

Samuli Väyrynen

IKKUNOIDEN LÄMPÖHÄVIÖIDEN EHKÄISY

IKKUNOIDEN LÄMPÖHÄVIÖIDEN EHKÄISY

Samuli Väyrynen
Opinnäytetyö
Kevät 2023
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, talonrakennustekniikka

Tekijä: Samuli Väyrynen
Opinnäytetyön nimi: Ikkunoiden lämpöhäviöiden ehkäisy
Työn ohjaaja: Kimmo Illikainen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2023
Sivumäärä: 28

Energiätehokkuus on yksi tämänhetkisen rakentamisen tärkeimpiä tavoitteita. Hyvin lämpöä eristävä ja tiivis rakenne on oleellinen osa energiatehokasta rakennusta. Nykyaikainen seinärakenne eristää lämpöä erinomaisesti, mutta ikkuna heikentää sen suorituskykyä. Ikkunan U-arvo on huomattavasti huonompi kuin seinällä ja sitä varten on tehtävä reikä tiiviiseen seinärakenteeseen. Siksi ikkunan lämmöneristävyyteen on kiinnitettävä erityistä huomiota nykyaikaisessa rakentamisessa.

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin ikkunan lämmöneristävyyden toimintaan. Aluksi tutustuttiin ikkunan kehitykseen ja sen kehityksen tuottamiin ikkunatyyppeihin. Seuraavaksi käytiin läpi ikkunan eri osat, niiden valmistustavat ja vaikutus lämmöneristävyyteen. Lopuksi tutkittiin ikkunan asennusprosessia seinään.

Opinnäytetyössä esitettiin yleisten ikkunatyyppeiden ominaisuuksia ja vertailtiin niiden eristävyttä ja rakenteita. Ikkunan rakenteesta nostettiin esiin käytetyimmät rakenneratkaisut ja tutkittiin mahdollisia tulevia ratkaisuja. Ikkunan ja seinän pursotettavan tiivistyksen heikkouksia käytiin läpi ja ehdotettiin parempaa ratkaisua.

Asiasanat: Energiätehokkuus, lämmöneristys, ikkuna, lämmönläpäisykerroin, eristyslasi, tiivistys

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, House Building Engineering

Author: Samuli Väyrynen
Title of thesis: Prevention of heat losses in windows
Supervisor: Kimmo Illikainen
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2023
Number of pages: 28

Energy efficiency is one of the hot topics in contemporary construction. A well-insulated structure is an integral part of an energy efficient building. The modern wall excels in insulating but windows can weaken its performance. The thermal transmittance of a window is usually inferior to the wall that surrounds it. The hole needed for the window also forms a weakness in the otherwise continuous wall structure. That is why extra care must be taken with the insulation of the window structure.

This thesis explores the functionality of the thermal insulation of a window. First the development of the window and the modern window types were looked at. Next the different parts of the window structure were examined and their construction and effect on thermal insulation were expanded on. To finish the installation process of a window to a wall was investigated.

The thesis puts forth the different properties of the common types of windows and compares their insulating performance and structural differences. The most used construction solutions of a window were also presented. Some possible future solutions were also suggested. The weaknesses of extruded insulation were scrutinized, and an improved solution was explored.

Keywords: Energy efficiency, thermal insulation, a window, thermal transference, insulation glass, sealing

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	IKKUNAN STANDARDISOITUMINEN.....	7
2.1	Ikkunan kehitys.....	7
2.2	Ikkunatyypit	8
3	IKKUNAN LÄMMÖNERISTÄVYYS.....	11
3.1	Ikkunan U-arvo	11
3.2	Lasi.....	12
3.3	Eristyslasi	12
3.4	Täytekaasut.....	14
3.5	Selektiivipinnoitteet.....	16
3.6	Ikkunan kehä	17
4	IKKUNAN LIITOS SEINÄÄN.....	20
4.1	Ennen asennusta	20
4.2	Puuikkuna.....	20
4.3	Metalli-ikkuna	23
5	YHTEENVETO	26
	LÄHTEET.....	27

1 JOHDANTO

Nykyajan rakentamisessa energiatehokkuuden tarkastelusta on tullut merkittävä osa uuden talonrakentamista tai korjauskohteen remontoimista. Mahdollisimman hyvää energiatehokkuutta tavoitellaan erilaisilla lämmitysratkaisuilla, lämmön kierrätyksellä ja varastoinnilla. Rakenteiden lämmöneristys on tärkeä osa lämmityksen optimointia.

Nykyaikainen ulkoseinä eristää sisätiloja erinomaisesti mutta siihen on tehtävä aukkoja ovia ja ikkunoita varten. Ikkunoiden läpi kulkevalla auringon valolla on positiivisia vaikutuksia terveyteen. Auringon säteilemä lämpö myös auttaa rakennusten lämmityksessä. Ikkunat kuitenkin heikentävät merkittävästi seinän lämmöneristystä, minkä vuoksi niiden rakenteisiin ja liitoksiin on kiinnitettävä erityistä huomiota.

Ikkunan rakenne on kehittynyt vuosien varrella paljon mutta Suomen yleisimmän ikkunatyypin U-arvo on silti noin viisi kertaa huonompi kuin tyypillisen ulkoseinärakenteen. Lisäksi ikkunan liitoksesta seinään aiheutuu kylmäsiltoja, jotka lisäävät ikkunasta aiheutuvia lämpöhäviöitä. Lämpöhäviöt ovat välttämätön osa ikkunan toimintaa, mutta niitä voidaan ehkäistä parantamalla ikkunan rakennetta ja liitostapaa seinään. Kun otetaan ikkunan läpi tuleva auringon lämpöenergia, saadaan ikkunasta energiatehokas osa talon rakennetta.

Opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella ikkunan eri rakenneratkaisuja ja eri tapoja liittää ikkuna seinärakenteeseen. Aluksi perehdytään ikkunan kehitykseen ja eri ikkunatyyppeihin, minkä jälkeen keskitytään ikkunan rakenteen eri osiin ja niiden toimintaan osana ikkunan lämmöneristyskykyä. Lopuksi käsitellään ikkunan liitosta seinärakenteeseen.

2 IKKUNAN STANDARDISOITUMINEN

2.1 Ikkunan kehitys

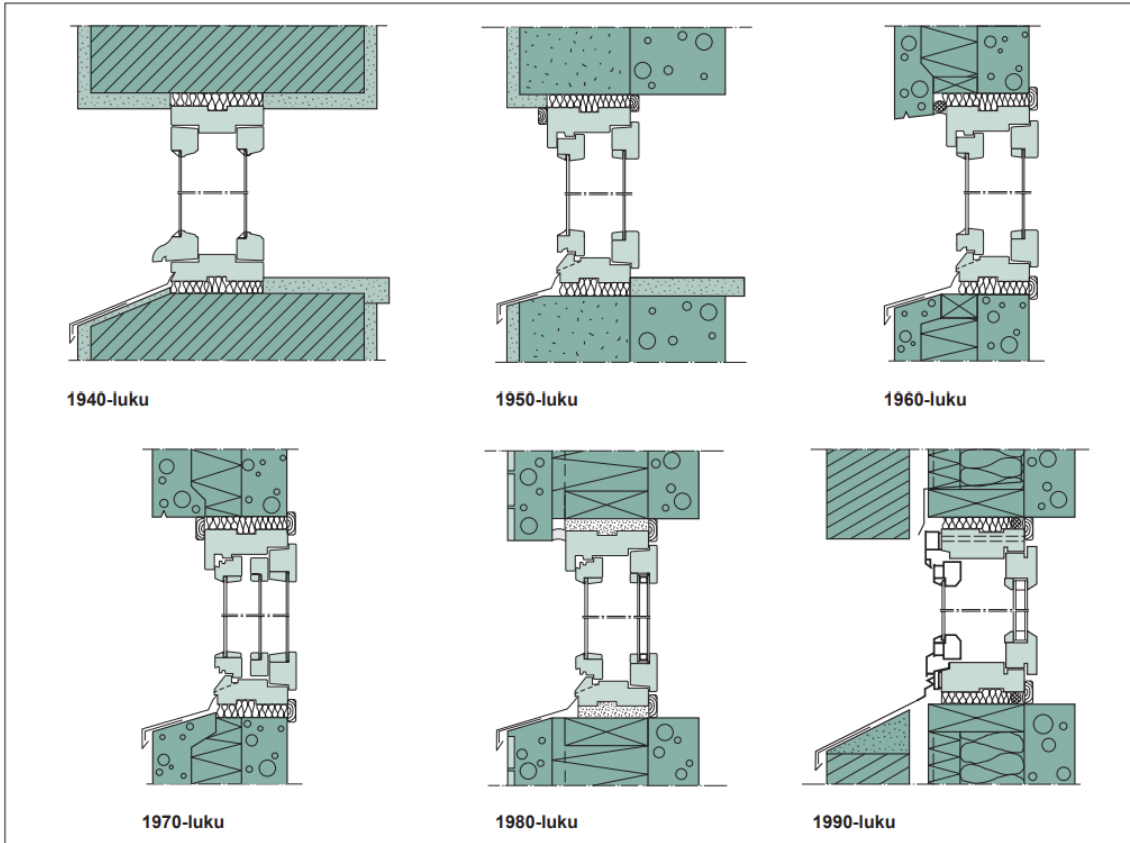
Ikkunoiden rakenne ja lämmöneristävyys ovat kehittyneet merkittävästi. Puuikkunat olivat yleisin ikkunatyyppeiksi 1990-luvulle asti, ennen lasin saatavuuden kasvua ikkunoissa käytettiin luukkuja ja läpikuultavia kalvoja. 1600- ja 1700-luvuilla ikkunoissa alettiin käyttää lasia, mutta lyijypuitteiset pieniruutuiset ikkunat olivat yhä harvinaisia Suomessa. (1.)

Lasin halventuessa 1800-luvulla suurempiruutuiset lasi-ikkunat alkoivat yleistyä, 3-ruutuiset T-karmi ikkunat olivat suosituimpia 1800-luvun lopulla. Jo 1800-luvun alussa Suomessa alettiin tavoittelemaan paremmin eristäviä ikkunaratkaisuja kaksinkertaisella lasituksella ja pellavaöljykitillä. Ennen ikkunakokojen standardoitumista ikkunat valmistettiin rakennettavan rakennuksen tarpeiden mukaan. 1900-luvun alussa ikkunat valmistettiin työmaalla mutta noin 10 vuotta myöhemmin valmistus oli siirtynyt puusepän verstaalle. (1.)

Vernissalla käsitellyt puitteet lasitettiin verstaalla, lasituksessa käytettiin puhallettua lasia, jonka paksuus saattoi olla vain 1,5 mm. 1930- ja 40-luvuilla ikkunakorkeus pieneni kerroskorkeuden mukaan ja vaakajako väheni, ikkunat alkoivat leventyä ja ikkunan viereen sijoitettiin usein kapeampi tuuletusikkuna. Kaksinkertaiset ikkunat olivat usein sisään- ulosaukeavia mutta kerrostaloissa sisään- sisäänaukeavat olivat käytännöllisempiä. Tämä ikkunarakenne levisi myös pienrakentamiseen 1960-luvulla. Ikkunalasina käytettiin vedettyä lasia. Float-lasin valmistus alkoi 1950-luvulla, lasitukset tehtiin yhä työmaalla ja kiinnityksessä käytettiin lasituslistoja ja kittiä. (1.)

1970-luvulla ikkunoiden tehdasmainen valmistus alkoi, puitteet koottiin tehtaalla valikoimattomasta puutavarasta ja käsiteltiin suoja-aineilla. Myös lasitus tehtiin tehtaassa ja kitistä alettiin luopumaan. Alumiinirakenteita ja eristyslaseja alettiin käyttää ja vakiintuneet ikkunakoot mahdollistivat ikkunoiden massatuotannon ja varastoinnin. 1980-luvulla kolmipuitteiset kolmilasiset ikkunat yleistyivät ja eristyslasiin käyttö kasvatti puitteiden kokoa, ikkunoita alettiin pinnoittamaan katalyyttimaaleilla. 1990-luvulla puu-alumiini-ikkunoiden suosio on kasvanut ja ulkopuoliset rakenteet ovat nykyään

yleensä alumiinisia. Ikkunan valmistuksen kehittyessä varastoinnista on siirrytty tilaustyöhön ja valmistustarkkuus on parantunut. Kuvassa 1 on esitetty yleisiä ikkunarakenteita eri vuosikymmenillä.
(1.)

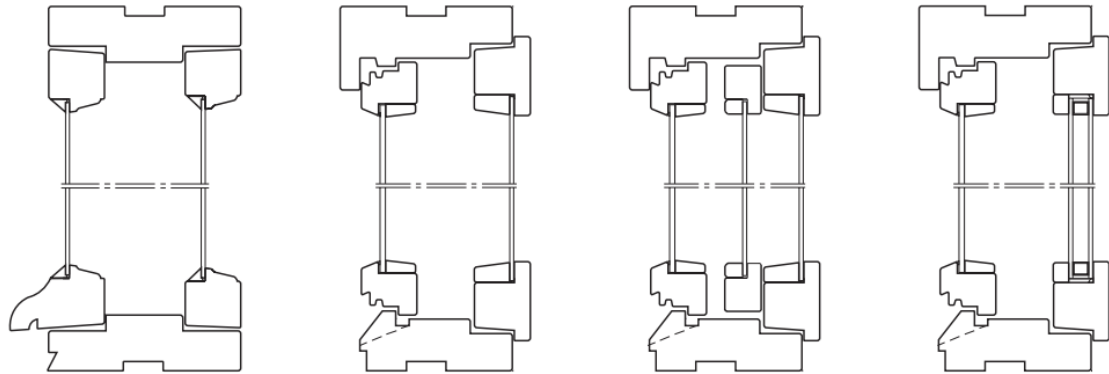


KUVA 1. Ikkunarakenteita vuosikymmenittäin (1, s. 2)

2.2 Ikkunatyypit

Ikkunatyypit eritellään ikkunan puitteiden ja lasien määrän sekä niiden aukeamissuunnan perusteella. Ikkunatyypeille on annettu näitä ominaisuuksia kuvaavat lyhenteet. Tällä hetkellä Suomen yleisin ikkunatyyppi on sisäänpäin aukeava, kaksipuitteinen kolmilasinen MSE-ikkuna. Eristysla-sielementillä varustetun ikkunan puitteet voidaan kytkeä yhteen aukipitolaitteella tuuletusta varten. Sen U-arvo on 0,8–2,0 W/(m²K). Ennen eristyslasin yleistymistä suosittuja ikkunoita olivat kaksipuitteiset kaksilasiset MS- ja MSU-ikkunat. MSU-ikkunan ulkopuite aukeaa ulospäin. Niiden U-arvo

on 2,4–2,8 W/(m²K). 1970- ja 1980-luvuilla parempaa eristävyyttä tavoiteltiin kolmipuitteisella kolmilasisella MSK-ikkunalla. Sen U-arvo on 1,7–1,9 W/(m²K). Kuvassa 2 on esitetty edellä mainitut ikkunatyypit. (2.)



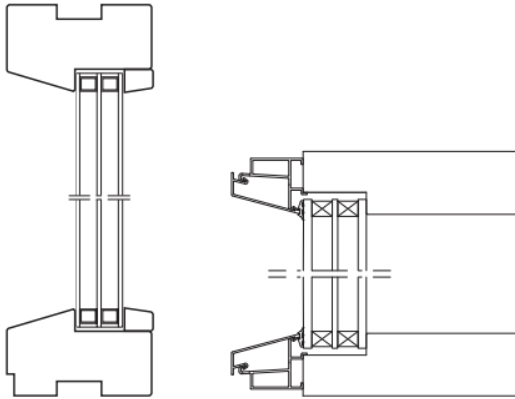
KUVA 2. Vasemmalta oikealle: MSU-, MS-, MSK-, ja MSE-ikkunatyypit (2, s. 4)

Ohuempaa ikkunan rakennepaksuutta tavoitellessa voidaan käyttää SE- ja SEK-ikkunatyyppejä. SE-ikkuna on vain yksi puite mutta kaksi tai kolme eristyslasia. SEK-ikkuna muistuttaa MSE-ikkunaa mutta sen puitteet on liitetty kiinteästi yhteen. Näin päästään samoihin U-arvoihin kuin MSE-ikkunassa ja rakennepaksuudet saadaan pidettyä pienempinä. Kuvassa 3 on esitetty SE- ja SEK-ikkunat. (2.)



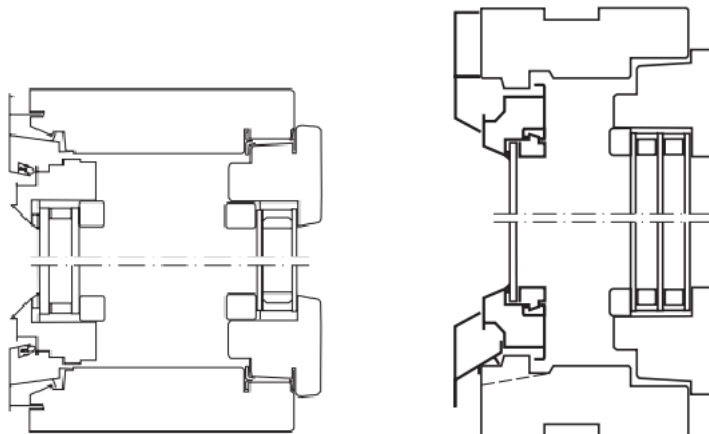
KUVA 3 Vasemmalta oikealle: SEK- ja SE-ikkunatyypit (2, s. 4)

MEK- ja MEKA-ikkunatyyppejä käytetään pienissä ja suurissa ikkunoissa, joita ei tarvitse avata. Nämä ikkunat koostuvat kahdesta tai kolmesta eristyslaselementistä, jotka liitetään kiinteästi suoraan karmiin. MEKA-ikkunassa ulkopuite tehdään alumiinista. Näiden ikkunoiden U-arvo on 0,7–2,0 W/(m²K). Kuvassa 4 on esitetty MEK- ja MEKA-ikkunat. (2.)



KUVA 4 Vasemmalta oikealle: MEK- ja MEKA-ikkunatyypit (2, s. 4)

Parhainta lämmöneristystä tavoitellessa voidaan käyttää MS2E- ja MS3E-ikkunoita. MS2E-ikkuna on sisäänaukeava kaksipuitteinen ikkuna, jonka molemmissa puitteissa on kaksilasiset eristyslaselementit. MS3E-ikkunan sisäpuitteessa on kolmilasinen eristyslaselementti, ulkopuitteessa on normaali lasi. Näiden ikkunoiden U-arvo on 0,6–1,0 W/(m²K). Kuvassa 5 on esitetty MS2E- ja MS3E-ikkunat. (2.)



KUVA 5 Vasemmalta oikealle: MS2E- ja MS3E-ikkunatyypit (2, s. 4)

3 IKKUNAN LÄMMÖNERISTÄVYYS

3.1 Ikkunan U-arvo

Ikkunalla on monia positiivisia puolia mutta yksi merkittävä heikkous. Sen lämmöneristyskyky verrattuna sitä ympäröivään seinärakenteeseen. Lämmöneristävyyttä havainnoidaan lämmönläpäisykerroimella eli U-arvolla $W/(m^2K)$. U-arvo ilmoittaa lämpövirran tiheyden rakennusosan läpi, kun rakennusosan eri puolilla on yksikön suuruinen lämpötilaero. (3.)

U-arvo saadaan jakamalla rakennemateriaalin lämmönjohtavuus $W/(m^*K)$ sen paksuudella. Mitä pienempi U-arvo on, sitä paremmin rakenne eristää lämpöä. Ikkunoiden U-arvo-vaatimus on laskenut vuosien varrella 70-luvun heikosta 2,6–2,8 $W/(m^2K)$ aina nykyajan Rakennusmääräyskokoelman vaatimaan 1 $W/(m^2K)$. Edistyneimpien energiansäästöikkunoiden U-arvot ovat 0,6–0,8 $W/(m^2K)$. Ikkunan U-arvo muodostuu sen eri osista ja keskimääräinen lämmönläpäisykerroin lasketaan kaavalla 1. (3.)

KAAVA 1. Ikkunan keskimääräinen lämmönläpäisykerroin (3, s. 23)

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + l_g \psi_g}{A_g + A_f}$$

U_w = ikkunan keskimääräinen lämmönläpäisykerroin ($W/(m^2K)$)

A_g = valoaukon pinta-ala (m^2)

U_g = valoaukon lämmönläpäisykerroin ($W/(m^2K)$)

A_f = karmi- ja puiteosan projektiopinta-ala ikkunan lasituksen tasossa (m^2)

U_f = karmi- ja puiteosan lämmönläpäisykerroin ($W/(m^2K)$)

l_g = valoaukon reunaan muodostuvan viivamaisen kylmäsilan pituus (m)

ψ_g = valoaukon reunan viivamainen lisäkonduktanssi ($W/(m^2K)$)

3.2 Lasi

Ikkunan lasisesta osasta käytetään termiä valoaukko, se koostuu yleensä 2–3 lasipaneelista tai eristyslaselementistä. Lasin valmistustapa on kehittynyt vuosien varrella. Aluksi lasi valmistettiin puhaltamalla. Lasimassasta puhalletaan pallo, joka leikataan toisesta päästä auki ja se levitetään rautatangon avulla pyöreäksi kiekoksi, josta leikataan sopivia paneeleja. Lasikiekot ovat yleensä paksumpia keskeltä ja rautatangon kiinnityskohtaan jää pyöreä pullonpohjaa muistuttava jälki. Puhallettua lasia käytettiin 1900-luvun alkupuolella, nykyään sitä kutsutaan kruunulasiksi. (4.)

Ikkunoiden kysynnän kasvaessa siirryttiin nopeampiin ja tehokkaampiin lasin valmistustapoihin. Lasipaneeleja valmistettiin vetokoneella, jossa sula lasimassa vedettiin kahden asbestivalssin läpi. Jäähdyneestä levystä leikattiin noin 2 millimetrin paksuisia ruutuja. 1950-luvulla keksittiin float-menetelmä, jossa sula lasimassa kellutetaan juoksevan tinan päällä levyksi. 4 mm paksua float-lasia käytetään 70 vuotta myöhemmin lähes kaikissa ikkunoissa. Valmistustapojen kehityksestä riippumatta lasin pääraaka-aineena on käytetty kvartsihiekkää alusta asti. (4.)

3.3 Eristyslasi

Lasi on ikkunan käyttötarkoitusta varten ihanteellinen materiaali, sen läpi näkee hyvin ja se kestää vaihtelevia lämpötiloja ja sääolosuhteita. Lasin huono puoli on se korkea U-arvo, 4 mm paksun lasipaneelin U-arvo on $250 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Tätä heikkoutta on alusta asti ehkäisty lasien väliseen tilaan jäävän ilman avulla. Liikkumattoman ilman lämmönjohtavuus on $0,025 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, eli sen eristävyys on parempi kuin monilla seinissä käytettävillä eristeillä. Perinteisissä 2- tai 3-lasisissa ikkunoissa ilmaa ei saada täysin liikkumattomaksi ja lasien välinen tila on melko kapea. Silti ilman eristävyys avulla 1970-luvun ikkunoissa päästiin siedettäviin U-arvoihin. Kaavassa 2 esitetään Ikkunan valoaukon lämmönläpäisyn laskukaava. (5.)

KAAVA 2. Ikkunan valoaukon lämmönläpäisykerroin (3, s. 20)

$$U_g = \frac{1}{R_{si} + R_{se} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + \sum_j R_{sj}}$$

U_g = ikkunan valoaukon lämmönläpäisykerroin (W/(m²K))

$R_{sj} + R_{se}$ = sisä- ja ulkopuolisten pintavastusten summa (lämpövirta vaakasuora= $R_{si}=0,13$ ja $R_{se}=0,04$)

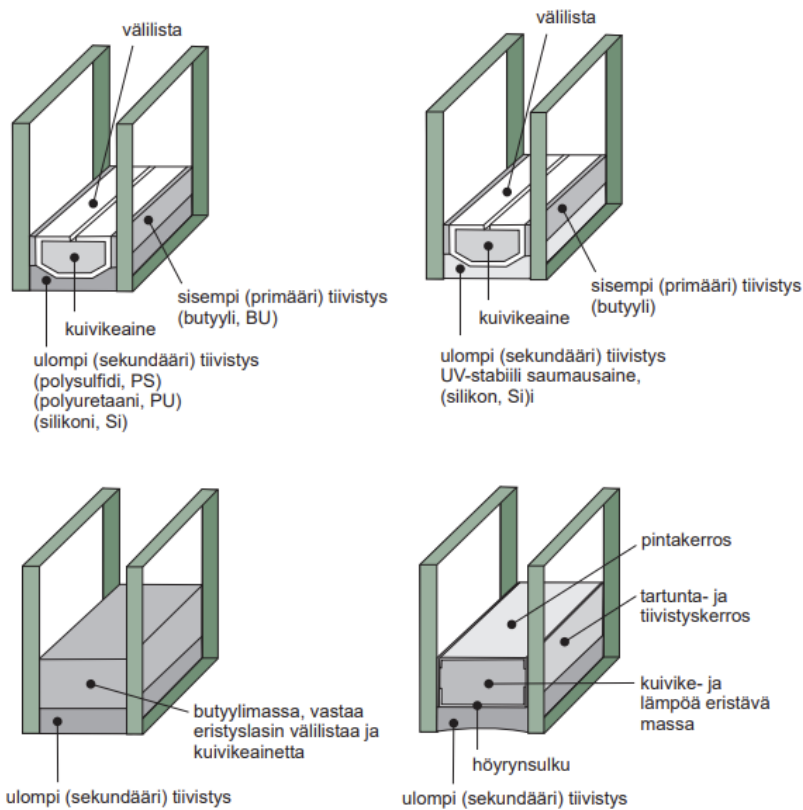
λ_j = lasin tai läpinäkyvän ainekerroksen j lämmönjohtavuus (W/(mK))

d_j = lasin tai läpinäkyvän ainekerroksen j paksuus (m)

R_{sj} = lasivälin j lämmönvastus ((m²K)/W)

Suuri harppaus eristävydessä saavutettiin eristyslaselementtien avulla. Elementissä kaksi tai useampi lasilevy liimataan kaasutiiviisti välilistakehään, elementissä voidaan käyttää lähes kaikkia rakennuslaseja. Kehän ja lasin väli tiivistetään kahdella eri kerroksella. Sisempi tiivistys tehdään plastisella butyylimassalla, jonka tarkoitus on estää kosteuden pääsy välitilaan ja eristää lämpöä lasin ja metallilistan välissä. Ulompi reunasaumaus tehdään elastisella polysulfidi- tai polyuretaanimassalla, se sitoo lasit ja välilistan joustavasti yhteen. (5.)

Pintalistoitamattomissa ikkunoissa käytetään silikonimassaa, koska muut reunasaumaukset eivät kestä pitkäaikaista ultraviolettisäteilyä. Välilistoja on tehty yleensä alumiinista tai ruostumattomasta teräksestä. Alumiinin lämmönjohtavuus on korkea eikä se ole yhtä lujaa kuin teräs, siksi ohuemmat teräslistat ovat nykyään suosituimpia. Myös muovista ja pursotettavasta polymeeristä tehdään hyvin lämpöä eristäviä välilistoja. Yleisimmät listaleveydet ovat 9, 12, 15 ja 18 mm. Välilistan sisällä on kuivikeaine, joka sitoo listaan tehtävien reikien kautta kosteutta lasipaneelien välistä. Kuvassa 6 on esimerkkejä eri eristyslaselementeistä. (5.)



KUVA 6. Eristyslasielementin rakenne-esimerkkejä (5, s. 2)

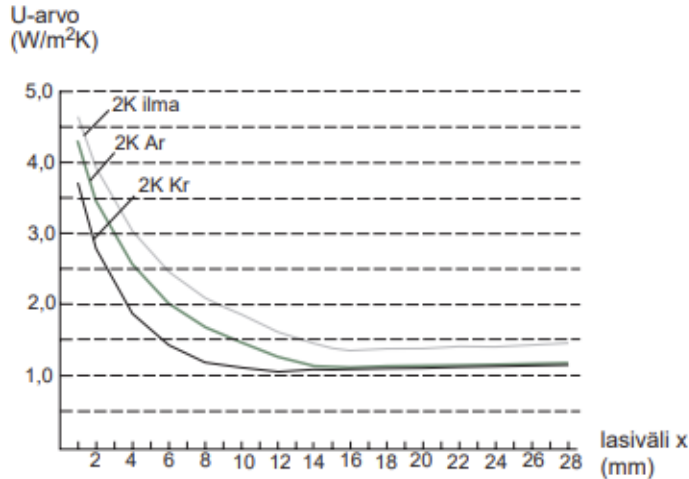
3.4 Täytekaasut

Eristyslasielementtien U-arvoa voidaan parantaa täyttämällä lasien välinen tila ilman sijasta jalokaasulla. Yleensä käytetään argonia, krypton ja ksenon ovat harvemmin käytettyjä ja kalliimpia vaihtoehtoja. Näitä jalokaasuja erotetaan ilmastasta nesteyttämällä. Taulukossa 1 verrataan ilman, argonin ja kryptonin vaikutusta eristyslasin valoaukon lämmönläpäisykertoimeen. Taulukosta ilmenee myös lasivälin paksuuden ja lasien lukumäärän vaikutus U-arvoon. (5)

TAULUKKO 1. Eristyslasin valoaukon lämmönläpäisykertoimet (3, s. 21)

TAULUKKO 8. ERISTYSLASIN VALOAUKON LÄMMÖNLÄPÄISYKERTOIMET									
Valoaukon lämmönläpäisykertoimet, U_g , W/(m ² · K)									
Lasivälin paksuus, mm / lasien lukumäärä, kpl	Ilma emissiviteetti			Argon emissiviteetti			Krypton emissiviteetti		
	0,04	0,16	0,837	0,04	0,16	0,837	0,04	0,16	0,837
9 / 2	1,9	2,2	3,0	1,6	1,8	2,8	1,1	1,5	2,6
12 / 2	1,6	1,9	2,8	1,3	1,6	2,7	1,1	1,4	2,5
15 / 2	1,4	1,7	2,7	1,1	1,5	2,6	1,1	1,4	2,5
18 / 2	1,4	1,7	2,7	1,2	1,5	2,6	1,1	1,5	2,6
9 / 3	1,2	1,3	2,0	0,9	1,1	1,9	0,6	0,8	1,7
12 / 3	0,9	1,1	1,9	0,7	0,9	1,7	0,5	0,7	1,6
15 / 3	0,8	1,0	1,8	0,6	0,8	1,7	0,5	0,8	1,6
18 / 3	0,7	0,9	1,7	0,6	0,8	1,6	0,5	0,8	1,6

Jalokaasu liikkuu ilmaa hitaammin vähentäen lämmönläpäisevyyttä entisestään. Parasta u-arvoa tavoitellessa on otettava huomioon konvektio. Lasivälin kaventaminen vähentää konvektiota mutta kasvattaa johtumista, välin leventäminen aiheuttaa päinvastaisen reaktion. Kuvassa 7 esitetään 2K-eristyslasin optimaalista lasiväliä eri täytekaasuilla. Tämän eristyslasin optimi lasiväli on ilmalle 16 mm, argonille 15 mm ja kryptonille 10 mm. (5.)



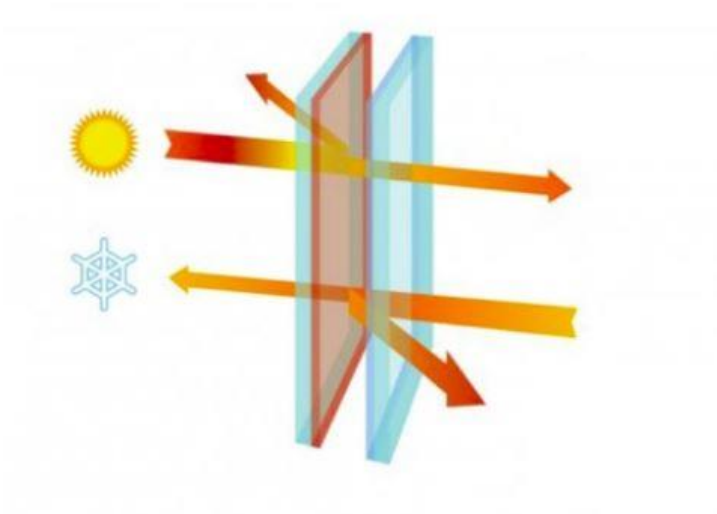
KUVA 7. 2K-eristyslasin lasivälin vaikutus U-arvoon (5, s. 7)

Eristyslasit eivät ole koskaan täysin ilmatiiviitä. Optimaalisella reunakittauksella vuoto saadaan alle 1 % vuodessa. Jos vuoto pysyy samana, 50 vuoden kuluttua kaasua on jäljellä vielä puolet. Eristyslaselementin lämmöneristävyys ei ole heikentynyt vielä huomattavasti. Eristyslaseihin jää aina pari prosenttia ilmaa, koska nyky menetelmillä 100 % jalokaasutäyttö on mahdotonta. (5.)

Lähivuosina on alettu kokeilemaan myös tyhjiöeristyslaseja. Tyhjiöeristyslaseissa lasielementin sisään muodostetaan tyhjiö, joka eristää lämpöä hyvin. Eristävyys on samaa luokkaa kuin kaasutäyteisillä eristyslaseilla. Tyhjiölasit ovat kalliita ja niiden valmistus on vaikeampaa kuin eristyslasin, joten ne eivät ole kilpailukykyisiä tällä hetkellä. Tyhjiölasin etuna on pienempi rakennepaksuus. Myös rikkiheksafluoridia on käytetty täytekaasuna sillä saavutetun ääneneristävyyden vuoksi, nykyään sitä ei käytetä ympäristösyistä. (5.)

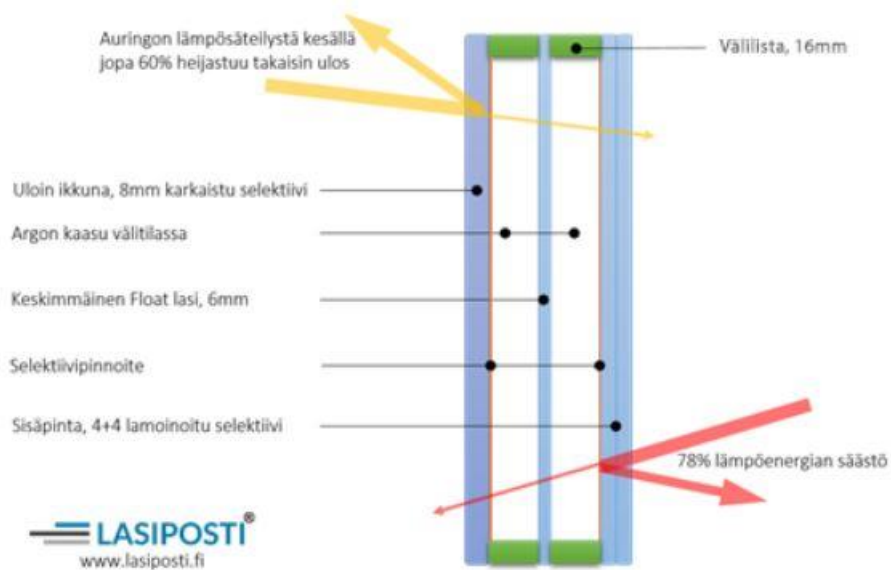
3.5 Selektiivipinnoitteet

Eristyslaseielementeissä on yleensä ainakin yksi pinnoitettu energiansäästölasia. Sen sijainnilla elementissä ei ole U-arvon kannalta suurta merkitystä. Lasi pinnoitetaan läpinäkyvällä metalli- tai metallioksidipinnoitteella. Kuvassa 8 esitetään pinnoitteen toimintaa, pinnoite päästää auringon valon lävitse esteittä mutta estää lämpösäteilyn liikkumista pinnoitteen läpi. (6.)



KUVA 8. Selektiivipinnoitteen toimintaperiaate (6)

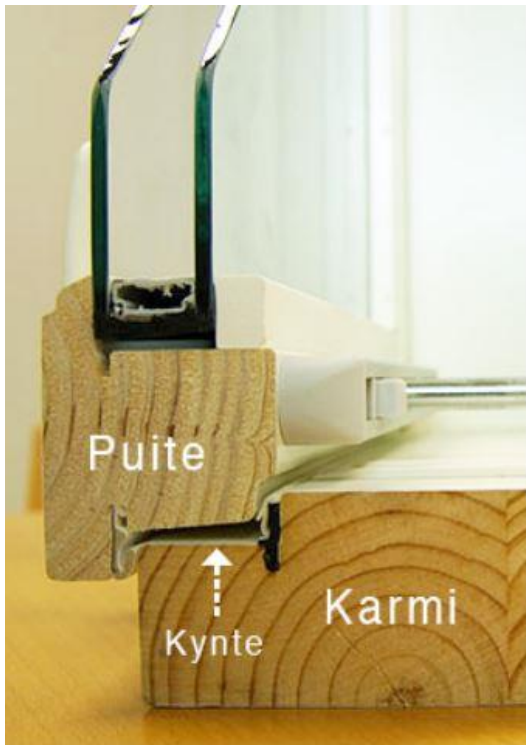
Selektiivipinnoitteet ovat yleensä pehmeitä eivätkä kestä mekaanista kulutusta, siksi pinnoite laitetaan eristyslaseielementtien sisäpintaan. Kuvassa 9 esitetään 3K-eristyslasin poikkileikkaus, 3K-laseissa on yleensä useampi eri pinnoite parhaan lämmönläpäisykertoimen saavuttamiseksi. Pinnoitteen sijoittaminen keskimmäiseen lasiin aiheuttaa termisen rikkoutumisen riskin aurinkoenergian absorboitumisen vuoksi. (6.)



KUVA 9. 3K-eristyslasin poikkileikkaus (6)

3.6 Ikkunan kehä

Avattava ikkuna koostuu karmista ja puitteista. Laselementit kiinnitetään puitteisiin ja puitteet kiinnitetään saranoilla karmiin, jotta ikkunan voi avata. Karmit ja puitteet tehtiin alun perin käyttökohteeseen valikoidusta puusta. Ne valmistettiin työmaalla tai puusepän verstaalla ja käsiteltiin säältä suojaavilla maaleilla tai lakoilla. Ikkunoiden massavalmistuksen myötä valikoidusta puusta on luovuttu ja puuosat maalataan tehtaalla. Nykyään karmien ja puitteiden ulkopuoliset osat voidaan tehdä alumiinista. Myös muovia voidaan käyttää puitteiden materiaalina, mutta sen on harvinaista Suomessa. Karmiin tehdään lovi, johon puite painuu, kun ikkuna suljetaan. Kuvassa 10 esitetään loven eli kynteen toiminta. (7.)



KUVA 10. Kynteen toiminta puitteen ja karmen yhteensopivuudessa (7)

Karmin ja puitteiden vastaan painuville pinnoille asennetaan silikoni- tai kumitiivisteet. Ulkopuitteeseen jätetään tiivistämättömiä tuuletusrakoja, joilla estetään kosteuden kertymistä lasien väliseen tilaan. Maisemaikkunat ja ikkunaseinät tehdään yleensä kiinteinä ikkunoina, joissa lasielementit liitetään suoraan karmeihin. Kiinteiden ikkunoiden karmit voidaan toteuttaa puulla tai metallilla. Merkittävä osa ikkunan lämpöhäviöistä syntyy karmien ja puitteiden liitoksista. Oikein mitoitetuilla osilla ja huolellisella tiivistämisellä voidaan vähentää ikkunan häviöitä huomattavasti. Ikkunan kehän lämmönläpäisykerroin lasketaan kaavalla 3. (7.)

KAAVA 3. Ikkunan kehän lämmönläpäisykerroin (3, s. 22)

$$U_f = \frac{1}{R_{si} + R_{se} + \frac{\beta d}{\lambda_n}}$$

U_f = ikkunan kehän lämmönläpäisykerroin (W/(m²K))

$R_{si} + R_{se}$ = sisä- ja ulkopuolisten pintavastusten summa (lämpövirta vaakasuora= $R_{si}=0,13$ ja $R_{se}=0,04$)

λ_n = karmi- ja puiteaineen normaalin lämmönjohtavuus (W/(mK))

d = karmi- ja puiteosan keskimääräinen paksuus (m)

β = todellisuudessa moniulotteisen lämpövirtauksen huomioon ottava korjauskerroin (0,7)

4 IKKUNAN LIITOS SEINÄÄN

Nykyaikaiset ulkoseinärakenteet estävät lämmön läpäisyä erittäin hyvin. Niiden suorituskyky laskee, kun jatkuva rakenne täytyy katkaista liitoksen tai aukon takia. Ikkunan karmit luovat seinärakenteeseen kylmäsiltoja, joiden kautta voidaan menettää huomattava määrä lämpöä. Siksi ikkunan ja seinän liitos on tehtävä huolellisesti. Ikkunan liittäminen seinään vaihtelee seinärakenteen ja karmien materiaalin mukaan, mutta jokaiseen tilanteeseen löytyy tiivis liitostapa.

4.1 Ennen asennusta

Onnistunut asennus edellyttää monia toimenpiteitä ennen asennustyön aloitusta. Aluksi pidetään aloituspalaveri, jossa käsitellään työturvallisuutta, työkohteen tilannetta, työmenetelmiä, aikataulua, työhön liittyviä määräyksiä ja paikallisia järjestyssääntöjä. Tarkistetaan myös työhön tarvittavien piirustusten ja suunnitelmien paikanpitävyys. Seuraavaksi työntekijät perehdytetään kohteeseen ja käytettäviin menetelmiin, myös suojavarustukset ja vaadittavat pätevyydet tarkistetaan. Kun työkohde vastaanotetaan, tarkistetaan että se on turvallinen ja valmis asennustyön aloitukseen. (8.)

Työkohde suojataan tarpeen mukaan ja tarvittava kalusto tarkastetaan. Metallikkunoiden asennukseen liittyy usein hitsaustöitä, siitä aiheutuvaan tulipaloriskiin on kiinnitettävä erityistä huomiota ja hitsaajalla tulee olla tulityöturvakortti. Jos kohteessa tarvitaan nostoja, tulee nostokalusto ja nostoalue tarkastaa, sekä nostotoimenpiteet suunnitella etukäteen. Ikkunoita vastaanotettaessa tarkistetaan toimituksen sisältö ja kunto. Työjärjestys suunnitellaan niin, ettei ikkunoita tarvitse varastoida työmaalla tarpeettomasti. Tarvittaessa ikkunat varastoidaan sisätiloissa, jotta vältetään mahdollisilta vaurioilta. (8.)

4.2 Puuikkuna

Puisen ikkunan asennus alkaa yleisillä tarkistuksilla. Karmien korkeusasema, pystysuoruus, suorakulmaisuus ja puhtaus, sekä aukon asennusvara tarkistetaan. Ikkunan puitteet irrotetaan karmeista

asennuksen ajaksi. Jos aukkoon tulee useampi pieni ikkuna, karmien välit tiivistetään mineraalivillalla tai polyuretaanilla ja karmit kiinnitetään toisiinsa ruuveilla. Karmin kiinnityskohdat mitataan ja merkataan, tarvittaessa kiinnitysruuveille porataan valmiiksi reiät. Topparit kiinnitetään ikkuna-aukon ulkopuolelle ja asennuspalat aukon alapuolelle päälle. (8.)

Seuraavaksi karmi nostetaan paikoilleen asennuspalojen varaan ja toppareita vasten. Karmin korko ja syvyys tarkistetaan. Karmi keskitetään aukkoon, karmin ja seinän välille tulisi jäädä 10–20 mm tilkevaraa. Karmi kiristetään paikalleen yläkulmiin asetettavien kiilojen avulla. Kuvassa 11 karmia kiristetään kiiloilla. (8.)



KUVA 11. Karmin yläkulmien kiristys kiiloilla (10)

Kun karmi on paikallaan, pystypuiden ja runkotolppien väliin asennetaan kiiloja kiinnityskohtien yläpuolelle. Karmin pysty- ja vaakasuoruus tarkistetaan ennen lopullista kiinnitystä, tarvittaessa karmien asentoa voidaan vielä säätää kiilojen avulla. Kun karmi on lopullisella paikallaan, se kiinnitetään seinään. Kiinnitys tapahtuu puuseinään ruuveilla ja kiviseinään kiinnitystulpilla. Kiinnityskalusto ei saa vahingoittaa karmia tai ympäröivää rakennetta syövyttävällä tai värjäävällä vaikutuksella. Kuvassa 12 karmi on kiinnitetty seinään ruuveilla. (8.)



KUVA 12. Karmin kiinnitys ruuveilla (10)

Ennen ikkunapuitteen paikoilleen-nostoa tarkistetaan karmin pysty- ja vaakasuoruus vielä kerran. Ikkunapuitteen asennuksen jälkeen kiinnitysreiät peitetään karmin ulkonäköön sopivilla puu- tai muovitulpilla ja ikkunan käynti säädetään. Lopuksi karmin ja seinän välinen rako tilkitään sisäpuolelta ilma- ja höyrytiiviksi, erityisen kylmissä tai kosteissa ympäristöissä myös ulkopuoli tulee tiivistää. Tilkitävästä raosta poistetaan asennuskiilat ja tiivistävä aine asennetaan rakoon niin, että se harvenee ulospäin. (8.)

Yleensä tiivistys tehdään pursotettavalla solumuovilla. Uretaanivahto vaatii kosteutta liimautuakseen kunnolla tiivistettäviin pintoihin. Kuiva karmin pinta voi johtaa tiivisteiden irtoamiseen karmista, joka heikentää tiivistyksen toimivuutta huomattavasti. Pursotettava uretaani ei myöskään harvene vaaditulla tavalla ulospäin. Tätä voidaan ehkäistä eristämällä ulkoreuna mineraalivillalla tai muulla vastaavalla eristeellä. Nykyään suositaan teipillä ja/tai massalla tehtävää tiivistystä, jolla saavutetaan tiivis ulkovaippa. Rakoja tilkitäessä on huolehdittava, ettei eristettä laiteta liikaa. Tämä voi johtaa karmin taipumiseen. Kuvassa 13 ikkunan ja seinän rakoja tilkitään solumuovilla. Ikkunan vesipellit tulisi asentaa mahdollisimman nopeasti, jotta vältytään kosteusvaurioilta. (8.)



KUVA 13. Karmin ja seinän välisen raon tilkitseminen solumuovilla (10)

4.3 Metallikkuna

Asennuksen alussa karmi puhdistetaan ja sen pystysuoruus ja suorakulmaisuus tarkistetaan. Karmin asennuspaikka mitataan ja merkitään. Tarvittavat topparit ja asennuspalat kiinnitetään ja karmi nostetaan niiden varaan. Ennen karmin keskitystä varmistetaan oikea korko ja syvyys. Karmi kiristetään kiiloilla kevyesti paikalleen kiinnitystä varten. Karmi voidaan koeasentaa, jotta vältetään mahdollisilta jännityksiltä tai muodonmuutoksilta rakenteessa. Kiinnitystarvikkeet eivät saa aiheuttaa syöpymistä tai värjäytymistä ympäröivissä rakenteissa. Kiinnitystarvikkeet tulee myös suojata kosteudesta aiheutuvaa syöpymistä vastaan. Alumiinirakenteisissa ikkunoissa käytetään alumiinista, ruostumattomasta teräksestä tai kuumasinkitystä teräksestä tehtyjä ruuveja. (9.)

Metallikkarmi kiinnitetään betoniseinään valun aikana, tai valuun asennettuihin kiinnitysteräksiin hitsaamalla tai ruuveilla. Muurattuun seinään karmi voidaan kiinnittää muurauksen aikana saumalaastilla tai muuraussaumoihin asennettuihin kiinnitysteräksiin ruuveilla tai hitsaamalla. Teräsosien liitoksissa ei saa olla toimintaa tai ulkonäköä haittaavaa hammastusta. Hitsaussaumot hiotaan niin että ne vastaavat ympäröivien pintojen ulkonäköä. (9.)

Ennen lasien asennusta asennuspinnat ja lasi puhdistetaan ja kuivataan. Lasien kannatuskiilat asennetaan paikoilleen siten, etteivät ne tuki tuuletusaukkoja. Kiiloja voidaan laittaa kaksi vierekkäin, jos kyseessä on raskas lasielementti. Kiilojen tulee olla 5mm paksuja, eikä niiden muoto saa

muuttua lämpötilavaihteluiden tai kosteuden vuoksi. Lasi nostetaan kiilojen päälle imukuppinostimella, se voidaan kiinnittää paikoilleen elastisella massalla. Kuvassa 14 lasielementti nostetaan paikalleen nostokoneen avulla asennusta varten. (9.)



KUVA 14. Lasielementin paikoilleennosto nostokoneella (11)

Lasi ei saa olla kosketuksissa metallin kanssa, eikä sen ylä- ja alareuna saa tukkia ulkoseinän tuuletusrakoa. Jos kiinnitykseen käytetään kiinnitysmuotonauhoja, tulee nauhat asentaa ennen lasin kiinnitystä. Asennussuunnassa ulompi nauha asennetaan ensin, sisäpuolen nauha ja lasituslista voidaan asentaa yhdessä tai erikseen. Lasituslistan tulee tukeutua koko pituudeltaan ikkunan runkoon, eikä se saa ulottua ikkunan pinnan ulkopuolelle. Lista kiinnitetään syöpymättömillä tarvikkeilla. Kiinnityksessä huomioidaan kosteuden ja lämpötilan muutoksista aiheutuvat liikkeet. Tiivistysnauhan nurkat voidaan kiinnittää saumamassalla. (9.)

Ikkunan ja metallikarmin väli tiivistetään sisäpuolelta ilma- ja höyrytiiviksi polymeeripohjaisella tiivisteellä, tarttuvalla massalla tai tiivistysmuotonauhalla. Tiivisteeseen tulee kestää kosteus- ja lämpö-

tilamuutokset, sekä käytöstä aiheutuvat rasituksen. Tiivisteiden tulee jatkua yhtenäisenä helojen kohdalla, ja pysyä joustavana, tiiviinä ja kiinni karmissa käytön aikana. Jotta kosteus ei tiivisty lasiin, uloimman puitteen on päästävä tuulettumaan ulkoilmaan. Karmin ja seinän väliset raot tilkitään kuivalla tilkkeellä tai kutistumattomalla solumuovilla tiiviiksi, täyttö ei saa vääntää karmia tai vahingoittaa viereisiä pintoja. Asennuskiilat poistetaan ennen tilkitsemistä. Mahdolliset vauriot teräsosien suojaavissa käsittelyissä korjataan asennuksen lopuksi. (9.)

5 YHTEENVETO

Ikkuna on tärkeä osa ihmisten oleskeluun tarkoitettuja rakennuksia. Luonnon valo lisää viihtyvyyttä ja sillä on positiivisia vaikutuksia terveydelle. Ikkunan kautta voidaan tuulettaa rakennusta ja se voi olla elintärkeä poistumistie hätätilanteessa. Ikkunan aiheuttama keskeytys yhtenäisessä seinärakenteessa muodostaa heikkouden rakennuksen lämmöneristävyydelle. Tätä heikkoutta on pyritty ehkäisemään ikkunan kehittyessä.

Viimeisen vuosisadan aikana ikkuna on kehittynyt pienestä 1-lasisesta lyijypuitteisesta ruudusta monilasiseksi, sisään- tai ulosaukeavaksi ikkunaksi, joka sisältää hyvin lämpöä eristäviä ratkaisuja. Aluksi ikkunat tehtiin rakennuskohteen vaatimusten mukaisiksi työmaalla. Ne olivat yleensä kaksilasisia, eivätkä eristäneet lämpöä hyvin. Lasin valmistusmenetelmien kehittyessä ikkunoiden valmistus nopeutui. Ikkunakokojen vakiintuminen mahdollisti massatuotannon tehtaissa.

Eristyslasiens lisäys ikkunarakenteeseen paransi ikkunan lämmöneristävyyttä huomattavasti, ilman korvaus jalokaasuilla laski u-arvoa entisestään. Nykyään ikkunat valmistetaan tilaustyönä tehtaalla. Niiden puitteet voivat olla maalattua puutavaraa, metallia tai muovia. Ne sisältävät yksi tai kaksi eristyslaselementtiä ja lämpösäteilyä ohjaavan selektiivipinnoitteen.

Ikkunan liitoksella on suuri vaikutus ikkunan lämmöneristävyyteen. Liitoksen tulee olla tiivis ja hyvin eristetty. Eri materiaaleista kootuille karmeille on tarkat ohjeet niiden liittämisestä seinään. Asennuksessa varmistetaan karmin sijoittuminen halutulle paikalle kiiloilla ja se kiinnitetään seinään materiaaleille sopivalla tavalla. Karmin ja seinän välisen raon tilkitseminen on yksi asennuksen tärkeimmistä vaiheista. Eristeiden asennus on tehtävä ohjeiden mukaan, jotta ne toimivat oikein.

Ikkunarakenteen lämmöneristävyyttä pyritään nostamaan jatkuvasti. Rakennustekniikoiden kehityksessä myös ikkunoiden ja seinien liitosten tiiveys voi parantua. Tulevaisuudessa paremmat kaasut ja pinnoitteet voivat laskea eristyslaselementin u-arvoa tai elementit voidaan korvata kokonaan ohuemmillä tyhjiölaseilla, jos niiden valmistus saadaan yksinkertaistettua.

LÄHTEET

1. RT 41-10726 2000. Puuikkunat. Korjausrakentaminen. Rakennustieto Oy. Hakupäivä 5.3.2023. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2041-10726>. Vaatii lisenssin.
2. RT 103241 2020. Puu- ja puualumiini-ikkunat. Rakennustieto Oy. Hakupäivä 5.3.2023. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%20103241>. Vaatii lisenssin.
3. C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2002. Lämmöneristys, ohjeet 2003. Ympäristöministeriö. Hakupäivä 5.3.2023. <https://www.finlex.fi/data/normit/1931-C4s.pdf>.
4. Ikkunawiki.fi. Ikkunalasin historia. Hakupäivä 5.3.2023. <https://www.ikkunawiki.fi/historia/ikkunalasi/>.
5. RT 38-10941 2008. Eristyslasit. Rakennustieto Oy. Hakupäivä 5.3.2023. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2038-10941>. Vaatii lisenssin.
6. Lasiposti.fi. Selektiivilasi eli lämpölasit. Hakupäivä 5.3.2023. <https://www.lasiposti.fi/rakentajan-lasiopas/selektiivilasi-eli-lampolasi/>.
7. Ikkunawiki.fi. Ikkunarakenne ja lasien määrä. Hakupäivä 5.3.2023. <http://ikkunawiki.fi/ikkunatyypit/ikkunoiden-rakenne/>.
8. Ratu 0419 2014. Puuvalmisosarakentaminen, puuikkunat ja -ovet. Menekit ja menetelmät. Rakennustieto Oy. Hakupäivä 5.3.2023. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/Ratu%200419>. Vaatii lisenssin.
9. Ratu 0410 2013. Metalliovi- ja -ikkunatyö. Menekit ja menetelmät. Rakennustieto Oy. Hakupäivä 5.3.2023. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/Ratu%200410>. Vaatii lisenssin.
10. Rakentaja.fi 2015. Ikkunan asennus. Hakupäivä 5.3.2023. https://www.rakentaja.fi/artikkelit/12652/ikkunan_asennus.htm.

11. Metalliovet.com. Metallikkunat. Hakupäivä 5.3.2023 <https://www.metalliovet.com/metalli-ikkunat/>.