä. Siksi tarvitaan jäähdytykseen tähtääviä ratkaisuja, kuten ikkunoita varjostavia rakenteita, räystäitä, katoksia, parvekkeita, ikkunasyvennyksiä, kasvillisuutta esimerkiksi lehtipuita ja ikkunoissa auringonsuojalaseja. Varjostuksella saadaan kesäaikana vähennettyä noin 60 % auringon säteilylämmöstä.

Tuloilma kannattaa ottaa kesäaikana viilentävällä tavalla. Se voidaan säätää kesäaikana otettavaksi pohjoisen puolelta. Ullakon tuulettavuudella ja vesikatteen materiaalilla on merkitystä jäädytystarpeeseen.[8.]

### 5.3 Ikkunoiden kautta tulevan säteilyenergian määrittäminen

Rakennukseen tulee lämpökuormaa ikkunoista sisään tulevasta auringon säteilyenergiasta, joka voidaan osittain hyödyntää rakennuksen lämmityksessä. Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergian aiheuttama lämpökuorma lasketaan rakentamismääräyskokoelman RakMk D5, ohjeet 2012 mukaan. Laskelmien lähtötietona tarvitaan vähintään ikkunoiden pinta-alat ilman suunnittain sekä ikkunoiden auringon säteilyn läpäisykerroin. Jos mahdollista suunnittelussa kannattaa ikkunat pyrkiä suuntaamaan etelän ja lännen suuntaan. Ikkunoiden lämpöenergian läpäisevyyteen vaikuttaa myös ikkunan kokonaissäteilyn läpäisykerroin, ikkunan varjostukset, ikkunan verhotyyppi sekä ikkunan kehä. Ikkunan kehällä tarkoitetaan ikkunan valoaukon suhdetta ikkunan kokoon. Lämmityksessä hyödynnettävä, ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia riippuu paitsi ikkunoiden pinta-alasta ja suuntauksesta myös puitteista, lasitusten ominaisuuksista ja verhoista, luukuista ja muista suojarakenteista sekä ulkopuolisista varjostuksista, kuten muista rakennuksista ja kasvillisuudesta.[9.]

Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia ( $Q_{aur}$ ) lasketaan kaavalla (1). Säteilyenergia sisältää sekä ikkunoista rakennuksen sisälle suoraan tulevan että välillisesti ikkunaan absorboituneena lämpönä sisälle rakennukseen tulevan energian.

$$Q_{aur} = \sum G_{säteily, vaakapinta} F_{suunta} F_{läpäisy} A_{ikk} g = \sum G_{säteily, pystypinta} F_{läpäisy} A_{ikk} g \quad (1.)$$

jossa

$Q_{aur}$	ikkunoidenkauttarakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh/kk.
$G_{säteily, vaakapinta}$	vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti. kWh/(m <sup>2</sup> kk)
$G_{säteily, pystypinta}$	pystytasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergian pinta-alan yksikköä kohti. kWh/(m <sup>2</sup> kk)
$F_{suunta}$	muuntokerroin, jolla vaakatasolle tuleva kokonaissäteilyenergia muunnetaan ilmansuunnittain pystypinnalle tulevaksi kokonaisenergiaksi.
$F_{läpäisy}$	säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin.
$F_{kehä}$	kehäkerroin
$F_{verho}$	verhokerroin
$F_{varjostus}$	varjostusten korjauskerroin
$A_{ikk}$	ikkuna-aukon pinta-ala (kehys- ja karmirakenteineen), m <sup>2</sup> .
$g$	ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin.

g-arvo kertoo, kuinka suuri osa ikkunan ulkopintaan tulleesta auringonsäteilystä tulee ikkunan läpi huonetilaa lämmittämään.

Auringon kokonaissäteilyenergiat ( $G_{\text{säteily,vaakapinta}}$  ja  $G_{\text{säteily,pystypinta}}$ ) ja säteilyenergian muuntokertoimet ( $F_{\text{suunta}}$ ) ilmansuunnittain ja kuukausittain eri säävyöhykkeille esitetään rakentamismääräyskokoelman osassa D3.

### Ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin

Mikäli ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerrointa (g) ei tunneta, se lasketaan kaavalla (2).

$$g = 0,9 g_{\text{kohtisuora}} \quad (2)$$

jossa

g ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin,

$g_{\text{kohtisuora}}$  ikkunan valoaukon kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin

Taulukko 2. Ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyläpäisykerroin  $g_{\text{kohtisuor.}}$

<u>Lasitus</u>	<u><math>g_{\text{kohtisuora}}</math></u>
Yksinkertainen lasitus	0,85
Kaksinkertainen lasitus	0,75

Yksipuitteinen, kolmilasinen ikkuna	0,70
Eristyslasi + eristyslasi	0,65
<u>Eristyslasi, matalaemissiiviteettipinnoite+erillislasi</u>	<u>0,55</u>

### Säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin

Säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin  $F_{\text{läpäisy}}$  lasketaan kaavalla (3.)

$$F_{\text{läpäisy}} = F_{\text{kehä}} F_{\text{verho}} F_{\text{varjostus}} \quad (3)$$

jossa

$F_{\text{läpäisy}}$  säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin.

$F_{\text{kehä}}$  kehäkerroin.

$F_{\text{verho}}$  verhokerroin.

$F_{\text{varjostus}}$  varjostusten korjauskerroin.

Kokonaiskorjauskertoimelle voidaan käyttää arvoa = 0,75, jos varjostuksia ja pysyviä verhoja ei ole.

### Kehäkerroin

Kehäkerroin  $F_{\text{kehä}}$ , joka on valoaukon pinta-alan ja ikkuna-aukon pinta-ala suhde, lasketaan kaavalla (4).

$$F_{\text{kehä}} = \frac{A_{\text{ikk, valoaukko}}}{A_{\text{ikk}}} \quad (4)$$

jossa

$F_{\text{kehä}}$  kehäkerroin

$A_{\text{ikk, valoaukko}}$  ikkuna valoaukon pinta-ala, m<sup>2</sup>

$A_{\text{ikk}}$  ikkuna-aukon pinta-ala (kehys- ja karmirakenteineen), m<sup>2</sup>

Kehäkertoimena voidaan käyttää arvoa  $F_{\text{kehä}} = 0,75$ , jos tarkempaa arvoa ei ole käytettävissä.

### Verhokerroin

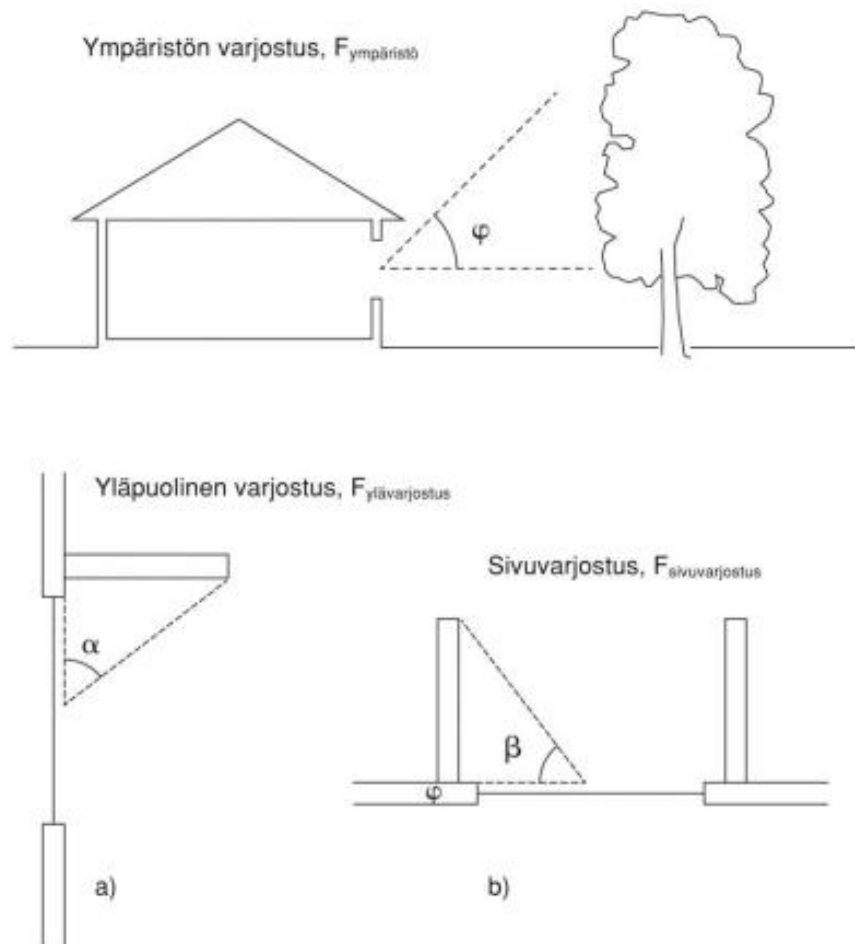
Taulukko 3. Verhokertoimia  $F_{\text{verho}}$  auringonsuojille.

Ratkaisu	Verhokerroin
Ei verhoa	1,00
Verhot	0,75
Valkoiset sälekaihtimet lasien välissä	0,30
Valkoiset sälekaihtimet sisäpuolella	0,60
Ikkunaluukut (säleikkö) ulkopuolella	0,30

### Ikkunan varjostusten korjauskerroin

Ikkunaan kohdistuva varjostus huomioidaan varjostuksen korjauskertoimella. Ympäristön varjostusta aiheuttavat maasto, ympäröivät rakennukset, puut ja

pensaat. Lisäksi varjostusta aiheuttavat ikkuna-aukon yläpuolella tai sivulla olevien rakenteiden aiheuttamat varjostukset. Kuva 14.



Kuva 14. Ikkunaan kohdistuva varjostus ja varjostuskulmat. [9.]

Ikkunan varjostusten korjauskerroin saadaan laskemalla kolmen varjostuskertoimen tulo kaavalla(5).

$$F_{varjostus} = F_{ympäristö} F_{ylävarjostus} F_{sivuvarjostus} \quad (5)$$

jossa

$F_{varjostus}$  varjostusten korjauskerroin

$F_{ympäristö}$  ympäristön horisontaalisten varjostusten korjauskerroin(esi-



merkiksi maasto, ympäröivät rakennukset ja puut)

Liite 1 1/2.

$F_{\text{ylävarjostus}}$	ikkunan yläpuoliset vaakasuorien rakenteiden varjostusten korjauskerroin. Liite 1 2/2.
$F_{\text{sivuvarjostus}}$	ikkunan sivuilla olevien pystysuorien rakenteiden varjostusten korjauskerroin. Liite 1 2/2.

Liitteessä 1 annetaan arvoja varjostusten korjauskertoimille. Varjostuskulmat määritetään ikkunan keskipisteestä varjostavaan rakenteeseen. Väliarvot ja väli-ilmansuunnat voidaan määrittää interpoloimalla.

### **Auringon säteilyenergian hyödyntämistä**

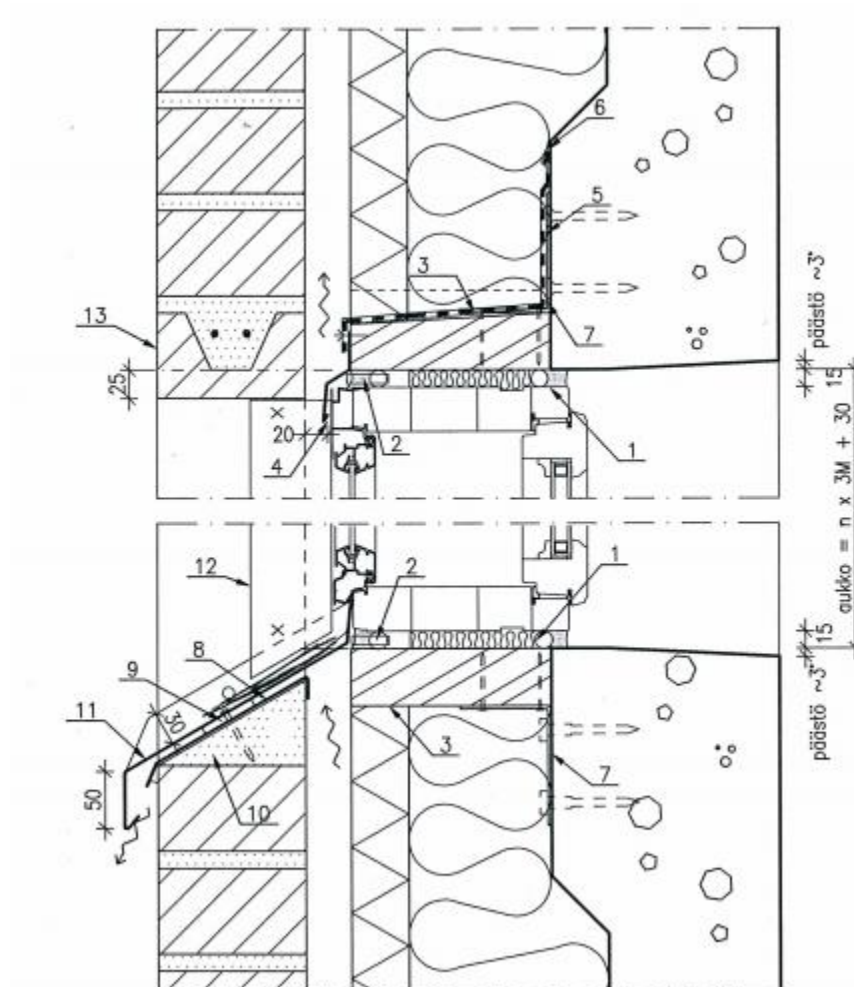
Ikkunoista sisään tulevasta auringon säteilyenergian lämpökuormasta voidaan hyödyntää vai osa rakennuksen lämmityksessä. Lämpökuorman hyödyntämistä määrittämisestä annetaan ohjeet RakMk D5:ssä.[9.]

## 6 KARMIN JA RUNGON TIIVISTYS

Ikkuna ja oviaukot mitoitetaan siten, että asennusvaraksi jää ympäriinsä 10...15 mm. Tilkerako täytetään lämmöneristeellä, joka ominaisuuksiltaan vastaa seinärakenteen lämmöneristettä. Ikkunoiden ja ovien tilkeraon sisäpuolisen tiiveyden tulee vastata ympäröivän seinärakenteen ilman- tai höyrynsulun tiiveyttä. Ilman- tai höyrynsulku ulotetaan aukkojen kohdalla tilkeraon yli hieman karmin päälle. Tarkoitukseen voidaan käyttää myös elastista tiivistysmassaa, jolla on riittävä tarttuvuus puupintaan. Tilkeraon ulkopuolinen tiivistys tehdään joko ulkoverhouslaudoin tai erillisin vuorilaudoin tai -listoin. Laudan tai listan alla voidaan tarvittaessa käyttää lisäksi tuulensuojapahvia. Tiivistysmassan käyttö ulkopuolella ei ole suositeltavaa, koska ulkopuolisen tiiveyden tulee olla selvästi sisäpuolista tiiveyttä pienempi. Sauma tiivistetään huolellisesti, sillä huolimattomasti tiivistetty rako on suuri lämmöntuhlaaja. Tiivistysaineeksi sopii elastinen pistoolivahto tai mineraalivilla. Kiinteiden ikkunoiden ja seinän välistä rakoa tiivistäessä tulee varmistaa se, että saumausvaahto tulee myös eristyslasin kohdalle. Villaa käytettäessä sitä ei saa sulloa liian tiukkaan, koska karmi saattaa vääristyä ja liian tiukassa olevan villan eristyskyky on huono. Myöskään tiivistevaahtoa ei saa käyttää liikaa. Villa asennuksessa sisäreunaan asennetaan tiivisteraon paksuinen umpisoluihin vaahtomuovinauha ja sisäpintaan silikoni- tai akryylikittaus.

Sisäpuolelle asennetaan peitelistat. Ulkopuolelle asennetaan ikkunan vesipelti ja ulkopuolen "smyygi" ja vuorilistat estämättä mahdollisen raitisilmaventtiilin vaatiman ilman saantia, sekä ulkopuitteen ilmankiertoa.

Ulkopuolista seinän ja karmin saumaa ei yleensä kitata, mutta jos se kitataan, on huolehdittava taustan kosteuden poistosta n. 20 mm putkituksella vähintään 2 kpl ylä- ja alasaumaan.



Kuva 15. Ikkunakarmin tiivistys ja rakenne.[10.]

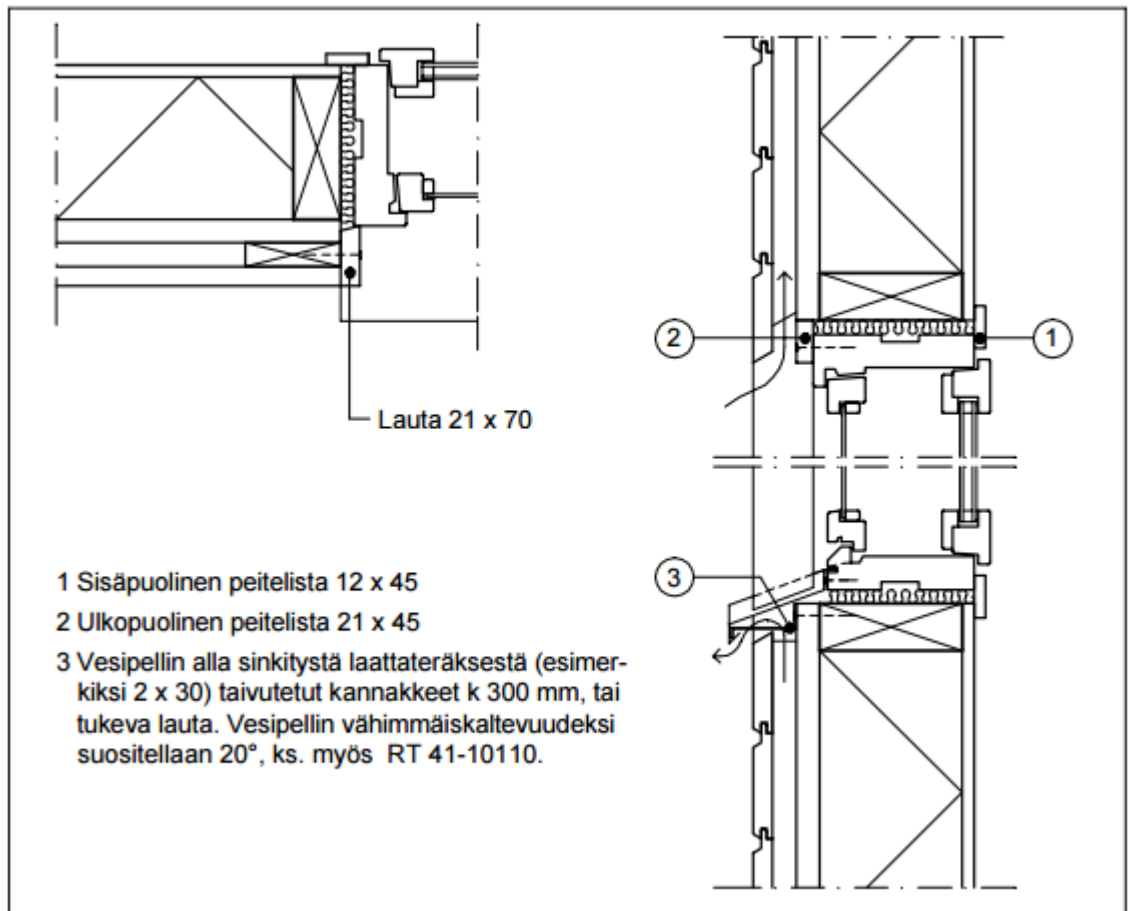
1. Tiivistys sisäpuolelta, elastinen saumamassa M1- luokiteltu tai ilmatiivis teippi.
2. Lämmöneriste ja äänieriste väliin, villa, elastinen vaahto tai ikkunakarmin levyinen paisuva nauha.
3. Sadesuoja ulkopuolelle, elastinen saumamassa + tuuletusputket, hengittävä höyrünsulkuteippi tai hengittävä paisuva nauha.

Pelkkä vaahto plus listat ei täytä näitä kolmea vaatimusta yksin ellei rakenne ole täysin kuiva asennusvaiheessa ja liikkeitä ei tapahdu ikkunan käyttöaikana. Vaikka ikkuna ja julkisivusaumat edustavat vain alle 1 % julkisivun pinta-alasta on niiden merkitys koko rakennuksen energiatalouteen merkittävä.[10.]

## Ikkunan sijainti seinärakenteen syvyysuunnassa

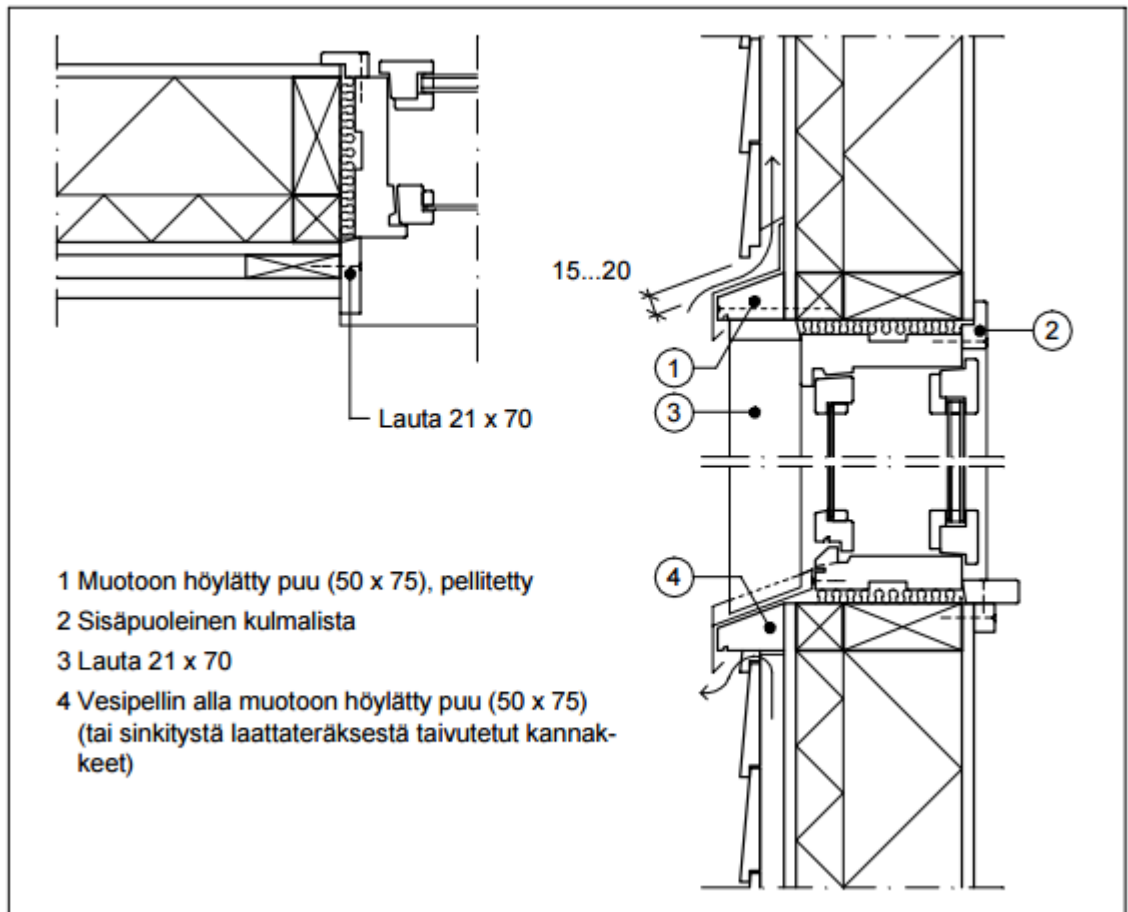
Ikkunan sijoitukseen seinän syvyysuunnassa vaikuttavat seinärakenteen paksuus ja karmin syvyysmitta. Useimmiten karmisyvyys on jonkin verran seinän paksuutta pienempi. Ikkunat voidaan teettää myös mittatilaustyönä siten, että karmisyvyys vastaa seinän paksuutta tai on muuten halutun suuruinen. Lämpöteknisesti on edullista sijoittaa ikkuna seinän lämmöneristeen kohdalle ja sisäpuolelta likimain sisäverhouksen tasoon. Tällöin ikkunan alapuolella mahdollisesti olevasta lämmittimestä kohoava ilmavirtaus nostaa sisälasin pintalämpötilaa ja ehkäisee ikkunavetoa sekä kosteuden tiivistymistä lasin sisäpintaan. Karmin ulkopinnan sijainti suhteessa seinän ulkopintaan vaikuttaa ulkopuolisiin listoituksiin ja pellityksiin. Lasipinnan ja julkisivupinnan välisellä suhteella sekä listoituksella on huomattava merkitys rakennuksen ulkonäölle. Perinteisesti on puutalojen ikkunat sijoitettu seinän ulkopinnan tasoon.

Karmin ja runkorakenteen välisen raon tiivistäminen Ikkuna- ja oviaukot mitoiteetaan siten, että asennusvaraksi (tilkeraoksi) jää ympäriinsä 10...15 mm. Tilkerako täytetään lämmöneristeellä, joka ominaisuuksiltaan vastaa seinärakenteen lämmöneristettä. Ikkunoiden ja ovien tilkeraon sisäpuolisen tiiviiden tulee vastata ympäröivän seinärakenteen ilman- tai höyrynsulun tiiviyttä. Ilman- tai höyrynsulku ulotetaan aukkojen kohdalla tilkeraon yli hieman karmin päälle. Tämä voidaan tehdä myös vastaavasta materiaalista leikatuin erillisin liuskoin, jotka teipataan seinän ilman tai höyrynsulkuun. Tarkoitukseen voidaan käyttää myös elastista tiivistysmassaa, jolla on riittävä tarttuvuus puupintaan. Tilkeraon ulkopuolinen tiivistys tehdään joko ulkoverhouslaudoin tai erillisin vuorilaudoin tai -listoin. Laudan tai listan alla voidaan tarvittaessa käyttää lisäksi tuulensuojapahvia. Tiivistysmassan käyttö ulkopuolella ei ole suositeltavaa, koska ulkopuolisen tiiviiden tulee olla selvästi sisäpuolista tiiviyttä pienempi.[11.]



Kuva 16. Esimerkki ikkunan liittämisestä ulkoseinään. Ikkunakarmin sisäpinta on sisäverhouksen sisäpinnan tasossa. [11.]

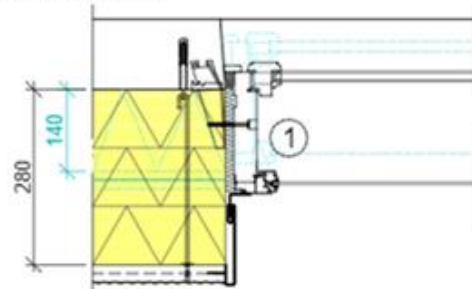
Ikkunan yläkarmin liittyminen seinärakenteeseen voidaan tehdä myös kuten kuvassa 17.



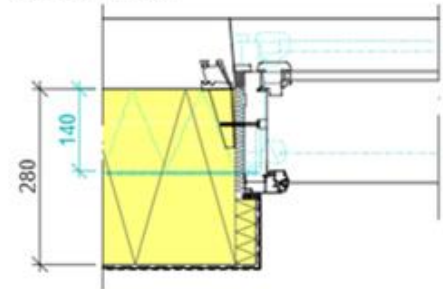
Kuva 17. Ikkunakarmin sisäpinta on sisäverhouksen ulkopinnan tasossa.[11.]

Erilaisia seinärakenteita. Ikkunat asennetaan lämmöneristeen kohdalle seinärakenteissa.

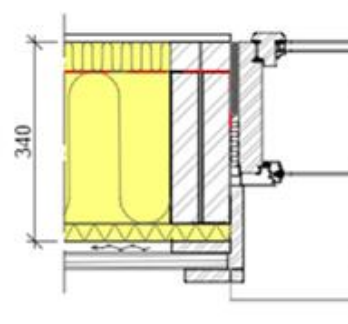
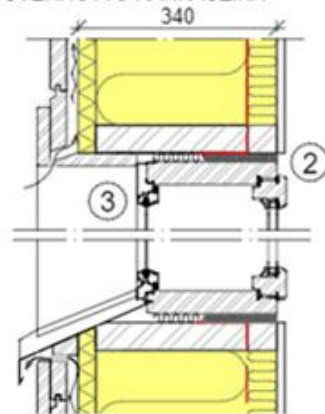
Rapatut rakenteet  
PAKSURAPPAUS



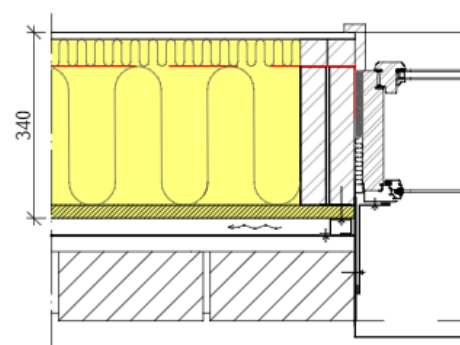
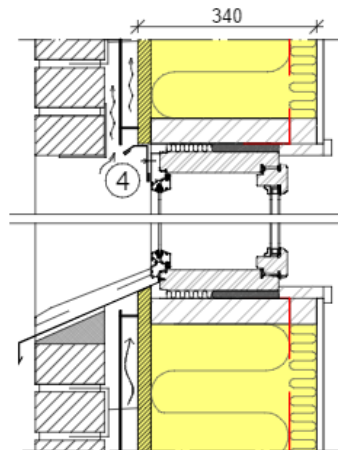
OHUTRAPPAUS



Rankarakenteiset puuseinät  
PUUVERHOTTU RANKASEINÄ



KORKEAN TIILIVERHOTUN PUURANKASEINÄN SADETTAKKIRATKAISU



Kuva 18. Erilaisten seinärakenteiden ikkunakarmin ja rungon tiiveys. Ikkuna asennetaan lämmöneristeen kohdalle.[12.]

Kuvaan 18 liittyvät selvitykset:

1. Kylmäsillan vuoksi ikkuna on sijoitettava siten, että liitoskohta tulee lähes kokonaan lämmöneristekerroksen kohdalle.

2. Eristekerroksen paksuntaminen voi vaikuttaa ikkuna- ja muiden liitosten tiivyyteen. Ikkunakarmit pitää tiivistää polyuretaani vaahdonlisäksi myös elastisella saumamassalla. Jos sauma täytetään mineraalivillakaistalla, on sisäpuolen ilmatiiveys varmistettava esim. pohjanauhan ja elastisen saumamassan avulla tai erikoisliimanauhalla, jonka pitkäaikaiskestävyys ja tartuntakyky on riittävä.

3. Ikkunan U-arvon parantaminen voi aiheuttaa ikkunan huurtumista, kun ikkunan ulkopinnan lämpötila laskee ulkoilmaa alemmaksi vastasäteilystä johtuen. Huurtumista voi ehkäistä käyttämällä ikkunan ulkopinnassa selektiivikalvoa. Selektiivikalvojen lisääminen heikentää kuitenkin radioaaltojen etenemistä ikkunan läpi, mikä voi aiheuttaa matkapuhelimien kuuluvuusongelmia rakennuksen sisällä.

4. Saderasituksen vuoksi korkeissa puurunkoisissa rakennuksissa (yli 10 m korkeat seinät), puurunko on suositeltavaa suojata esimerkiksi tiiliverhouksen ja tuulensuojan väliin asennettavalla teräsohutlevyistä tehdyllä suojakerroksella, jonka kummallekin puolelle jätetään tuuletusväli. Tässä on esitetty sadetakkiratkaisun ikkunadetaljin toteutus.

Ikkunan karmi voidaan liittää ulkoverhoukseen joko vuorilautoja tai -listoja käyttäen, tai karmi asennetaan ulkoverhousta vasten ilman listoituksia. Alakarmi edellyttää kuitenkin lähes poikkeuksetta pellitystä, jotta estetään sadeveden pääsy seinärakenteisiin. Lisäksi vaakaverhotuissa ulkoseinissä on suositeltavaa suojata lautojen katkaisupinnat aukkojen pielissä pystylistoin tai -laudoin.[12.]



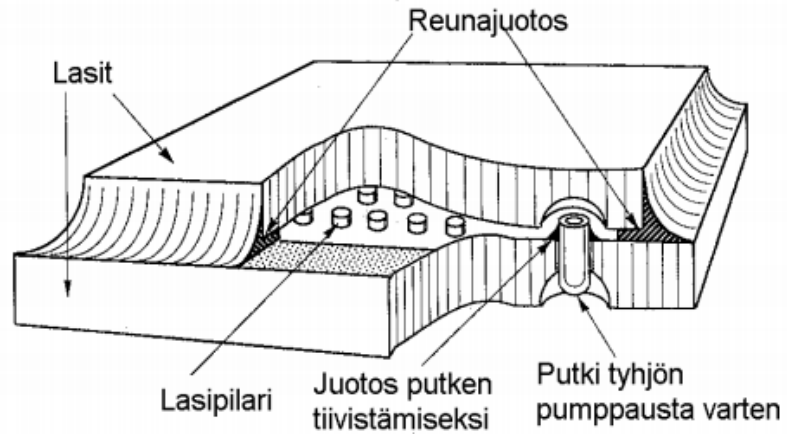
## 7 IKKUNOIDEN TULEVAISUUDEN RATKAISUT

Uusia ratkaisuja ikkunateknologiassa ovat mm. entistä pienemmät emissiiviteetin lasitus ratkaisuun perustuvat ikkunat, aerogeeli- ikkunat, tyhjölasi ja kromaattiset lasit. Kolme ensin mainittua pyrkivät kohti parempaa lämmöneristävyyttä, viimeisellä ratkaisulla taas vaikutetaan lasituksen säteilyläpäisyominaisuuksiin.[2.]

### Tyhjölasi

Tyhjölasitekniikalla on mahdollista myös saavuttaa hyvä lämmöneristävyys lasiosalla. Kahden lasinväliin imetään tyhjiö, jolloin lasien välissä ei ole kaasua, jossa lämpö siirtyisi johtamalla tai konvektiolla. Lasien väliin joudutaan kuitenkin lisäämään lasikuulia tai -pilareita, jolloin johtuminen kuulien kautta voi edelleen olla 40 % kokonaislämmönsiirrosta lasiosan läpi. Kahdella lasilla saavutetaan U-arvotaso 0,9 W/m<sup>2</sup>K. Edelleen kahdella tyhjölasiilla voidaan siis saavuttaa alle 0,5 W/m<sup>2</sup>K lämmöneristävyys.[13.]

Tyhjölasiin kehitystyön haasteena on ollut useita käytännön ongelmia, mm. lasien reunaosan tiiviys, tyhjiön pysyminen elementissä koko ikkunan eliniän, pintojen ominaisuuksien säilyminen tyhjölasiin valmistusprosessissa, sekä rakenteen kestävyys ilmakehän paineessa sekä kestävyys suuren lämpötilaeron vaikuttaessa lasien välillä.[13.]



Kuva 19. Periaatekuva tyhjiölasista [13.]

## 8 YHTEENVETO

Vaikka energiansäästö onkin merkittävä syy ikkunoiden uusimiseen, se harvemmin on ensisijainen peruste, minkä takia ikkunaremonttia lähdetään tekemään. Edelle menevät muuan muassa ulkonäköseikat ja ikkunoiden helppohoitaisuus. Ikkunasaneerauksen myötä koko talo uudistuu.

Ikkunoiden uusimisen myötä vedontunne vähenee ja talon äänieristys paranee. Modernien ikkunoiden sisäpuolen lämpölaselementti sisältää vaaratonta argonkaasua, joka on raskaampaa kuin ilma, joten se eristää lämpöä ja ääntä paremmin kuin vanhat ikkunat. Argonkaasulaseissa on sekin hyvä puoli, etteivät ne sameudu kuten vanhat ikkunat. Lisäksi nykyaikaiset selektiivipintaiset lasit heijastavat sisältä tulevaa lämpöä takaisin sisälle. Ulkoa tuleva lämpö kuitenkin pääsee sisälle. Sisätilat pysyvät mukavan lämpiminä: talvella lämpö ei karkaa harakoille. Samoin ikkunan lähellä usein tuntuva vedontunne vähenee, koska ikkunan pintalämpötila on korkeampi kuin tavallisella lasilla. Modernien ikkunoiden avulla noin 80 % lämpöhävikistä pystytään palauttamaan takaisin sisälle. Lämmöneristyksen kannalta ikkunat ovat talon heikoimpia lenkkejä, joten ikkunoiden ja ovien vaihto on usein nopein ja edullisin tapa parantaa iäkkään talon energiatehokkuutta. Uusien ikkunoiden vaihto näkyy energialaskussa. Nyrkkisääntönä voidaan sanoa, että kun yli 30 vuotiaat ikkunat vaihdetaan uusiin, sisälämpötila nousee muutaman asteen.

Tyypillisesti omakotitalon ikkuna- ja oviremontin hinta on 8000 -15 000 euroa avaimet käteentoimituksena. Hintaan kuuluvat työt ja tarvikkeet, loppusiivous ja jätteiden asianmukainen kierrätys.

## LÄHDELUETTELO

1. Rakennustieto Oy RT 41- 10726. 2000 Yleistä. Puuikkunat korjausrakentaminen s, 2 [viitattu 9.2.2017]
2. Hemmilä Kari & Saarni Risto Ikkunaremontti. Rakennustieto Oy 2002. Kirjapaino Tammer- Paino Oy. ISBN: 951-682-654-7 s ,10-12.
3. Ikkunoiden energiatehokkuus. Motiva Asiantuntija energian ja materiaalien tehokkaassa käytössä. Koti ja asuminen [viitattu 9.2.2017]
4. Ympäristö Ministeriön asetus rakennuksen energia todistuksesta 176/2113
5. Rakennustieto Oy RT 38- 10941 s,2 [viitattu 9.2.2017]
6. Hemmilä Kari ja Heimonen Ismo Eristyslasin täytekaasun ja lasien toimivuus ja toteaminen. VTT Espoo 1999. s, 14,23,
7. Rakennustieto Oy. Ikkunoiden energialuokitus.[www.rakennustieto.fi/motiva.fi](http://www.rakennustieto.fi/motiva.fi) [viitattu 18.1.2017]
8. Rakennustieto Oy. RT 07-10564 Rakennuksen sisäilmasto s,3 [viitattu 9.2.2017]
9. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö. Rakennetun ympäristön osasto 5.3 s,30
10. Rakennustieto Oy. KH 92-00342
11. Rakennustieto Oy 2015 RT 82- 10605 s,11
12. Jukka Lahdensivu, Tommi Suonketo, Juha Vinha, Ralf Lindberg

Elina Manelius, Vesa Kuhno, Kari Saastamoinen, Kati Salminen & Kimmo Lähdesmäki. Matalaenergia- ja passiivitalojen rakenteiden ja liitosten suunnittelu- ja toteutusohjeita. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennusteknikka. Tutkimusraportti 160 s, 114-115

13. Heimonen Ismo, Risto Saarni ja Hemmilä Kari Tulevaisuuden ikkunoiden kehitysvaiheet ja valinta. Tampereen teknillinen korkeakoulu(VTT) 1999. s, 20

## LIITTEET

LIITE 1 Ympäristön varjostuksen korjauskertoimet  $F_{\text{ympäristö}}$

Yläpuolisten varjostuksen korjauskertoimet  $F_{\text{ylävarjostus}}$

Sivuvarjostuksen korjauskertoimet lämmityskaudelle  $F_{\text{sivuvarjostus}}$

Ympäristön varjostuksen korjauskertoimet  $F_{\text{ympäristö}}$ , kun varjostuskulma on  $45^\circ$  ( $15^\circ$ ). Kun varjostuskulma on  $0^\circ$ , on kerroin aina 1,0. Väliarvot ovat jakautuneet tasavälein.

Ikkunan ilmansuunta

Kuukausi	Pohjoinen		Itä ja Länsi		Etelä	
	$45^\circ$	$15^\circ$	$45^\circ$	$15^\circ$	$45^\circ$	$15^\circ$
Tammikuu	0,95	(0,98)	0,60	(0,86)	0,25	(0,75)
Helmikuu	0,90	(0,96)	0,50	(0,83)	0,30	(0,76)
Maaliskuu	0,90	(0,96)	0,50	(0,83)	0,40	(0,80)
Huhtikuu	0,80	(0,93)	0,50	(0,83)	0,50	(0,83)
Toukokuu	0,80	(0,93)	0,55	(0,85)	0,70	(0,90)
Kesäkuu	0,60	(0,86)	0,50	(0,83)	0,75	(0,91)
Heinäkuu	0,70	(0,90)	0,55	(0,85)	0,75	(0,91)
Elokuu	0,65	(0,88)	0,40	(0,80)	0,40	(0,80)
Syyskuu	0,85	(0,95)	0,50	(0,83)	0,45	(0,81)
Lokakuu	0,90	(0,96)	0,55	(0,85)	0,30	(0,76)
Marraskuu	0,90	(0,96)	0,60	(0,86)	0,20	(0,73)
Joulukuu	0,95	(0,98)	0,80	(0,93)	0,20	(0,73)

Yläpuolisten varjostuksen korjauskertoimet lämmityskaudelle  $F_{\text{ylävarjostus}}$ 

Kulma	Ikkunan ilmansuunta			
	$\alpha$	Pohjoinen	Itä ja Länsi	Etelä
	0°	1,00	1,00	1,00
	10°	0,97	0,98	0,99
	20°	0,93	0,95	0,97
	30°	0,90	0,92	0,95
	40°	0,87	0,88	0,92
	45°	0,80	0,81	0,85
	60°	0,66	0,65	0,66

Sivubarjostuksen korjauskertoimet lämmityskaudelle  $F_{\text{sivubarjostus}}$ 

Kulma	Ikkunan ilmansuunta			
	$\beta$	Pohjoinen	Itä ja Länsi	Etelä
	0°	1,00	1,00	1,00
	10°	0,99	0,97	0,98
	20°	0,99	0,94	0,96
	30°	0,98	0,90	0,94
	40°	0,98	0,87	0,91
	45°	0,98	0,82	0,85
	60°	0,98	0,73	0,73