

liris Konttila

**SUOMALAISTEN KERROSTALOJEN IK-
KUNOIDEN KEHITYS JA VAURIOMEKA-
NISMIT 1960-LUVULTA TÄHÄN PÄI-
VÄÄN**

Kandidaatintyö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Toni Pakkala
Toukokuu 2024

TIIVISTELMÄ

Iiris Konttila: Suomalaisten kerrostalojen ikkunoiden kehitys ja vauriomekanismit 1960-luvulta tähän päivään (engl. Development and damage mechanisms of windows in Finnish apartment buildings from the 1960s to today)

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Rakennustekniikka

Toukokuu 2024

Ikkunat ovat lämmöneristysominaisuuksiltaan rakennuksen vaipan heikoin osa. Niiden kehittämisellä on ollut merkittävä rooli rakennusten energiatehokkuuden parantamisessa. Tässä kandidaatintyössä perehdytään Suomalaisten kerrostalojen ikkunarakenteiden historiaan 1960-luvulta tähän päivään. Tavoitteena on koota yhteen vuosikymmenten aikana tapahtuneet muutokset kerrostalojen ikkunarakenteissa. Lisäksi työhön kerätään tietoa ikkunarakenteeseen kohdistuvista rasituksista, ja niiden aiheuttamista vaurioista. Työ toteutetaan kirjallisuuskatsauksena. Lähteinä käytetään rakennusalan kirjallisuutta, RT-kortistoja, Ympäristöministeriön asetuksia sekä ikkunavalmistajien verkkosivuja. Koska tavoitteena on tutustua vanhoihin ikkunoihin, osa käytetyistä lähteistä on kumottuja ja arkistoituja ohjeita ja julkaisuja.

Työn kahdesta osasta ensimmäisessä perehdytään ikkunan rakenteeseen yleisesti sekä rakennetyypeittäin. Rakennetyypit pyritään käsittelemään kronologisesti. Osassa ikkunatyypeistä on erityisominaisuuksia, joihin perehdytään yhtä aikaa rakenteen kanssa. Erikseen käsitellään lämmön- ja ääneneristävyyteen, aurinkosuojaukseen, ilmanvaihtoon sekä turvallisuuteen liittyviä erityisominaisuuksia. Toisessa osassa käsitellään ikkunarakenteen vauriomekanismeja. Jaottelu tapahtuu rasitusten mukaan, joista on tutkittu kosteutta, auringon säteilyä, lämpöä ja mekaanisia sekä kemiallisia rasituksia. Työssä pyritään nostamaan esiin myös vaurioita, joita entiset valmistavat ja suunnitteluvirheet ovat aiheuttaneet.

Tutkimus osoittaa, että ikkunarakenteen ominaisuudet ovat kehittyneet merkittävästi vuosikymmenten aikana. Rakenteen kehittäminen on tapahtunut ongelmien löytyttyä, sekä vaatimusten muututtua. U-arvovaatimusten kiristyessä markkinoille on tullut yhä energiatehokkaampia ikkunoita. Uusissa ikkunoissa esimerkiksi eristyslasin käyttäminen on oletus, eikä enää erityisominaisuus. Energiatehokkuuden parantamiseksi ikkunoita on alettu hyödyntämään enenevässä määrin ilmanvaihdossa ja lämmön talteenotossa. Vauriomekanismeja tutkittaessa selvisi, että pahin rasitus muodostuu auringon säteilyn ja kosteuden yhdistelmästä. Tällainen tilanne on pahimmillaan rakennuksen eteläseinän alakarmissa.

Avainsanat: ikkunarakenne, vauriomekanismi, U-arvo, eristyslasi

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Tutkimuksen tausta.....	1
1.2 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset.....	2
1.3 Tutkimusmenetelmät ja rajaukset	3
2. IKKUNARAKENTEIDEN KEHITYS	4
2.1 Ikkunoista yleisesti.....	4
2.2 Ikkunan rakenne	5
2.2.1 MS	6
2.2.2 MSK.....	8
2.2.3 MSE.....	9
2.2.4 MEK / SE	10
2.2.5 Etuikkuna ja vaihtopuite	11
2.3 Ikkunan ominaisuuksia	12
2.3.1 Lämmöneristävyys	13
2.3.2 Ääneneristävyys	13
2.3.3 Aurinkosuojaus	13
2.3.4 Palonsuojaus ja turvalasit	14
2.3.5 Ilmanvaihto	14
3. VAURIOMEKANISMIT	16
3.1 Kosteus	16
3.2 Auringon säteily ja lämpö.....	18
3.3 Mekaaniset rasitukset	18
3.4 Kemialliset rasitukset	19
4. YHTEENVETO.....	20
LÄHTEET	21

LYHENTEET JA KÄSITTEET

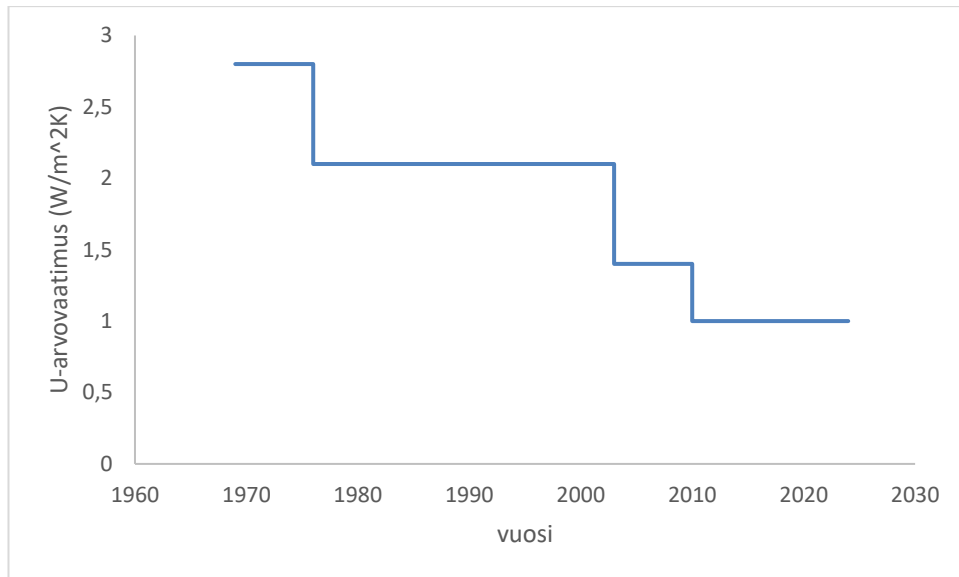
U-arvo	Lämmönläpäisevyyskerroin kuvaa energian tiheyttä, joka läpäisee rakennusosan lämpötilaeron ollessa yksikön suuruinen. Yksikkönä käytetään $\frac{W}{m^2K}$. (RakMk C3 2010, s. 3)
k-arvo	Entinen nimitys U-arvolle.
g-arvo	Auringonsäteilyn kokonaisläpäisy. (RT 38.10941 2008, s. 6)
MS	Sisään aukeava kaksilasinen ja -puitteinen ikkuna.
MSU	Ulosaukeava kaksilasinen ja -puitteinen ikkuna.
MSK	Sisään aukeava kolmilasinen ja -puitteinen ikkuna.
MSE	Sisään aukeava kolmilasinen kaksipuitteinen ikkuna.
MSEA	Sisään aukeava kolmilasinen kaksipuitteinen puualumiini-ikkuna.
MEK	Kiinteä kaksi- tai kolmilasinen eristyslasi ikkuna.
MEKA	Kiinteä kaksi- tai kolmilasinen eristyslasi-puualumiini-ikkuna.
SEK	Sisään aukeava kaksipuitteinen kolmilasinen kytketty ikkuna, sisäpuiteessa eristyslasi.
SE	Sisään aukeava yksipuitteinen ikkuna kaksin- tai kolminkertaisella eristyslasi-elementillä. (RT 103241 2020, s. 4)

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Suomalainen kerrostalorakentaminen on maailman mittakaavassa tuoretta. Rakenteiden isot kehitysharpaukset ajoittuvat toisen maailmasodan jälleenrakennuksen aikaan, jolloin rakentamista alettiin rationalisoida ja standardoida (Mäkiö et al. 1994, s. 11–12). Suomessa rakennusolosuhteet ovat haastavat, ja tekniikoita on jouduttu kehittämään yrityksen ja erehdyksen kautta pohjoisen sääoloihin sopiviksi. rakennuksen vaippaan kohdistuvien erityisten vaatimusten takia suomalaisissa ikkunoissa on suurempi karmisyvyys ja enemmän laseja kuin esimerkiksi muualla Euroopassa. (Hemmilä & Heimonen 2005, s. 8)

Nykyaikana ikkunoiden energiatehokkuuteen kiinnitetään paljon huomiota. Ympäristöministeriön asetuksen mukaan uuden rakennuksen ikkunoiden U-arvon tulee olla enintään $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta, 24 §). Vielä 1960-luvulla käytettiin kaksilasisia puuikkunoita, joiden U-arvo oli välillä 2,4 ja $2,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (RT 103241 2020, s. 4). Kuvassa 1 on visualisoituna ikkunarakenteen U-arvovaatimusten muutosta tutkittavalla aikavälillä.



Kuva 1. Ikkunoiden U-arvovaatimusten kehitys (RakMk_C3 1985;2003;2007;2010)

1.2 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset

Työn tarkoituksena on koota tietoa suomalaisten kerrostalojen ikkunarakenteista 1960-luvulta tähän päivään. Aiheesta löytyy tietoa, mutta selkeä kooste viimeisten vuosikymmenten kehitysaskelista puuttuu. Vanhemmista rakenteista tietoa löytyi lähinnä arkistoista sekä kumotuista ja perutuista ohjeista. Tutkimusta suunnitellessa kävi myös ilmi, että monet kirjalliset teokset aiheen ympärillä on kirjoitettu arkkitehdin näkökulmasta.

Pääkysymys tutkimuksessa on seuraava:

- Millaisia ikkunarakenteita Suomalaisissa kerrostaloissa on käytetty 1960-luvulta lähtien?

Päätutkimuskysymystä tukevia tutkimuskysymyksiä ovat:

- Millaisia muutoksia ikkunarakenteessa on tapahtunut?
- Mitkä asiat ovat aiheuttaneet kehitystarvetta ikkunoissa?
- Millaisia vauriomekanismeja ikkunoissa esiintyy?

Ikkunoiden valmistus on sarjatuotantoa. Saman aikakauden tuotteet ovat keskenään hyvin samanlaisia. Siksi myös rakenteiden ongelmat ja vauriot löytyvät todennäköisesti kaikista saman ikäluokan ikkunoista. Kehitysvaiheiden ja vauriomekanismien raportoinnista voisi näin ollen olla hyötyä monille kerrostaloasuntojen parissa toimiville.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja rajaukset

Tutkimus on rajattu vuodesta 1960 tähän päivään. Ennen tätä ikkunat olivat pitkälti käsi-työtä, ja ne valmistettiin usein työmaalla. Tutkimuksen rajaaminen 1960-luvulta eteenpäin mahdollistaa tehdasvalmisteisiin ikkunoihin keskittymisen. Työssä päästään käsiksi ikkunoiden suuriin rakenteellisiin kehitysharppauksiin, joita on otettu 1990-luvulle saakka. Sen jälkeen rakenne on pysynyt isossa kuvassa melko samanlaisena. Muutosta on tapahtunut lähinnä materiaalien kehittymisen ja erityisominaisuuksien muodossa.

Tutkimus toteutetaan kirjallisuuskatsauksena hyödyntäen kansallisia aineistoja ja tietokantoja. Aineistoa etsitään Tampereen yliopiston Andor -kirjastopalvelusta. Lisäksi Rakennustiedon RT-korteista hyödynnetään vanhoja, jo kumottuja ohjekortteja.

2. IKKUNARAKENTEIDEN KEHITYS

2.1 Ikkunoista yleisesti

Rakennuksen ikkunoilla on merkittävä rooli viihtyvyyden kannalta. Ikkunoiden kautta tuodaan luonnonvaloa rakennukseen ja luodaan yhteyttä sisä- ja ulkotilojen välille. Ikkunoilla on myös arkkitehtuurin kannalta olennainen rooli rakennuksessa. Ikkunat ja muu aukotus ilmentävät voimakkaasti rakennuksen ja alueen tyyliä.

Aukotus aiheuttaa haasteita rakennuksen lämmön- ja ääneneristävyyden näkökulmasta. Ikkunat ovat lämmöneristyksen kannalta rakennuksen vaipan heikoin osa. Vuonna 2012 toteutetussa tutkimuksessa ikkunoiden osuuden rakennuksen lämmitysenergian kulu- tuksesta todettiin olevan keskimäärin 11–22 %. (Boström et. al. 2012) Ikkunarakenteen kehittymisellä on siis ollut olennainen rooli rakennuskannan energiatehokkuuden paran- tamisessa. Riittävä energiatehokkuus saavutetaan lähinnä kolmilasisella ikkunalla.

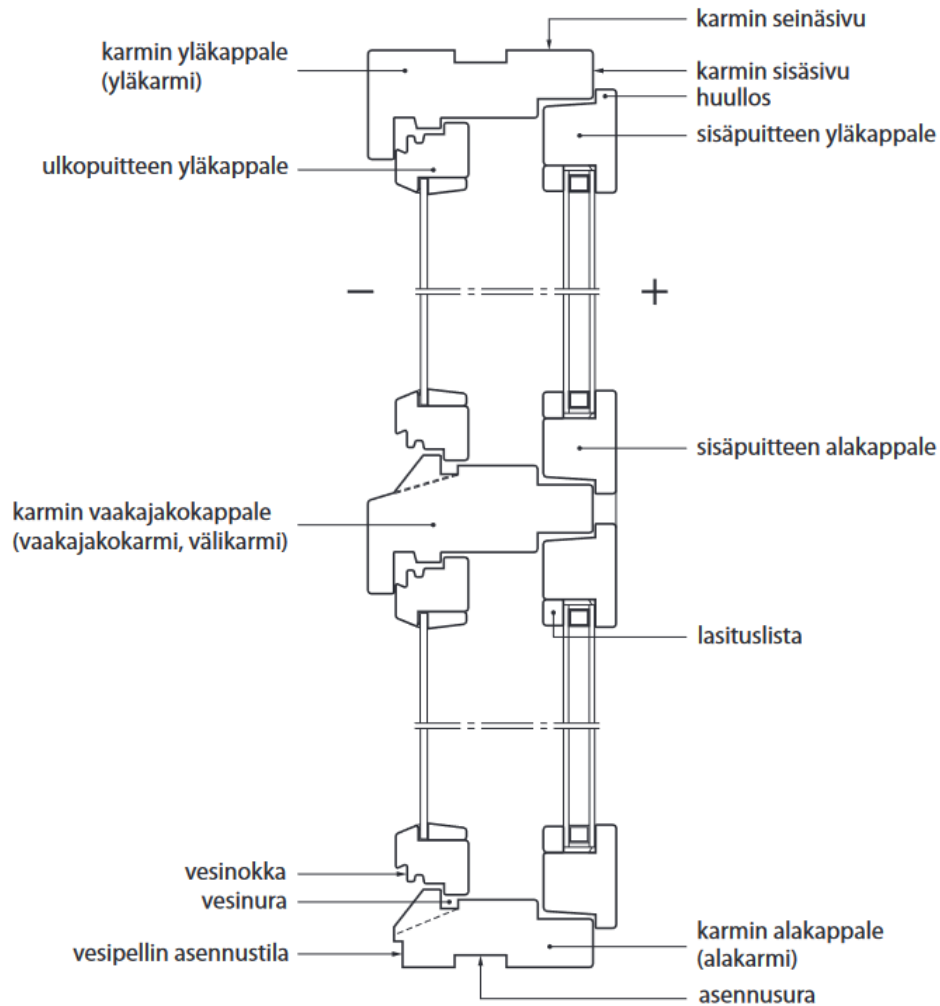
Ikkunoilla on usein merkittävä rooli rakennuksen ilmanvaihdossa. Vanhoissa painovoi- maista ilmanvaihtoa hyödyntävissä rakennuksissa korvausilman annettiin vapaasti vir- rata sisään vaipan vuotokohdista, joista merkittävä osa sijaitsi ikkunassa ja sen ympä- rillä. Energiatehokkuusmääräysten vuoksi rakennuksista tehtiin yhä tiiviimpiä, ja ilman- vaihtoa alettiin toteuttamaan koneellisesti. Korvausilmalle tarvittiin suunnitelmallinen reitti, ja usein se järjestettiin ikkunan karmiin. (Hemmilä & Saarni 2001, s. 59; Sundell 2004, s. 46)

Aukotus aiheuttaa myös ongelmia auringonvalon näkökulmasta. Pohjoisella pallonpuo- liskolla aurinko paistaa ison osan vuodesta niin matalalta, että varjostus vaatii toimia. Kesäkauden runsas auringonsäteily ikkunan läpi häiritsee ihmisen toimintaa ja ylikuu- mentaa sisätiloja. Toisaalta lämmityskaudella ikkunan kautta tulevaa auringon säteily- lämpöä voidaan hyödyntää lämmitysenergian tarpeen vähentämiseksi. Selektiivilasilla varustettu ikkuna sekä estää talviaikana lämpösäteilyn pääsyn ulospäin että absorboi säteilyä kesäaikaisen yllilämpenemisen ehkäisemiseksi. (Sundell 2004, s. 43)

Ikkunoiden kesto on rakennuksen käyttöikä lyhyempi. Useimmissa rakennuksissa jou- dutaan tekemään perusteellinen ikkunaremontti ainakin kerran rakennuksen käyttöiän aikana. (Hemmilä & Saarni 2001, s. 9)

2.2 Ikkunan rakenne

Ikkunarakenteen muodostavat lasi, puitteet ja karmit yksityiskohtineen. Karmi on rakenteen uloin osa, jolla ikkuna liittyy rakennukseen. Puitteet kehystävät lasia, liittävät sen karmiin saranoilla ja mahdollistavat avattavuuden. Kuvassa 2 on havainnollistettu visuaalisesti ikkunan eri osien nimityksiä.

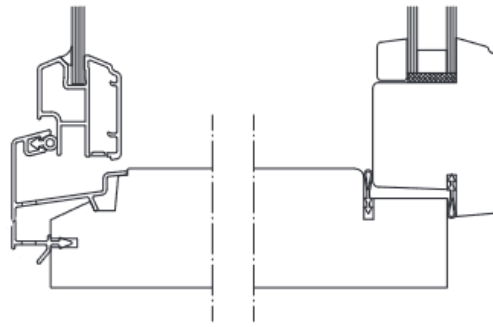


Kuva 2. Ikkunan osien nimitykset, pystyleikkaus (RT 103241 2020, s. 5)

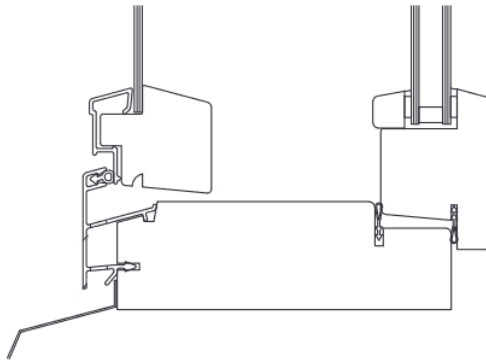
Ikkunan lasit on jo pitkään valmistettu float-menetelmällä, jossa raaka-aineet valutetaan sulan tinan päälle tasoittumaan, jäädytetään ja leikataan sopiviksi paloiksi. Float-menetelmällä saavutetaan huomattavasti tasapintaisempaa ja -laatusempaa lasia verrattuna aiempiin valmistustapoihin. (RT 38-10901 2007, s. 2)

1960-luvulta 1990-luvulle karmit ja puitteet valmistettiin yleisimmin puusta. 1990-luvulla säärasituksille altis karmien uloin osa alettiin verhoilemaan tai valmistamaan kokonaan alumiinista. Kuvassa 3 on esitetty rakenne, jossa ulkopuite on kokonaan alumiinia ja

karmin ulko-osat verhoiltu alumiinilla. Kuvan 4 rakenteessa sekä ulkopuite että karmin ulko-osat on verhoiltu alumiinilla. Alumiinin käyttö ulkopuitteessa paransi säänkestävyyden lisäksi rakenteen energiatehokkuutta, vähensi huollon tarvetta ja pidensi käyttöikää. Ikkunavalmistajat mainostavat puualumiini-ikkunoiden käyttöiän olevan jopa 50 vuotta, kun taas puuikkunoiden käyttöikä on 30 vuotta. (Pihla n.d. (a)).



Kuva 3. Puu-alumiini-ikkuna, jossa ulkopuite alumiinia ja karmin ulko-osan verhoitus alumiinia (RT 103241 2020, s. 15).



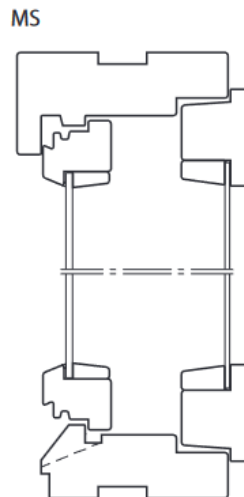
Kuva 4. Puu-alumiini-ikkuna, jossa ulkopuitteessa ja karmin ulko-osissa alumiini-profiiliverhoitus (RT 103241 2020, s. 15).

Ikkunarakenteen liittyminen rakennuksen vaippaan vaatii tiivistystä, listoitusta ja pellitystä, jotta muodostuu kokonaisuutena turvallinen ja kestävä sekä energiatehokas rakenne. Sadevesi ohjataan pois ikkunoista pellityksen avulla. Vesipeltien kaltevuuden tulee olla vähintään 1:3 ja ulottuman seinäpinnasta 30 mm. Vesipellit tulee varustaa tippanokalla, ja aluspelti on suositeltava. (Haukijärvi & Pakkala 2023, s. 6)

2.2.1 MS

Tyypillisin ikkuna 1960-luvun kerrostalorakentamisessa oli kaksilasinen MS-puuikkuna, jonka rakennetta on havainnollistettu kuvassa 5. Vastaavasta sisään-ulos aukeavasta

kaksilasisesta ja -karmisesta ikkunasta käytetään lyhennettä MSU. Vanhan kaksilasisen ja -karmisen ikkunan U-arvo on välillä 2,4 ja $2,8 \frac{W}{m^2K}$ (RT 103241 2020, s. 4). Suomalaisissa rakennuksissa ikkunat ovat sääolojen takia olleet kaksilasisia jo hyvin varhain. Kerrostalorakentamisessa aukeamissuunnat ovat olleet lähes alusta asti sisään-sisään. Puitteiden rakennusmateriaalina käytettiin pääsääntöisesti puuta. 1970-luvulle saakka puitteiden valmistukseen käytetty puu oli tarkoin valittua, korkeat laatuksiteerit täyttävää. Lasitukset tehtiin työmaalla, ja ikkunoiden valmistus oli käsityötä.



Kuva 5. Tyypillinen kaksilasisen sisään aukeava MS-ikkuna (RT 103241 2020, s. 4).

1970-luvulla asennettiin vielä paljon MS-ikkunoita, mutta puutavaran laadun vaatimukset pienentyivät. Puitteet saatettiin koota pienistä kappaleista liimaamalla. Muutos näkyi ikkunoiden yleisenä laadun heikkenemisenä ja käyttöiän lyhenemisenä. Tuotanto siirtyi kokonaan tehtaisiin, luovuttiin käsityöstä ja työmaalla tehdystä lasituksesta. (RT41-10726 2000, s. 2)

Ennen 1960-lukua ikkunoiden lasitus tehtiin kitin ja lasituslistan yhdistelmällä. 1960-luvulla aluskittaus alettiin jättämään pois. Kosteus pääsi listan alle ja aiheutti rakenteeseen vaurioita piilossa. (Mikkola & Böök 2016, s. 56)

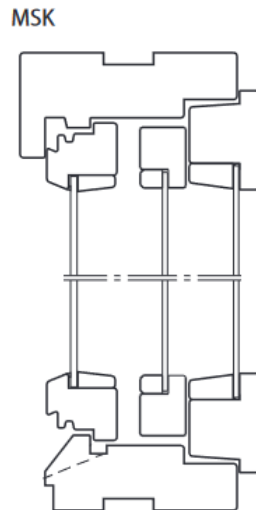
1960-luvulla elettiin myös puitteiden pinnoituksen kannalta murrosvaihetta. Pitkään käytössä ollut pellavaöljymaalit alkoi väistyä synteettisten maalien tieltä 1950-luvulla (Mikkola & Böök 2016, s. 146). 1960–1970-luvuilla puunsuoja-ainekäsittely syrjäytti lähes kokonaan peittomaalauksen. Yleisimmin puunsuojaus tehtiin tummanruskealla. Puunsuoja-ainekäsittelyn etuna olivat kustannustehokkuus ja käsittelyn helppous. Maaliin ver-

rattuna kuultokäsitelty pinta ei myöskään halkeillut tai rappeutunut. Ulkonäöllisesti pinnan tasalaatuisuus oli etu, mutta samaan aikaan se myös johti puitteiden huollon laiminlyönteihin. (Mikkola & Böök 2016, s. 136) Yleisimmin käytetty tummanruskea kuultokäsittely vauhditti auringonsäteilyn aiheuttaman rappeuttamisen vaikutuksia (Eskelinen & Korhonen 2011, s. 148).

2.2.2 MSK

Ensimmäinen kolmilasinen ikkuna toteutettiin kolmipuitteisena MSK-rakenteena. Vuoden 1973 öljykriisi pakotti rakennustuotannon kiinnittämään enemmän huomiota rakennusten energiatehokkuuteen. Suomessa lämmityskaudella rakennukset kuluttivat paljon energiaa. Tiiveyteen ei ollut vielä kiinnitetty huomiota, jolloin energiankulutusta kasvatti lämmön valuminen hukkaan rakennuksen vaipan vuotokohdista. Ratkaisua alettiin hakea yleisen tiivistämisen lisäksi vähentämällä ja pienentämällä vaipan aukotuksia. Asuntohallitus asetti vuosien 1977 ja 1979 ohjeissa maksimikoon kerrostalon ikkunoille. (Neuvonen & Hieta-Wilkman 2015, s. 49)

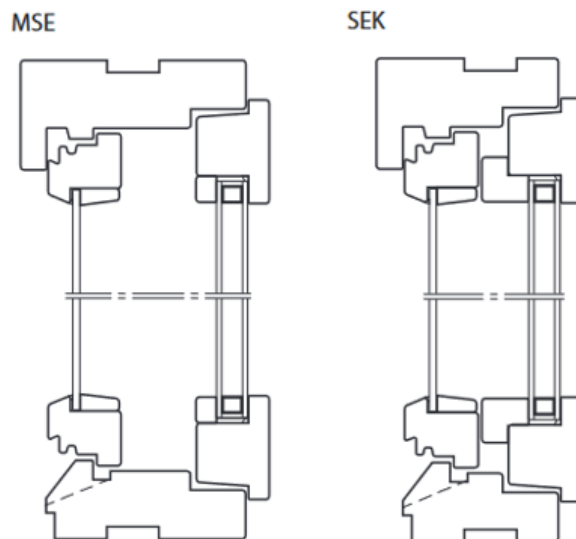
Parempaa energiatehokkuutta tavoiteltaessa kävi selväksi, että Suomalaisiin ikkunoihin tarvittiin kolmas lasi. Aluksi kolmannen lasin lisääminen toteutettiin kolmannen puitteen avulla. Syntyi kolmilasinen kolmipuitteinen MSK-ikkuna, jossa kolmas puite saronoihin sisäpuiteeseen. Kuvassa 6 on havainnollistettu kyseisen ikkunan rakennetta. MSK-ikkunan U-arvoksi saatiin $1,7-1,9 \frac{W}{m^2K}$ (RT 103421 2020, s. 4). Vuoden 1985 Rakentamismääräyskokoelmassa RakMk_C3 (1985, s. 2) annettiin U-arvolle enimmäisarvoksi $2,0 \frac{W}{m^2K}$.



Kuva 6. Kolmipuitteinen kolmilasinen, sisään aukeava MSK-ikkuna (RT 103241 2020, s. 4).

2.2.3 MSE

Viimeistään 1990-luvulla siirryttiin kaksipuitteiseen kolmilasiseen MSE-ikkunaan. MSE-ikkunarakenteessa kaksi sisempää lasia on kytketty karmilla yhdeksi eristyslaselementiksi. Kuvassa 7 on havainnollistettu MSE-ikkunan rakennetta, ja hieman vastaava SEK-rakennetta, jossa puitteet on kytketty toisiinsa.



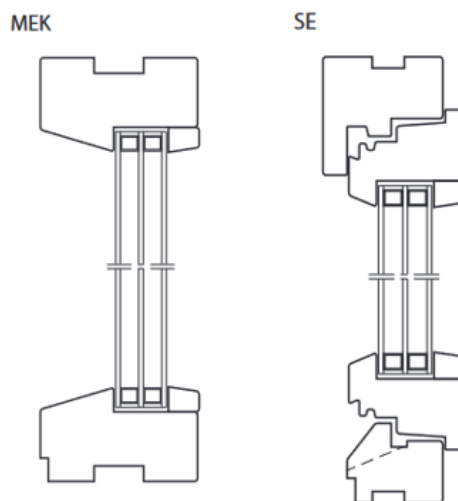
Kuva 7. Kaksipuitteinen kolmilasinen sisään aukeava MSE-ikkuna ja kytketty SEK-ikkuna (RT 103241 2020, s. 4).

Puualumiininen MSE-ikkuna, jota merkitään myös MSEA, on tänä päivänä yleisin Suomessa käytetty ikkunatyyppe. Siinä kolmesta lasista kaksi sisempää muodostavat eristyslasin. Eristyslasissa kaksi tai useampia laseja on kytketty yhteen kaasutiiviiksi elementiksi. Lasien välinen tila voidaan ilman sijasta täyttää argonilla, kryptonilla tai ksenonilla lämmöneristävyyttä tehostamaan. Kuluttajille myytävissä tuotteissa käytetty kaasu on useimmiten argon. (RT 38-10941 2008, s. 2) Kaksipuitteisen kolmilasisen eristyslasilla varustetun puualumiini-ikkunan U-arvossa päästään alle $1,0 \frac{W}{m^2K}$ (RT 103421 2020 s. 4).

1980-luvulla suomalaisessa ikkunatuotannossa alettiin valmistamaan ensimmäisiä selektiivilaseja. Selektiivilasissa, myös low-e-lasi, on metalli- tai metallioksidipinnoite, joka vähentää lämmönläpäisyä ikkunan ulkopuolelle. Lämpösäteilyn hyödyntäminen rakennuksen lämmittämiseen parantaa energiatehokkuutta merkittävästi (RT 38-10941, s. 6–7). Selektiivilasi sijoitetaan ikkunassa ei-pestävään pintaan, esimerkiksi umpielementin välipintoihin, koska se kestää huonosti hankausta/pesua (Pihla n.d. (b)).

2.2.4 MEK / SE

Kolmilasinen ikkuna voidaan toteuttaa myös yhdellä puitteella kiinteänä MEK-rakenteena, tai avattavana SE-rakenteena. Nykyrakentamisessa ominaista on korkeat rakennukset ja isot ikkunapinnat. Nämä piirteet ovat lisänneet kiinteiden yksipuitteisten ikkunoiden tarvetta. Yksikarminen kolmilasinen ikkuna on energiatehokas ja helppohoitoinen vain kahden pesupinnan ansiosta. Kuvassa 8 on havainnollistettu sekä MEK-rakennetta että vastaavaa avattavaa SE-rakennetta.

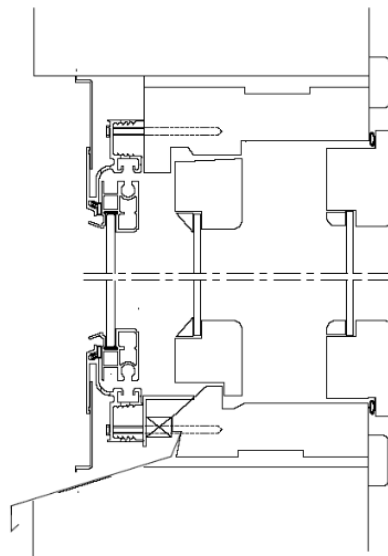


Kuva 8. Kiinteä MEK- ja avattava SE-ikkuna (RT 103241 2020, s. 4).

Asuntorakentamisessa käytetään harvemmin täysin kiinteitä ikkunoita. Isoja ikkunoita suunniteltaessa kiinteä ikkuna on hyvä vaihtoehto, koska paino aiheuttaa haasteita avattavuuteen ja saranoiden keston. Suomalaisen ikkunoita valmistavan Pihlan sivuilla on määritelty avattavan ikkunaruuudun maksimikooksi $4m^2$ ja kiinteän $6m^2$. Sivustolla neuvotaan myös ottamaan kiinteiden ikkunoiden kohdalla huomioon ulkopinnan pesumahdollisuus, jolloin järkevä sijoituspaikka voi olla esimerkiksi parvekkeen kohdalla oleva ikkuna. (Koskela n.d.)

2.2.5 Etuikkuna ja vaihtopuite

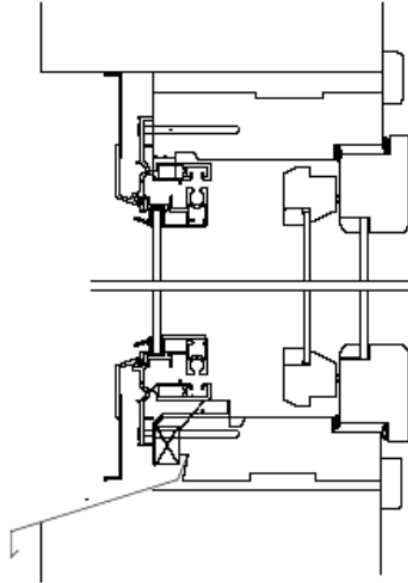
Vanhojen rakennusten ikkunoiden U-arvoa on aikaisemmin pyritty parantamaan puitteen vaihtamisella tai lisäämällä rakenteeseen etuikkuna. Etuikkunan lisääminen on kannattavaa vain, jos ikkuna on toimivuudeltaan kunnossa. Tyypillisimmin ratkaisu koskee kaksilasisia MS-ikkunoita, jolloin korjattu rakenne vastaa käytännössä MSE-ikkunaa. Tällaista ratkaisua on havainnollistettu kuvassa 9. Etuikkuna on useimmiten alumiinipuitteinen. Etuikkunan lisääminen soveltuu erityisesti kohteisiin, joissa julkisivua lisälämmöneristetään. Tällöin etuikkunalla korjattu rakenne ei jää syvennykseen. (Haukijärvi 2005a, s. 7)



Kuva 9. Esimerkki etuikkunalla täydennetystä MS-ikkunasta (Haukijärvi 2005b, s. 15)

Vaihtopuitekorjauksessa vanha ulkopuite poistetaan ja tilalle asennetaan uusi. Vaihtopuitekorjauksessa vanha ulkopuite poistetaan ja tilalle asennetaan uusi. Vaihtopuitekorjauksessa vanha ulkopuite poistetaan ja tilalle asennetaan uusi. Vaihtopuitekorjauksessa vanha ulkopuite poistetaan ja tilalle asennetaan uusi. Usein vaihdossa asennetaan alumiininen puite, jossa voidaan tarvittaessa käyttää eristys-, selektiivi-, auringonsuoja-

tai turvalasia. (Haukijärvi 2005a, s. 12) Kuvassa 10 on havainnollistettu yhtä tapaa toteuttaa vaihtopuitekorjaus.



Kuva 10. Esimerkki vaihtopuitekorjatusta ikkunasta (Haukijärvi 2005c, s. 15).

Tällä hetkellä vaikuttaa siltä, että ikkunoiden osittain uusimisesta on luovuttu lähes kokonaan. Syitä voi olla useita aina taloudellisesta kannattavuudesta vanhojen rakenteiden heikkoon kuntoon.

2.3 Ikkunan ominaisuuksia

Ikkunoiden merkittävä rooli mm. valaistuksessa, tiiveydessä sekä ilmanvaihdossa asettaa rakenteelle monenlaisia vaatimuksia. Ikkunarakenteella pyritään siis perustoimintojen lisäksi mahdollistamaan optimaaliset sisäilmaolosuhteet mahdollisimman alhaisella energiankulutuksella (Sundell 2004, s. 76). Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi tuotteiden valmistajat ovat vuosikymmenten aikana kehittäneet ikkunoille monenlaisia erityisominaisuuksia.

Rakentamismääräyskokoelma asettaa turvallisuusvaatimuksia rakenneosille. Määräysten noudattamiseksi erityisesti julkisissa rakennuksissa sekä isojen ikkunapintojen tapauksessa on pyritty kehittämään myös ikkunarakenteen turvallisuusominaisuuksia.

2.3.1 Lämmöneristävyys

Lämmönläpäisykertoimelle asetetut vaatimukset, joita esitettiin kuvassa 1, koskivat alun perin vain ikkunan laseja. Vuonna 2003 määräysten uudistuessa lämmönläpäisykertoimen arvoa alettiin ilmoittamaan ikkunan keskimääräisenä arvona, jolloin se laajeni koskemaan myös karmeja ja puitteita (Hemmilä & Saarni, s. 21).

Eristyslasin käyttäminen parantaa lämmöneristävyttä, erityisesti kun käytetään selektiivilasia ja täyte kaasuna argonia tai kryptonina. Lasien välisellä etäisyydellä on myös eristävää vaikutus ja optimaalisin tulos on huomattu saavutettavan 20 mm lasivälillä. (Hemmilä & Saarni, s. 22)

Karmeissa materiaalin vaikutus lämmöneristävyyteen ja ilmanpitävyyteen on vähäinen. Enemmän merkitystä on sillä, kuinka tiiviisti lasitus on tehty ja onko puitteen ja karmin väliset tiivistykset kunnossa. Ikkunarakenteeseen pätee sama sääntö kuin rakennuksen muuhun ulkovaippaan; tiiveyden osalta rakenne harvenee sisältä ulospäin mentäessä.

2.3.2 Ääneneristävyys

Ikkunan ääneneristävyyteen vaikuttaa lasien osalta laminointi ja paksuus sekä lasivälin pituus. Paksumpi lasi eristää paremmin matalia ja ohuempi korkeita taajuuksia. Suuremman lasivälin ääneneristystä tehostava vaikutus näkyy erityisesti yleisissä MSE-ikkunoissa. Eristyslasielementissä lasivälit ovat niin pieniä, että lasivälin pituudella ei juurikaan saada vaikutusta ääneneristävyyteen. (RT 38-10941 2008, s. 15)

Ääneneristävydessä on otettava huomioon myös karmien materiaalin, tiiveyden ja tuuletusaukkojen vaikutus. Karmimateriaaleista painavammat eristävät ääntä paremmin. Avattavissa ikkunoissa tiivistyksellä on erityisen suuri merkitys ääneneristävydessä. (RT 38-10901 2007, s. 9)

2.3.3 Aurinkosuojaus

Suomi sijaitsee pohjoisessa, missä aurinko paistaa enimmäkseen hyvin matalalta. Auringon säteily lämmittää huoneilmaa. Säteilyn pääsyä rakennukseen voidaan rajata joko rakenteellisesti (räystäät), auringonsuojalasilla, sälekaihtimilla/verhoilla tai ulkopuolisilla suojarakenteilla (RT 07-11300 2018, s. 2).

Ikkunan auringonsäteilyn kokonaisläpäisevyyttä kuvataan g-arvolla. G-arvo kuvaa sitä, kuinka hyvin rakenne hyödyntää säteilyenergiaa. Alhaisemman g-arvon ikkunat ehkäisevät huoneen yllämpenemistä ja jäähdytyksen tarvetta. (RT 103241 2020, s. 8)

Auringonsuojalaseissa uloimpaa ikkunaan asennetaan lasin g-arvoa pienentävä kalvo tai massavärjätty lasi (RT 38-10941 2008, s. 12). Auringonsuojalasin käyttö on tyypillistä kiinteissä MEK-ikkunoissa. Auringon säteilynläpäisyä rajoittavien ikkunoiden ongelmana on tyypillisesti ollut se, että ne rajoittavat myös päivänvalon pääsyä tilaan (RT 07-11300 2018, s. 6). Läpivärjättyillä laseilla päästään kuitenkin tilanteeseen, jossa lasi läpäisee melkein yhtä paljon näkyvää valoa kuin tavallinen lasi, mutta sulkee 2/3 koko auringon säteilyenergiasta ulkopuolelle (Sundell 2004, s. 59).

2.3.4 Palonsuojaus ja turvalasit

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta (1007/2017) 3 luvun 11 pykälän mukaan turvalasi tulee asentaa törmäysvyöhykkeellä oleviin ikkunoihin, lasiseiniin tai lasioviin. Turvalasit ovat tyypillisesti kalvotettuja tai karkaistuja (RT38-10901 2007, s. 12). Kalvona toimii tyypillisimmin PVB-kalvo, joka asetetaan lasikerrosten väliin. Kalvo kiinnitetään lasiin lämpötilan ja suuren paineen alaisena. Kalvotettu lasi voi särkyä, mutta sirpaleet pysyvät kiinni ikkunassa. Tämä ominaisuus lisää käyttäjän turvallisuutta mm. törmäyksissä tai tulipalossa. (Sundell 2004, s. 86)

Rakennusten tiivis sijoittelu on pakottanut kiinnittämään huomiota myös ikkunoiden paloturvallisuuteen. Ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten paloturvallisuudesta (848/2017) 5 luvun 29 pykälässä määritellään, että alle 8 metrin etäisyydelle rakennettaessa tulee ”rakenteellisin tai muin keinoin huolehtia palon leviämisen rajoittamisesta”. Palonsuojalaseja toteutetaan samaan tapaan kuin turvalasit. Lisäksi voidaan valmistaa palonestolaseja, joissa käytettävä kalvo muuttuu korkeassa lämpötilassa eristäväksi vaahdoksi (Haukijärvi & Pakkala 2023, s. 17).

2.3.5 Ilmanvaihto

Painovoimaisella ilmanvaihdolla toimivissa rakennuksissa korvausilman tulo rakennukseen on tapahtunut hallitsemattomasti vaipan vuotokohdista. Koneellisen poiston myötä alipaine kasvoi niin suureksi, että ovia oli vaikea saada auki. Korvausilman saantiin piti panostaa ja yksi ratkaisu oli korvausilmaventtiili ikkunan karmissa. (Mikkola & Böök 2016, s. 308)

Alkuun venttiileitä laitettiin alakarmiin, jotta patteri lämmittäisi korvausilman (Mikkola & Böök 2016, s. 307). Myöhemmin yläkarmi todettiin käyttökäytävöideltään paremmaksi vaihtoehdoksi. Venttiilin sijainti yläkarmissa mahdollisti viileän ilman sekoittumisen lämpimään huoneeseen yläosissa. Lisäksi vedontunne väheni, kun venttiili sijaitti korkeammalla. (Sundell 2004, s. 84)

Nykyään on vaihtoehtona myös kehittyneempiä tuloilmaikkunoita. Niissä ilma johdetaan sisätiloihin niin, että lasien väli toimii korvausilmakanavana. Tällainen ratkaisu on energiatehokkaampi, sillä lasivälissä esilämmennyt ilma vähentää huoneen lämmityksen tarvetta. Uusimmissa ratkaisuissa on lisäksi huomioitu erikseen kesä- ja talviolosuhteet. Air Termico -tuloilmaikkunaventtiilissä ilmavirta ohjautuu kesällä ilman esilämmitystä ja talvella lämpenee termisen kierron ansiosta. (RT 103458 2022) Tuloilmaikkuna vaatii toimiakseen huoneistossa alipaineen ulkoilmaan nähden (Haukijärvi 2005b)

3. VAURIOMEKANISMIT

Ikkunarakenteen pääasialliset vaurioitumista aiheuttavat tekijät ovat kosteus, lämpötilan vaihtelut, auringon säteily sekä mekaaniset rasitukset. Useimmiten kyse on useamman tekijän yhteisvaikutuksesta. Ikkunan puuosille pahin säärasitus muodostuu auringon ja veden yhteisvaikutuksesta. Pahimmat vauriot syntyvätkin ikkunan puitteissa eteläsivun alakarmeissa, jotka ovat eniten alttiit kosteuden ja auringon vaikutuksille (Mikkola & Böök 2016, s.168).

Ikkunarakenteiden suunnittelussa on ajan saatossa tehty erilaisia virheitä, jotka ovat johdaneet uudenslaisiin vaurioihin tai nopeuttaneet vaurioiden syntyä. Tietyt ongelmat ovat usein tyypillisiä kaikille saman aikakauden ikkunoille.

3.1 Kosteus

Ikkunarakenteita rasittava kosteus on pääosin peräisin sateesta tai sisäilman liiallisesta kosteudesta. Joskus rasitusta on kertynyt varastoinnista tai uudisrakennuksen rakenteiden rakennusaikaisesta kosteudesta. (Hemmilä & Saarni 2001, s. 20) Vaurioituneet tiivisteet, huonot vesipellit ja huonosti muotoillut vuorilaudat päästävät vettä rakenteisiin. Liian lyhyt vesipelti lisää alapuolisen seinän kastumista (Mikkola & Böök 2016, s. 177). Loiva ja leveä vesipelti roiskii vettä ikkunaan, ja mahdollistaa lumen kinostumisen ikkunaa vasten, mikä kastelee rakennetta sulamisvaiheessa (Hemmilä & Saarni 2001, s. 19) Pintakäsittely on olennainen osa ikkunarakenteen kosteussuojausta. Vääränlaiset pinnoitteet suhteessa materiaaliin sekä huollon puute altistavat rakennetta kosteudelle. Myös uusintakäsittelyissä piilee riskejä. Rakenne pitää tuntea, jotta ei esimerkiksi maalaa vedenpoistoaukkoja umpeen (RT 41-10726 2000, s. 7).

Rakennuksen ulkovaipan kosteusvauriot rasittavat myös ikkunoita. Esimerkiksi tuulettumattomaan ulkoseinärakenteeseen päätynyt kosteus kondensoituu eristetilaan. Eristetilasta kosteus saattaa kastella myös ikkunan karnit. (Ahola et al.) Tällaista kastumista ei usein näe päällepäin, jolloin vaurioituminen pääsee etenemään rauhassa.

Jos ikkunan puuosat kastuvat eivätkä pääse kuivumaan, rakenteeseen syntyy lahovaurioita. Ilmassa leijailevat lahottajasienen itiöt alkavat kasvaa kosteassa puussa otollisissa lämpöolosuhteissa. Lahottajasieni kuolee, kun puu kuivuu tai lämpötila laskee lähelle

nollaa tai nousee yli 40°C. Lahovauriot löytyvät tyypillisesti alareunan lasikynteestä hahjonnen kitin tai lasituslistan alta sekä karmin alakappaleen nurkista. (Mikkola & Böök 2016, s. 171–172)

Home, levä ja jäkälä ovat kasvustoa, jota puupinnoille saattaa kasvaa liian kosteissa oloissa. Nämä eivät kuitenkaan etene puussa pintaa syvemmälle, eivätkä varsinaisesti aiheuta suurempaa vauriota. Varsinkin hometta pidetään lahovaurioiden enteenä, koska homeenkasvulle kriittinen kosteus on 75 % ja lahottajasienen 95 %. (Mikkola & Böök 2016, s. 172) Kosteisiin rakenneosiin voi syntyä tietyissä olosuhteissa mikrobivaurio. Mikrobit aiheuttavat terveyshaittoja päätyessään rakenteiden raoista huoneilmaan (Ahola et al.).

Puiset ikkunan karmit kärsivät myös kastumisen ja kuivumisen vaihteluista. Puuosissa saattaa tapahtua urittumista; vuosilustojen mukaista kulumista sekä haristumista; pinnan halkeilua ja haurastumista. Peittomaalatut rakenteet ovat vähemmän herkkiä tällaisille vaurioille, koska ne kastuvat ja kuivuvat hitaammin suojaavan maalikerroksen ansiosta. (Mikkola & Böök 2016, s. 168)

Alumiiniosissa kosteus voi aiheuttaa korroosiota. Sen ehkäisemiseksi tulee huolehtia alumiiniosien pintakäsittelystä sekä veden poistoreiteistä. Puu-alumiini-ikkunoissa alakarmin yläpinnan kaltevuuden tulee olla 1:4, jotta vesi ei jää seisomaan pinnalle. (Hemmilä & Saarni, s. 20) Lisäksi tulee huolehtia riittävästä tuuletuksesta alumiiniprofiilin ja karmin välissä kosteuden tiivistymisen estämiseksi. Alumiiniverhoillun puukarmin lahovauriot ovat petollisia, koska ne saattavat ehtiä pitkälle antamatta näkyviä merkkejä. (Sundell 2004, s. 49)

Rakenteiden vaurioiden lisäksi kosteusrasitukset ilmenevät kosteuden kondensoitumisena ikkunan laseihin. Taulukossa 1 on eritelty syitä ikkunan eri lasipinnoilla ilmenevälle kondenssille.

Taulukko 1: Kosteuden tiivistymisen syitä pinnan mukaan (RT 103241 2020, s. 8–9):

sisäpinta	korkea sisäilmankosteus
	alhainen sisälämpötila
	puutteellinen ilman kierto ikkunan läheisyydessä
	ikkuna asennettu syvälle seinän sisäpintaan nähden ikkunan edessä kiinteä este
välitila	ylipaine sisätiloissa
	sisäpuitteen ikkunalukot auki
	puutteellinen sisäpuitteen ja karmin välinen tiivistys puutteellinen välitilan tuuletus
ulkopinta	lasiosan lämmönjohtavuuskerroin $U < 1 \frac{W}{m^2 \cdot K}$
	kosteaa ulkoilma
	pieni lämpötilaero ulko- ja sisäilman välillä
	tyyni sää
	talon ulkopuolella ei ole esteitä
	räystäiden puute

3.2 Auringon säteily ja lämpö

Auringon ultraviolettisäteily hajottaa selluloosakuituja sekä puun sideaineena toimivaa ligniiniä (Mikkola & Böök 2016, s. 168) 1960–1970-luvuilla pintakäsittelyssä suosittu tumma puunsuoja-aine oli herkkää auringon säteilyrasituksille. Käsittely on johtanut ikkunaremontteihin jopa ennen 20 vuoden käyttöiän täyttymistä (Korhonen & Eskelinen 2011, s. 148).

Maalatuissa pinnoissa auringon uv-säteily saattaa aiheuttaa tummumista ja halkeilua. Muoviosat, silikonit ja kitti kovettuvat, haurastuvat ja halkeilevat auringon rasituksessa. (Hemmilä & Saarni 2001, s. 20)

Auringon lämpö aiheuttaa aiemmin mainittua kosteuden höyrystymistä ja paineen kasvua puuosien sisällä. Laajetessaan vesihöyry rikkoo sekä puuosia että pinnoitteita. (Hemmilä & Saarni 2001, s. 21)

Suuret lämpötilan vaihtelut aiheuttavat materiaaleissa lämpöliikettä. Puu-alumiini-ikkunoissa materiaalien keskenään erilaiset ominaisuudet tulee ottaa huomioon erityisesti kiinnityksiä suunniteltaessa. Lämpöliike ja -jännitykset voivat aiheuttaa rakenteesta kuuluvaa napsattelua tai harvinaisemmassa tapauksessa lasin halkeamista. (Hemmilä & Saarni 2001, s. 20)

3.3 Mekaaniset rasitukset

Suurimmat mekaaniset rasitukset ikkunarakenteessa aiheutuvat rakenteen omasta painosta, tuulesta sekä avaamisesta ja sulkemisesta. Ikkunoissa käytettävät materiaalit

kestävät hyvin staattisia kuormia, mutta dynaamiset kuormat väsyttävät rakenteita ja liitoksia. (Hemmilä & Saarni 2001, s. 21)

Ikkunan kiinnitykset voivat vaurioitua käytön aikana. Tästä saattaa aiheutua käyntivälysten muuttumista, mikä vaikeuttaa avaamista ja sulkemista sekä heikentää tiiveyttä. Käyntivälin suositeltu suuruus on 3 mm kaikkialla karmin matkalla. Huonot kiinnitykset lisäävät myös tuulen aiheuttamia vaurioita ikkunarakenteessa. Saranoille aiheutuvaa kuormaa voidaan vähentää asentamalla puiteliu'ut, jotka kannattelevat ikkunaa. (Haukijärvi & Pakkala 2023, s. 10)

Tuulenpaine rasittaa erityisesti suuria ikkunapintoja. Rakenteet voivat taipua tuulen vaikutuksesta, jolloin tiivisteet, liitokset ja kittaukset kärsivät. (Mikkola & Böök 2016, s. 166) Tyypillisimmin ongelma ilmenee halkeamina saranoiden ja lukkojen ympärillä. (Hemmilä & Saarni 2001, s. 21)

Eristyslaselementin vaurioituessa umpinaiseen lasiväliin päässeet epäpuhtaudet ilmenevät lasin tummumisena. Vääränlaisen lasitusmassan käytössä on havaittu lasin harmaantumista, mikä johtuu silikonin hajoamisen lopputuotteista. (Rt 41–10726, s.8)

3.4 Kemialliset rasitukset

Sekä ikkunan lasi, että alumiininen puite vaurioituvat kosketuksissa emäksisten aineiden kanssa. Jos rakennusvaiheessa ikkunaan tai alumiiniseen karmiin päätyy laastiroiskeita, tulee ne puhdistaa välittömästi. (Sundell 2004, s. 47–48)

Tiivisteet kestävät kemiallisia rasituksia vaihtelevasti. Jos ikkunan karmeja käsitellään maaleilla tai öljyillä, on suositeltavaa, että tiivisteet pyritään suojaamaan. (Sundell 2004, s. 48)

Tutustuessani erilaisiin ikkunoihin liittyviin sivustoihin kiinnitin huomiota siihen, että joissain tapauksissa käyttäjät olivat havainneet eristyslaselementeissä harmaantumista iän myötä. Ongelma lienee uusi, eikä siitä löydy juurikaan asiantuntijatietoa. Ilmeisesti näin käy kuitenkin vain, jos elementin tiivistyksissä on vikaa eli rakenne on vaurioitunut.

4. YHTEENVETO

Suomalainen ikkunarakenne on maailmanluokassa hyvin pitkällä energiatehokkuudessa. Vuosikymmenten varrella lasien lisääminen, tiivistyksen parantaminen ja materiaalien kehittäminen entistä energiatehokkaammiksi on tuottanut tulosta. Tällä hetkellä Suomessa ikkunoiden U-arvo ei saa ylittää arvoa $1,0 \frac{W}{m^2K}$. RT tietoväylän kortissa 103241 on vertailtuna erilaisten ikkunoiden keskimääräisiä U-arvoja, joista voidaan huomata, että raja-arvon saavuttaminen vaatii vähintään kolmilasisen ikkunan. Kolmen lasin käyttäminen on ollut vakiintunut tapa vuoden 1973 öljykriisistä lähtien, jolloin rakennusten energiatehokkuudelle alettiin asettamaan vaatimuksia. U-arvoa on pienennetty entisestään liittämällä kaksi sisempää lasia yhdeksi kaasutiiviiksi eristyslaselementiksi. Tätkin parempiin arvoihin päästään täyttämällä kaasutiivis elementti ilmaa paremmin lämpöä eristävällä jalokaasulla.

Puitteiden osalta aiemmista puupuitteista on siirrytty pitkälti puun ja alumiinin yhdistelmään. Yleisimmin se tarkoittaa joko kokonaan alumiinista ulkopuitetta tai puista alumiiniprofiililla päällystettyä ulkopuitetta. Pinnoitteissa on palattu peittomaalaukseen, kun 1960-luvulta 1980-luvun lopulle trendinä ollut puunsuoja-ainekäsittely ei antanut riittävää suojaa auringon säteilyn aiheuttamilta haitoilta.

Ikkunoiden laseihin on saatavissa erilaisia pinnoitteita, jotka antavat ikkunalle erityisominaisuuksia. Tällaisia ovat esimerkiksi auringonsäteilyn läpäisevyyttä vähentävät kalvot ja pinnoitteet, joiden tarkoitus on vähentää huoneen yllilämpenemistä. Kalvoilla parannetaan myös lasin turvaominaisuuksia onnettomuus- ja palotilanteessa.

Vaurioista pahimmaksi todettiin kosteuden ja auringon valon yhdistelmä. Niiden aiheuttamien haittojen ehkäisemiseksi tulee huolehtia oikeanlaisista pinnoitteista ja hyvin suunnitelluista reiteistä veden poiskulkeutumiselle. Rakenteen kuivuminen tulee ottaa huomioon. Useimmat vauriot, joita ikkunoihin syntyy, muodostuu ajan saatossa. Näin ollen rakenteen tarkastaminen ja huoltaminen ehkäisevät niistä suuren osan.

Tulevaisuudessa rakenteen kehittäminen on todennäköisesti erityisominaisuuksien kehittämistä ja hienosäätämistä. Kaksilasisesta eristyslaselementistä kolmilasiseen elementtiin siirtyminen saattaa olla tulevaisuudessa yleisempää. Nykyään jo jonkin verran käytössä olevalle tuloilmaikkunalle voisi olla kasvavaa kysyntää tulevaisuudessa, kun energiatehokkuutta pyritään parantamaan entisestään.

LÄHTEET

- Ahola, S., Annila, P., Lahdensivu, J., Sistonen, e., Turunen, T., Vornanen-Winqvist, C., Weijo, I. (2019) Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakennusten korjaus. Valtioneuvosto. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-024-8>
- Boström, S., Uotila, U., Linne, S., Hilliaho, K. & Lahdensivu, J. (2012). Erialaisten korjaustoimien vaikutuksia lähiökerrostalojen todelliseen energiankulutukseen. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-2912-2>
- Haukijärvi, M. (2005a) Juko - ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi: Korjaustapakuvaukset: Ikkunarakenteet - yleiskuvaukset. Julkisivuyhdistys ry. Saatavissa: <https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/juko-ohjeistokansio/>
- Haukijärvi, M. (2005b) Juko - ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi: Korjaustapakuvaukset: Ikkunakorjaus lisäpuitteella – suunnitteluohjeet. Julkisivuyhdistys ry. Saatavissa: <https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/juko-ohjeistokansio/>
- Haukijärvi, M. (2005c) Juko - ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi: Korjaustapakuvaukset: Ikkunakorjaus vaihtopuitteella – suunnitteluohjeet. Julkisivuyhdistys ry. Saatavissa: <https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/juko-ohjeistokansio/>
- Haukijärvi, M. & Pakkala, T. (2023) Juko - ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi. L.2 Ikkunoiden kunnossapitokorjaukset – suunnitteluohjeet. Julkisivuyhdistys ry. Saatavissa: <https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/juko-ohjeistokansio/>
- Haukijärvi, M. & Pakkala, T. (2023) Juko - ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi. L.3 Ikkunoiden uusiminen – suunnitteluohjeet. Julkisivuyhdistys ry. Saatavissa: <https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/juko-ohjeistokansio/>
- Heimonen, I., Hemmilä, K. & Saarni, R. (1999). Tulevaisuuden Ikkunoiden kehitysperusteet ja valinta. VTT.
- Hemmilä, K. & Heimonen, I. (2005). Suomalaisten ikkunoiden kestävyys. VTT Tiedotteita 2285. 73 s.
- Hemmilä, K. & Saarni, R. (2001). Ikkunaremontti. Rakennustieto Oy. Helsinki. 115 s.
- Koskela, H. (n.d.). Tämän haluaisin tietää – Isot ikkunat kerrostalossa, vinkit suunnittelijalle. Pihlapro.fi. Viitattu 26.3.2024. <https://www.pihlapro.fi/taman-haluaisin-tietaa-isot-ikkunat-kerrostalossa-vinkit-suunnittelijalle/>
- Korhonen, T. & Eskelinen, J. (2011). Suomalainen Ikkuna. Moreeni. Vantaa. 240 s.
- Mikkola, J. & Böök, N. (2016). Ikkunakirja. Moreeni. Helsinki. 352 s.
- Mäkiö, E., Malinen, M., Neuvonen, P., Vikström, K., Mäenpää, R., Saarenpää, J. & Tähti, E. (1994). Kerrostalot 1960–1975. Rakennustietosäätiö RTS.
- Neuvonen, P. & Hieta-Wilkman, S. (2015). Kerrostalot 1975–2000. Rakennustietosäätiö RTS.

Pihla. n.d. (a) Kysymykset. Verkkosivu. Viitattu 26.3.2024. <https://www.pihla.fi/kysymykset/kuinka-usein-ikkunat-pitaa-vaihtaa-mika-on-ikkunoiden-kayttoikaennuste/>

Pihla. n.d. (b) Kysymykset. Verkkosivu. Viitattu 26.3.2024. <https://www.pihla.fi/kysymykset/selektiivilasi-mika-on-selektiivilasi/>

RakMk C3 (1985). Suomen rakentamismääräyskokoelma C3. Rakennusten lämmöneristys. Määräykset ja ohjeet. Ympäristöministeriö.

RakMk C3 (2003). Suomen rakentamismääräyskokoelma C3. Rakennusten lämmöneristys. Määräykset ja ohjeet. Ympäristöministeriö.

RakMk C3 (2007). Suomen rakentamismääräyskokoelma C3. Rakennusten lämmöneristys. Määräykset ja ohjeet. Ympäristöministeriö.

RakMk C3 (2010). Suomen rakentamismääräyskokoelma C3. Rakennusten lämmöneristys. Määräykset ja ohjeet. Ympäristöministeriö.

RT 07-11300 (2018). Aurinkosuojaus. Rakennustietosäätiö. 12 s.

RT 103241 (2020). Puu- ja puualumiini-ikkunat. Rakennustietosäätiö. 41 s.

RT 38-10901 (2007). Rakennuslasit, tasolasit. Rakennustietosäätiö. 23 s.

RT 38-10941 (2008). Eristyslasit. Rakennustietosäätiö. 20 s.

RT 41-10726 (2000). Puuikkunat. PERUTTU. Rakennustietosäätiö. 16 s.

RT-tuotetieto 103458 (2022). Air Termico -vemttiilit, Air-In® Kameleontti -venttiilit – Air Termico Oy. Rakennustietosäätiö. 4 s.

Sundell, K. (2004). Ikkunakäsikirja 2004. Rakennusteollisuus RT RY Puutuotetöimiala. Loviisa. 129 s.

YMa 848/2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. Saatavissa (viitattu: 2.4.2024): <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2017/20170848>

YMa 1007/2017. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta. Saatavissa (viitattu: 2.4.2024): <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171007>