

Vanade puitakende energiatõhususe parandamine¹

Janne Jokelainen

Resümee

Vanade akende vahetamine uute vastu on üldlevinud viis hoonete energiatõhususe parandamiseks. Ometi puudub üldtunnustatud seisukoht, kas akende väljavahetamine on ikka mõistlik teguviis. Arhitektuuri- ja kultuuriloolisest vaatenurgast ja arvestades tekkivaid ehitusjäätmekäitluste peetakse seda sageli probleemaatiliseks. Pole jõutud ka kokkuleppele, kui suur ja märkimisväärne on vahetamisega saavutatav energiasääst.

Käesolevas töös on uuriti vana puitakna soojusfüüsikalisi omadusi ja erinevate renoveerimismeetmete mõju neile omadustele. Renoveerimismeetmed, mida uuringus rakendati, olid leebed, nii et polnud vajadust töödelda puitosi ega eemaldada aknaraame.

Akna energiatõhusus koosneb õhutihedusest, soojusjuhtivusest ja kiirgusjuhtivusest. Testakna õhulekked kõrvaldati toppimise ja teipimisega, kuid selgus, et kummitihenditega jäid tulemused ebapiisavaks. Testakna U-väärtust parandati selektiivklaaside paigaldamisega siseraamidesse.

Testakna energiatõhusus muutus renoveerides tunduvalt paremaks. Kuid isegi pärast parandustööd oli energiatarbimine moodsate akendega võrreldes peaaegu kahekordne. Seega nii renoveerimine kui väljavahetamine on energiasäästu mõttes mõistlikud sammud, kuid pole majanduslikus mõttes kuluefektiivsed. Kultuuriajaloolises ja arhitektuurilises mõttes on tegemist hävitava tegevusega. Vana puitakna renoveerimise mõistlikkus sõltub vaateviisist ning üht ja ainsat õige sekkumise viisi ei saa välja tuua. Kompromissina võib soovitada hoolikat tihendamist iga kütteperioodi algul ja muude renoveerimistööde käigus selektiivklaaside paigaldamist siseraamidele.

Võtmesõnad: puitaknad, renoveerimine, õhutihedus, U-väärtus

1 Käesolev uuring viidi läbi Seinäjoki Rakenduskõrgkooli konserveerimise koolitusprogrammi raames vanemõpetaja Janne Jokelaineni juhtimisel. Laboratoorsete katsete ja soojusjuhtivust puudutavate arvutuste puhul tehti koostööd Seinäjoki Rakenduskõrgkooli ehitustehnika õppeprogrammiga. Uuringut rahastasid Soome Haridusministeerium ja Seinäjoki Rakenduskõrgkool. Artikkel on tõlgitud autori ja Seinäjoe Rakenduskõrgkooli SeAMK loal: Janne Jokelainen, ilmumas 2014. *Vanhan puuikkunan energiakunnostus*. SeAMK:n julkaisusarjan A-sarja, ISBN 978-952-5863-80-2.

Sissejuhatus

Ehitusobjektide renoveerimise mahud ületavad lähiaastatel Soomes uusehitamise mahte. Renoveerimistööde populaarsusest hoolimata on tehtud vähe sellealaseid uuringuid ja arendustöid. Mitmes renoveerimise valdkonnas valitseb teadmiste ja oskuste puudus.

Renoveerimise suurim väljakutse on vanade konstruktsioonide energiatõhususe parandamine. Praegusel ajal on enim kasutatavad parandusviisid lisasoojustamine, tehnosüsteemide väljavahetamine ja konstruktsiooniosade uuendamine. Kuigi sageli on väljavahetatavateks osisteks ka aknad, ei olda selle tegevuse otstarbekuses siiski ühel meel. Paljude arvates on tulemuslikum akende väljavahetamise asemel vanad aknad energiatõhusamaks muuta.

Ka vanade puitakende vahetamist uute vastu põhjendatakse energiatõhususe parandamisega. Akende U -väärtuse² arvutuste alusel on võimalik tõestada, et uute akendega saadakse mõne aastaga selline energia kokkuhoid, mis vahetamisega seotud investeeringu tagasi teenib. Kuid nagu muude hoone osade väljavahetamisega, kaasnevad ka akende asendamisega arhitektuurilised ja kultuuriajaloolised muutused. Lisaks tekib eemaldatavatest akendest suur hulk ehitusjätmeid, mis on ehitusala üks suuremaid probleeme. Ka akende vahetamisest saadava energiasäästu hulga ja selle olulisuse suhtes ollakse eri arvamusel.

Vanu puitaknaid tuleb renoveerida ja parandada umbes iga kümne aasta tagant. Parandamisvõimalused on erinevad ja lõpptulemuse kvaliteet ebahühtlane. Renoveerimistehnikate puhul ei ole kunagi täpsemalt uuritud akende energiatõhusust. Uute tänapäevaste akende soojustehnilisi omadusi tuntakse seevastu üsna hästi ja nende suhtes kehtivad eraldi standardid. Vanade puitakende energiatõhususe kohta saab teha vaid mõningaid oletusi.

Selles uuringus vaadeldakse vanu puitaknaid energiatõhususe ja kultuuriajaloo seisukohast. Analüüsisist jääb kõrvale erisuguste valikutega kaasnev eluruumide hubasuse küsimus. Vaatluse alt jääb välja ka akende roll ventilatsioonisüsteemi osana – kuna seda on raske mõõta, on vastavate üldistuste tegemine peaaegu võimatu.

Uuringu eesmärk on selgitada vana puitakna soojustehnilisi omadusi ja uurida erinevate renoveerimisvõimaluste mõju. Uuringus kasutatud renoveerimis- ja muudatustööd olid lihtsad, selleks ei olnud vaja eemaldada lengi ega töödelda puitosi. Seega on töövõtted jõukohased kõigile majaomanikele.

Uuringus selgitatakse vana puitakna õhutihedust, soojusjuhtivust ja päikesekiirguse läbilaskvust, mille abil saab määrata akna energiatõhususe. Selliseid uuringuid tehti renoveerimata aknale, renoveeritud aknale ja

2 Akna U -väärtus näitab läbi kogu akna edasikanduva soojuse hulka (toim.).

aknale, mille juures on tehtud soojustehnilist toimivust mõjutavaid muudatusi. Uuringute abil määratakse kindlaks, milliseid töid tuleks vanade puitakende juures teha, et nende energiatõhusus võimalikult heaks muuta.

Uuringu kaudu saadud teadmiste abil analüüsitakse, kas mõistlikum on akende vahetamine või nende energiatõhusamaks muutmine. Arvesse võetakse energiakulu, majanduslikke mõjusid ja kultuuriajaloolisi vaatenurki. Analüüsi põhjal antakse soovitusi vanade akende renoveerimiseks ja kasutamiseks.

Vanad puitaknad

Vanade puitakende kõige silmatorkavamaks tunnuseks on nende jaotatus mitmeks ruuduks. Selline jaotamine tulenes esialgu klaasi ja raamide valmistamise tehnoloogiast. Aknad tuli jaotada mitmeks väiksemaks ruuduks, tehes nii lengi kui ka raami püst- ja vahepuude abil osadeks. Aknaruutude jaotamise viis muutus 19. sajandi lõpus üheks olulisemaks stiililiseks võtteks. Igal ajastul olid aknaruutude jaotamiseks omad tavad.

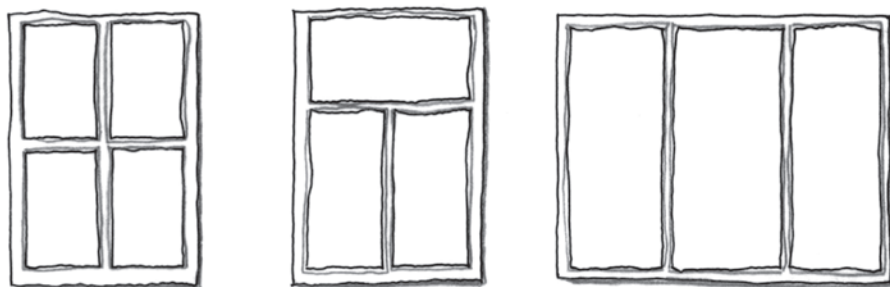
Kõige varasemates köetavates hoonetes aknaid ei olnud, oli ainult suitsuauk ehk räppen, mille ees oli puidust luuk. Soome kõige varasemad klaasaknad olid valmistatud pliiraamidega. Neid kasutati esindushoonetel alates 16. sajandist kuni 18. sajandi lõpuni. (Valonen 1994: 50) Puhumise teel valmistatud klaasiruudud olid väga väikesed ja need kinnitati üksteise külge pliiliistudega (Bonns 1983: 203). Ka akende mõõtmed olid väikesed: umbes meetrilaiused ja poole meetri kõrgused. Pliiraamid kinnitati seina välispinda tehtud soontesse, lenge ega tappe ei kasutatud.

18. sajandi lõpus hakati hoonete klaasiruute kinnitama puitraamidele, mis võimaldas teha aknad oluliselt kõrgemaks kui pliiraamide puhul. Puhutatud klaasist valmistatud ruudud kinnitati raamidesse lõigatud soontesse. Kinnitusviisi tõttu nimetatakse selliseid raame soonraamidega akendeks. Puuraamid kinnitati aknaava tenderpostina toimiva püstpuu ehk nn lengipuu külge, millesse olid lõigatud raamidele vajalikud sooned ja kaunistuselemendid. Lengipuu oli osa ehituskarkassist ja see tuli paigaldada palkide paigaldamise käigus (Jokelainen 2005: 158). Raamid valmistati ehitusobjektile iga aknaava mõõtmete järgi. Ava oli tavaks püstpuuga pooleks jagada, mis juhul sai 2 või 3 ruuduga raamist 4 või 6 ruuduga aken.

19. sajandi alguses akende mõõtmed ja nende arv kasvasid. Soojapidavuse parandamiseks lisati neile siseraamid. 19. sajandi keskel muutus tavaliseks klaasiruutude kinnitamine raamide külge kriidist ja linaõlist valmistatud kiti abil. Selliseid aknaid nimetatakse kittakendeks. (Mikkola, Böök 2011: 55)

Eraldi puitleng võeti kasutusele 19. sajandi lõpus. Varasemad lengid olid ristlengid, sel juhul olid aknad peamiselt 4 või 6 ruuduga. 19. sajandi

lõpupoole muutus leng T-tüüpi lengiks, mille puhul jaotati leng rõhtsuunas ühe vahepuuga ja püstsuunas püstpuuga rõhtvahepuu alumises osas. Selline T-leng oli levinuim lengitüüp kuni 1930. aastateni. (Jokelainen 2005: 158) T-lengi abil oli võimalik raamide arvu vähendada, jättes alles tuulutusakna. Erisugused raamide jagunemise lahendused võimaldasid valmistada aknaid, mis olid kooskõlas eri ehitusstiilide nõuetega. Eraldiseisva lengi kasutamine lubas hakata aknaid tööstuslikult tootma. 19. sajandi lõpus valmistati aknaid peale ehitusobjektide ka puusepatöökodades ja vanglates (Suomen valtion-rautatiet 1862–1912, 1916: 339; Valtion rautatiet 1912–1937, 1937: 370).



Joonis 1. Ristleng, T-leng ja kahe püstpuuga leng. Janne Jokelainen joonis.

Klaasi hakati tööstuslikult valmistama 20. sajandi alguses. Tõmmatud klaasist oli võimalik teha suuremaid klaasitahvleid kui puhumise teel valmistatud klaasist. Suured klaasid kinnitati raamide külge puitliistudega. Selline liistkinnitus muutus kõigi akende juures tavaliseks 20. sajandi esimesel poolel. (Korhonen, Eskelinen 2007: 31) 1930. aastatel hakati kasutama püstpuudega lenge ja raamid ei olnud enam liigendatud. 1950. aastatel nihutati püstpuu ühte serva, nii tekkis kitsama raamiga tuulutusakna.

Akende valmistamine tehastes sai alguse 20. sajandi esimestel kümnenditel. Raamid arenesid kahest kohast tihendatuks 1950. aastatel ning turule tulid täiesti siledad *float*-klaasid ja klaaspaketid. (Korhonen, Eskelinen 2007: 141, 144, 145) Akende tööstuslik seeriatootmine algas 1970. aastatel. Siis muudeti klaas akna konstruktsiooniliseks osaks, mis liimimise abil tugevdas raami. Karmimaks muutunud soojustamisnõuded tõid kaasa kolme klaasiga akende valmistamise. 1980. aastatel tulid turule alumiiniumist valmistatud välisraamid ja soojust peegeldavad selektiivklaasid. (Hemmilä, Saarni 2002: 10–17)

Kõige varasemad puitaknad olid ühe klaasiga kas kinnised või ühe väljapoolse avaneva raamiga. Siseraamide lisamisega 19. sajandil muutusid aknad kaheklaasilisteks, millest üks pool avanes sisse- ja teine väljapoolse. Siseraame tuli kütteperioodil tihendada toppimise ja paberiga kinnikleepimise teel. Sellisel moel olid aknad kütteperioodil põhimõtteliselt kinnised. Akende vahele oli kombeks panna sammalt, vatti või poolenisti avatud tikutoose, mis arvati takistavat klaaside uduseks minemist.

Kütteperioodi lõpus tõsteti siseraamid tavaliselt eest ära ja pandi suveks pööningule või kuuri hoiule. Seega olid aknad umbes neli kuud aastas üheklaasilised ja väljapoolse avanevad ning kaheksa kuud kinnised ja kahe klaasiga. Siseraamide eemaldamine parandas akendel valguse läbilaskvust, akende avamine oli lihtsam ja aknad paistsid kenamad. Siseraamide eemaldamise kohta öeldi, et see teeb ruumi avaramaks ja toob suve tuppa.

Katseakna tüüp

Selles uuringus kasutatud katseaken on T-lengi ja jaotamata raamiga ning välismõõtmetega 935 × 1135 mm. Katseakna lengi paksus on 140 mm ja klaasivahe 100 mm. Aken on valmistatud keskmise kvaliteediga, vähese viimistlusega ja liitekohtade alusel otsustades on see tehtud kas otse ehitusobjektile või algelises puidutöökojas. Akna juures kasutatud puitmaterjal ei ole kuigi kvaliteetne. Ehkki akna täpne ajalugu ei ole teada, võib selle valmistamisviisi ja suluste põhjal otsustades paigutada 1920. või 1930. aastatesse. Seega esindab katseaken väga hästi 20. sajandi alguspoole rahvaehituses kasutatud aknaid, mis moodustavad väikeelamute vanadest puitakendest enamuse.

Akna soojustehnilist toimimist mõjutab mitu konstruktsioonilist lahendust. Katseakna konstruktsioonid vastavad põhiosale ajavahemikus 1880–1940 valmistatud akendele. Neil on eraldi leng, mis on jaotatud ristkarmiks, T-karmiks või püstjaotusega karmiks. Aknad on kahe klaasiga ning põhimõtteliselt sisse ja välja avanevad või ainult sisse avanevad. Raamid on jagatud osadeks või mitte. Raamil



Foto 1. Katseaken survekapis. Janne Jokelainen foto.

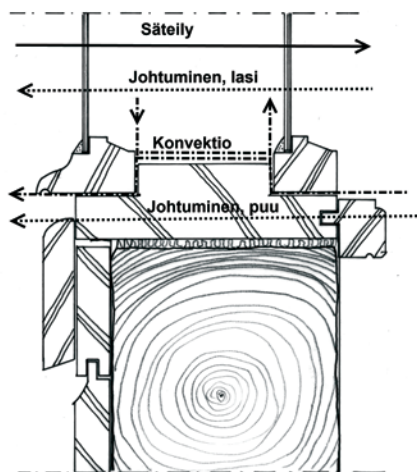
on vaid üks lengi vastu tihendatud ühendus. Klaasid on kinnitatud raamide külge kiti või puitliistudega. Katseaknast vanemate akende juures on tihti tenderpost ja soonega raam, mis muudavad akna soojustehnilisi omadusi. Uuematel akendel on raamil kahest kohast lengi vastu tihendatud ühendus ja jaotamata leng ning ka selliste akende soojustehnilised omadused erinevad katseaknast.

Akende energiatõhusus

Aknad on soojusisoleerivuselt konstruktsiooni kõige nõrgemaks osaks. Traditsiooniliste puitakende soojusisoleerivus moodustab vaid umbes seitsmendiku tavalise välisseina soojusisoleerivusest. Akende kaudu eraldub ligikaudu 15–20 % kasutatud soojusenergiast. (Hemmilä, Saarni 2002: 7, 8, 61) Akende energiatõhususe parandamine avaldab mõju nii üksikute hoonete kasutuskuludele kui ka kogu riigi majandusele.

Soojusenergia kandub läbi akna soojusjuhtivuse, soojuskiirguse ja õhuleketest tekkiva konvektsiooni kaudu (Hemmilä, Saarni 2002: 22). Puitakna puhul kandub soojus läbi nii klaasi kui ka puitosade kaudu. Akna U -väärtus näitab läbi kogu akna edasi kanduva soojuse hulka. Kiirguse teel liigub soojus läbi akna klaasosade. Kiirguse teel toimuv soojuse edasikandumine on põhjustatud päikesekiirgusest ja suunatud väljast sisse. Siseruumi pikalaineline soojuskiirgus absorbeerub klaasis ega läbi seda (Hemmilä, Saarni 2002: 31). Sellisel moel toodab sisse kiirguv soojus hoones soojusenergiat. Konvektsioon tuleneb akna eri pooltel olevast õhurõhu erinevusest. Kui läbi akna liigub õhuvool, lekib selle kaudu ka soojusenergiat. Väljapoole suunduva õhuvoolu kaudu kaob ruumist soojusenergiat ja sissetuleva jaheda õhuvoolu soojendamiseks on vaja kulutada soojusenergiat. Akna energiatõhususe määramisel tuleb võtta arvesse nimetatud kolme soojuse edasikandumise viisi mõju aasta jooksul.

Akende energiatõhususe määramiseks on loodud akende energialiigituse mudel, mille alusel on võimalik määrata akende kaudu liikuva energia hulk aastas (Hemmilä, Heimonen 2006). Energiatõhususe määramisel võetakse arvesse kolme tegurit: akna U -väärtus, mis näitab akna kaudu edasi kanduva



Joonis 2. Soojuse kiirgumine läbi katseakna.
Janne Jokelainen'i joonis.

soojusenergia hulka; akna g -väärtus, mis näitab läbi akna liikuva päikesekiirguse osa kogukiirgusest ja akna L -väärtus, mis näitab läbi akna liikuva õhuvoolu hulka rõhuerinevusel 50 Pa. Nende tegurite alusel saab arvutada akna energiatõhususe valemist: $E = 140 \times U - 160 \times g + 50 \times L$. Tehte tulemuseks saadud E -väärtus näitab kõnealuse akna kaudu liikuva soojusenergia hulka ruutmeetri kohta aastas kujul kWh/m²a. (Ikkunoiden energialuokituksen säännöt 2010: 5, 7)

Selles uuringus kohaldatakse E -väärtuse arvutusmudelit, kuid arvutuse tulemused ei vasta akende energialiigituse tootemärgise nõuetele. Vanade puitakende olulisim soojustehniline probleem on nende tihedus, mistõttu alustatakse katseakna energiatõhususe vaatlemist L -väärtuse määramisega.

Akende energiakulu vaatlemisel tuleb arvestada nende kogu kasutusega. Uue kolmeklaasilise puitakna (1300 × 1300) valmistamiseks kulub energiat umbes 120 kWh, kui juurde arvata materjali töötlemine, akna valmistamine ja vajalik transport. Vana puitakna kasutusest kõrvaldamiseks kulub energiat umbes 50 kWh, kui juurde arvata transport ja materjalide taaskasutus. Ühe klaasi valmistamiseks kulub energiat ligikaudu 30 kWh ja kasutusest kõrvaldamiseks 25 kWh. (Baldasano Recio *et al.* 2005: 8, 26)

Katseakna õhutihedus

Akende õhutihedusele ei ole kohustuslikke nõudeid, kuid välja on töötatud liigitamise alused (Heimonen 2009: 177–178). Uute akende juures tehtud mõõtmiste puhul on avatavate akende õhulekkearv q_{50} ruutmeetri kohta olnud keskmiselt 0,3 (m³/h) ja kinnistel akendel 0,1 (m³/h) (Hemmilä, Heimonen 2006: 36).

Katseakna õhutiheduse katsete käigus uuriti, millist mõju avaldavad erisugused renoveerimis- ja tihendusviisid akna õhutihedusele (L -väärtus). Katseakna õhulekkeid mõõdeti Seinäjoki rakenduskõrgkooli konserveerimislabori survekapis. Survekapis tekitati ventilaatoriga alarõhk, mille suurust reguleeriti türistorregulaatoriga. Rõhuerinevusi mõõdeti seadmega VelociCalc Plus ja väljatõmbekanaliga otsas olevat õhuvoolu seadmega AIRFLOW LCA501. Survekapi seadistamisel leiti, et mõõdetud tulemusi on vaja parandada arvestuslike koefitsientidega. Parandus tehti matemaatilise mudeli abil, mille puhul mõõtmistulemused modelleeriti 2. astme polünoomidega (paraboolid), mis sobitati ühtlaselt üksteisega.

Akna tiheduskatsete tarbeks tehti survekapi korpusesse ava 950 × 1150 mm, kuhu paigaldati mõõtmise ajaks aken. Akna lengi ja ava serva vahele jääv vahe tihendati teipimise teel. Tiheduskatsete puhul mõõdeti tihendatud akende õhu läbilaskvuseks rõhuerinevustel ligikaudu 100 Pa, 150 Pa, 200 Pa, 250 Pa ja 300 Pa. Akende juures mõõdeti õhu läbilaskvust üle- ja alarõhu all,

pöörates akna survekapi avas ringi. Mõõdetud rõhuerinevused, õhuvoolud ja seadmelekked sisestati Seinäjoki rakenduskõrgkooli tehnoloogia abil tehtud PNS-tabelisse, mis arvutas vähima ruutmeetri summa meetodil astmefunktsiooni ($y = a \times xb$) abil ekstrapoleerimise teel õhuvoolud teatud kindlal rõhuerinevusel. Arvutuskeem toimis väga hästi mõõtmisvahemikus 100–300 Pa ja hästi koordinaatide nullpunkti läheduses. Skeem leiti olevat piisavalt usaldusväärne ka mõõtmisvahemikust väljapoole jäävatele 50 Pa väärtustele.

Tabelarvutuse abil määrati igale tihendamisviisile q50-, q100- q150-, q200-, q250- ja q300-õhulekkearv ruutmeetri kohta (m³/h), mida parandati seadistamisel saadud koefitsientidega. Iga tihendamisviisi tiheduse mõõtmisi alustati ja lõpetati seadme tiheduse mõõtmisega, sel juhul oli survekapi ava kaetud kilega. Seadme tiheduse mõõtmised tehti samade rõhuerinevustega nagu akna tiheduse mõõtmised ning tulemusi arvestas tabelarvutus. Mõõtmistulemusena kasutati üle- ja alarõhuga mõõtmise halvemat väärtust (Ikkunoiden energialuokituksen säännöt 2010: 6), mis avaldus kõigil juhtudel alarõhu puhul.

Esialguses katseseerias otsiti õhutihedust mõjutavaid tegureid, tihendades akent mitmel eri moel ja mõõtes iga tihendamisviisi mõju õhutihedusele. Kokku tehti mõõtmisi umbes kahekümnele eri tihendusviisile. Esialgse katseseeria käigus saadud tulemuste põhjal valiti oma mõjult kõige tõhusamad tihendamisviisid, mille kohta tehti leitud mõjude täpsustamiseks ja kinnitamiseks teine katseseeria.

Katseakna tiheduse mõõtmise tulemused on toodud tabelis 1. Tabelis ilmnivate tihendamisviiside kirjeldused ja nende kohta tehtud tähelepanekud on punktikaupa lahti kirjutatud allpool.

| Tihendamisviis | 50 Pa | 100 Pa | 150 Pa | 200 Pa | 250 Pa | 300 Pa |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Renoveerimata | 126,73 | 223,52 | 315,29 | 404,48 | 492 | 578,34 |
| Renoveeritud aken | 54,97 | 101,57 | 147,82 | 194,32 | 241,22 | 288,55 |
| Kummitihendiga aken | 4,31 | 7,71 | 10,59 | 13,19 | 15,59 | 17,85 |
| Teibitud aken | 1,1 | 2,12 | 3,16 | 4,25 | 5,32 | 6,35 |
| Teibitud ja tihendatud aken | 0,38 | 0,70 | 1,00 | 1,31 | 1,62 | 1,92 |
| Avatav aken | 3,06 | 5,31 | 7,15 | 8,73 | 10,13 | 11,39 |
| Klaaspaketiga aken | 0,46 | 0,78 | 1,06 | 1,32 | 1,56 | 1,79 |

Tabel 1. Eri tihendamisviiside mõju õhuleketele.

1. Lengi tihendamine

Tiheduse mõõtmine algas läbi lengi liikuvaid õhuvoole mõõtes. Lengi tihedust mõõdeti alguses tavaolekus ja seejärel lengi tihendatud ühenduskohtadega. Tihendamata lengi q100 arvuks mõõdeti alarõhul 7,07 m³/h. Pärast lengi tihendamist oli q100 arv alarõhul 0,78 m³/h.

Mõõtmisviis tõstis esile läbi lengi toimuvat õhuleket, sest katse korralduse tõttu sai õhk voolata hõreda välisraami pragudest klaaside vaheruumi ja sealt lengi ühenduskohtade pragude kaudu akna ja korpuse paigaldusvahesse. Tavalises kasutusolukorras ei peaks akna ja karkassi vahele jäävas paigaldusvahes olema rõhuerinevust võrreldes klaaside vaheruumiga. Vaatamata sellele näitab katse, et lengi ühenduskohtade pragudest võib lekkida suuri õhukoguseid ja need selgitavad ka teatud ülerõhuga akende uduseks minemist.

Lengi ühenduskohtade tihendamine avaldab mõju akna tihedusele. Lengi ühenduskohti tuleks tihendada kõigi akende renoveerimisel. Vanade lengide hõredus suurendab akna paigaldusvahe tihendamise tähtsust (Jokelainen 2012: 26–29). Lengi paigalduspragu tuleks akende renoveerimise käigus täis toppida ja tihendada sisepinnalt teipimise teel.

2. Renoveerimata aken

Renoveerimata katseakna seisukord oli halb. Lengi ühenduskohas oli väike vahe ja leng oli kergelt vändunud. Akna värvipinnad olid tervikuna halvas seisukorras ja raamide kinnihoidmiseks on kasutatud painutatud naelu. Klaaside kitt oli pragunenud ja osaliselt ära kukkunud. Ühel klaasiruudul oli pragu.

Renoveerimata akna q100 arvuks mõõdeti alarõhul 223,52 m³/h. Renoveerimata akna tihedus oli sedavõrd halb, et seda ei saa köetavate ruumide puhul kasutada.

3. Renoveeritud aken

Katseakna renoveerimisel muudeti akna lengi sirgemaks ja tihendati lengi ühenduskohti. Aknalt eemaldati lahtikoorunud värv ja aken värviti uuesti. Aknaklaasid eemaldati, klaasisoon puhastati ja klaasid kinnitati silikooniga. Akna kinnihoidmisseadmed vahetati uute vastu.

Renoveeritud akna q100 arvuks mõõdeti alarõhul 101,57 m³/h. Akna renoveerimine parandas renoveerimata aknaga võrreldes oluliselt akna tihedust. Akna hoolikas renoveerimine leiti olevat vältimatu, et tõsta vanade akende tihedust. Tuleb siiski märkida, et ainuüksi renoveerimine ei ole akna tiheduse seisukohast piisav meede.

4. Kummitihendiga aken

Akna siseraamid tihendati, kinnitades lengi soonde 2–3,5-millimeetrise K-profiiliga EPDM-kummitihendi (Värnamo). Aknale lisati sulgureid, nii et neid oli igal raamil neli.

Tihendusribaga tihendatud siseraamidega akna q100 arvuks mõõdeti alarõhul 7,71 m³/h. Katseakna tihedus paranes kummitihendi kasutamisel oluliselt, kuid kokkuvõttes jäi see endiselt halvale tasemele. See tulenes raamide väändunud kujust, mistõttu ei surunud raam ühtlaselt tihendi vastu, kuigi sulgureid kasutati tavalisest rohkem. Kummitihendiga tihendamiseks tuleks lengi ja raamide puitosi töödelda, et üksteisega liituvad pinnad muutuks taseks ja sirgeks ning soonde tekiks tihendi paigaldamiseks vajalik ruum.

5. Teibitud aken

Renoveeritud akna siseraamidelt eemaldati kõik sulused ja siseraamide ühendused teibiti aknateibiga kinni (Tesa).

Renoveeritud akna q100 arvuks mõõdeti alarõhul 2,12 m³/h. Akna siseraami teipimine tihendas katseakent hästi. Teipimise juures on siiski mitu probleemi. Teibi kinnitumine raami ja lengi külge on alati ebakindel. Kinnitumist mõjutavad puitosade värvipinna tüüp ja kvaliteet, puitosade pindade ühtlus, teibi liimi kvaliteet, teibi ja puitosade temperatuur ning teipija oskused. Teipimise suur probleem on teibi kinnipüsimine. Teibi juures kasutatav liim vananeb ja selle kleepuvus halveneb. Muutuvad ka puitosade temperatuur ja niiskus, seegi avaldab teipühendusele kahjustavat toimet. Ka raamides tuule survele toimuvad liikumised avavad teipühendusi: suurem torm võib avada kõik teipühendused.

6. Teibitud ja tihendatud aken

Renoveeritud akna siseraamide vahed tihendati vatiga ja teibiti kinni aknateibiga (vrd Ikkunoiden korjaus 2000: 17).

Topitud ja teibitud akna q100 arvuks mõõdeti alarõhul 0,70 m³/h. Akna siseraami toppimine parandas teibitud katseakna tihedust. Toppimine kinnitab ka raame paremini kohale, mis võimaldab teipi paremini paigaldada ja teip püsib kindlamalt kinni. Teipimise puhul tuleks alati kasutada ka toppimist. Toppimise õnnestumiseks peab topitav vahe olema ühtlane. Toppida saab kuni 4 mm laiusi pragusid, alla 1 mm pragude toppimine on raske või üldse võimatu. Akende renoveerimisel tuleks siseraame hõõveldada nii, et kõikjale jääks ühtlane toppimispragu.

7. Avatav aken

Topitud ja teibitud akna üks raam tehti avatavaks. Topitud materjal ja teip eemaldati ning asendati kummitihendiga.

Ühe avatava raamiga ning muus osas topitud ja teibitud akna q100 arvuks mõõdeti alarõhul 5,31 m3/h. Ühe raami muutmine avatavaks vähendas akna tiheduse peaaegu tasemele, mis saavutati kõiki raame kummitihendiga tihendades. Seepärast oleks talviseks tuulutamiseks mõistlik leida mõni muu võimalus kui vana puitakna siseraami avamine.

8. Klaaspaketiga aken

Katseakna siseraamid eemaldati ja asendati kaheklaasiliste klaaspakettidega (4-16-4), millele olid kinnitatud 2–3,5-millimeetrised K-profiiliga EPDM-kummitihendid (Värnamo). Klaaspaketid kinnitati oma kohale puitliistudega, mis kruviti lengi soonde kinni.

Siseraami asendava klaaspaketiga tihendatud akna q100 arvuks mõõdeti alarõhul 0,78 m3/h. Klaaspaketile kinnitatud tihendite abil suurenes akna tihedus. See tulenes klaasi võimest kopeerida lengis olevaid kõverusi ning nõnda surutakse klaasi kummitihend ühtlaselt soone serva vastu.

9. Välisraami tihendamine kummitihendiga

Akna välisraam tihendati lengi soonde kinnitatud 2–3,5-millimeetrise K-profiiliga EPDM-kummitihendiga ja välisraamile lisati sulgureid, nii et neid oli iga raami kohta neli. Sellise välisraami tihendamise mõju mõõdeti kummitihendiga siseraamiga, topitud ja teibitud siseraami ja klaaspaketiga siseraamiga akendega. Mõõtmistulemused on toodud tabelis 2.

| Tihendamisviis | Tihendamata välisraam q100 | Kummitihendiga välisraam q100 |
|---------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Kummitihend | 7,71 | 2,13 |
| Topitud ja teibitud | 0,70 | 0,65 |
| Klaaspakett | 0,78 | 0,70 |

Tabel 2. Välisraami tihendamise mõju akna õhuleketele

Välisraami tihendamine parandab oluliselt hõreda siseraamiga akna tihedust. Sellisel juhul kujuneb probleemiks aga välisklaasi sisepinna uduseks muutumine, kui klaaside vahele jõudvas siseõhus sisalduv niiskus kondenseerub külma välisklaasi sisepinnale. Selle vältimiseks tuleb parandada siseraami tihedust.

Välisraami tihendamine ei paranda oluliselt akna üldist tihedust, kui siseraam on piisavalt tihe. Selle abil saavutatakse siiski kõigi aknatüüpide

juures vähene tiheduse paranemine. Vanade puitakende välisraamid tuleks tihendada kummitihendiga. Kui tihendamise tulemusena kipuvad välisklaasid uduseks minema, tuleb ennekõike parandada siseraami tihedust ja alles seejärel vähendada välisraami tihendeid selle võrra, et uduseks muutumine enam probleem ei oleks. Välisraami tihendamine parandab oluliselt akna vihmakindlust (Heimonen 2009: 181).

Välisraami tihendamine väärib alati eraldi kaalumist, sest tihendamisele avaldavad olulist mõju akna juures valitsevad rõhuerinevused. Käesolevas uuringus kasutatakse katseakna juures tihedusväärtusi, mis saavutatakse ilma välisraami tihendamiseta.

Katseakna U-väärtus

Akna U-väärtus näitab läbi akna edasi kanduva soojusenergia hulka. Puitakna U-väärtus koosneb nii klaasosa U-väärtusest kui puitosade U-väärtusest. Tänapäevaste nõuete kohaselt peab akende soovituslik U-väärtus olema 1,0 W/m²K ja kõrgeim lubatud väärtus 1,8 W/m²K (RakMK C3, 2010: 6–7).

Praktikas saab vana puitakna U-väärtust mõjutada, kui teha muudatusi akna klaasosa juures. Klaasosa saab muuta, kui suurendada klaaside arvu, optimeerida klaasidevahelist kaugust või kasutada eriklaase, mille soojusjuhtivus on tavalisest klaasist väiksem. (Hemmilä, Saarni 2002: 22) Vana puitakna puitosade soojusjuhtivust ei saa tavapäraste meetoditega mõjutada.

Katseakna U-väärtus arvestati nelja erineva aknakonstruktsiooni puhul: tavaliste klaasidega aken (variant 1), lisaklaasiga aken (variant 2), siseraamidel selektiivklaasiga aken (variant 3) ja klaaspaketiga asendatud siseraamidega aken (variant 4). Variandid 3 ja 4 on saavutatavad suhteliselt lihtsate parandustöödega (RT 38-10901, 6-7, RT 41-10726, 14). Variandi 2 ehk lisaklaasi paigaldamine on töömahukam toiming ja see on analüüsi kaasatud võrdlusväärtusena (Ikkunoiden korjaus 2000: 19).

Katseakna eri variantidele arvatati U-väärtus, rakendades Soome ehitusseadustiku osa C4 nõudeid (RakMk C4, 2003). Tänapäeval üldkasutatavale standardile (SFS-EN ISO 10077-1, 2006: 22) vastavat arvestust ei saanud katseaknale teha, sest standardit saab kasutada vaid akende puhul, mille klaaside vahe on alla 50 mm. Katseakna välismõõtmed olid 0,935 × 1,135 meetrit, lengi paksus 0,14 meetrit ja klaaside vahe 0,10 meetrit. Arvutustes kasutati valgusava suurusena kolme raami klaasipinna summat ning puitraamistiku pindalana T-lengi ja raamide pindala välisklaasipinna projektsioonis. Akna valgusava pindala oli 0,61 m², puitraamistiku pindala oli 0,45 m² ja puitraamistiku ristlõikepindala kaudu arvatud lengi- ja raamiosa keskmine paksus 0,108 m. U-väärtused arvatati ehitusseadustiku osa C4 (RakMk C4, 2003) ja klaasivalmistaja (Pilkington Spectrum 2014) antud tooteteabe põhjal.

Katseakna U-väärtus arvutati ehitusseadustiku osa C4 alusel järgmiselt. Valgusava soojusjuhtivuse koefitsient U_g saadi toote valmistaja arvutusprogrammiga (Pilkington Spectrum 2014). Katseakna puitraamistiku soojusjuhtivuse koefitsient U_f arvutati valemist:

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

kus

R_{si} = sisepinna pinnatakistus (m^2k/W),

R_{se} = välispinna pinnatakistus (m^2k/W),

λn = puitraami tavapärase soojusjuhtivus (W/mK),

d = puitraami keskmine paksus (m),

β = mitmemõõtmelist soojusvoogu arvestav parandustegur 0,7.

Katseakna keskmine soojusjuhtivuse koefitsient U_w arvutati valemist:

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

kus

A_g = klaasitud pindala (m^2),

A_f = puitraamistiku pindala (m^2),

U_g = klaaside soojusjuhtivuse koefitsient (W/m^2K),

U_f = puitraamistiku soojusjuhtivuse koefitsient (W/m^2K),

$l_g \Psi_g$ = lineaarne lisajuhtivus (-).

Alljärgnevalt on esitatud katseakna U-väärtus nelja erisuguse aknakonstruktsiooni puhul.

a) variant 1

Tavaliste klaasidega varustatud katseakna ($4 + 100 + 4$) klaasosa soojusjuhtivuskoefitsient $U_g = 2,85 W/m^2K$ (Pilkington Spectrum 2014), puitraamistiku soojusjuhtivuskoefitsient $U_f = 1,25 W/m^2K$ ($R_{si} = 0,13 m^2K/W$, $R_{se} = 0,04 m^2K/W$, $\lambda n = 0,12 W/mK$, $d = 0,108 m$, $\beta = 0,7$) ja akna soojusjuhtivuskoefitsient $U_w = 2,17 W/m^2K$ ($A_g = 0,61 m^2$, $A_f = 0,45 m^2$, $l_g \Psi_g = 0$).

b) variant 2

Lisaklaasiga varustatud katseakna (4 + 70 + 4 + 30 + 4) klaasosa $U_g = 1,75 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Pilkington Spectrum 2014), puitraamistiku $U_f = 1,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja akna $U_w = 1,54 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($A_g = 0,61 \text{ m}^2$, $A_f = 0,45 \text{ m}^2$, $\lg\Psi_g = 0$).

c) variant 3

Katseakna siseraamides on 4 mm kõva selektiivklaas (4 + 100 + KN4), sel juhul klaasosa $U_g = 1,88 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Pilkington Spectrum 2014), puitraamistiku $U_f = 1,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja akna $U_w = 1,61 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($A_g = 0,61 \text{ m}^2$, $A_f = 0,45 \text{ m}^2$, $\lg\Psi_g = 0$).

d) variant 4

Katseakna siseraamid on asendatud kahe klaasiga klaaspaketiga (4-16-4), millel on pehme selektiivklaas ja argoontäide. Klaasosa (4 + 80 + S(1) N4-16Ar-4) soojusjuhtivuskoeffitsient on klaasi tootja kohaselt $U_g = 0,81 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Pilkington Spectrum 2014), puitraamistiku $U_f = 1,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja akna $U_w = 1,04 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($A_g = 0,61 \text{ m}^2$, $A_f = 0,45 \text{ m}^2$, $\lg\Psi_g = 0,05 \text{ W/mK}$).

Renoveerimise mõju U-väärtusele

Tavaliste klaasidega varustatud katseakna U-väärtuseks määrati $2,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. See on parem väärtus kui tavaliselt vanadele kahe klaasiga akendele määratud $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Hemmilä, Saarni 2002: 21). Erinevus tuleneb katseakna lengi jaotusest, mistõttu on aknal puitosa oluliselt rohkem kui jaotamata aknal, ning puitosa soojusjuhtivus on tavaliste klaasidega aknal oluliselt väiksem kui klaasosal. Siinkohal tuleb siiski märkida, et akna jaotamine vähendab selle valgustavust. See tähendab, et sama valgusehulga saavutamine jaotatud aknaga eeldab jaotamata aknaga võrreldes selle suurendamist. Akna suuruse lisamine aga tõstab alati selle kaudu liikuva soojusvoo hulka.

Katseaknale paigaldatud tavalise lisaklaasiga saadi U-väärtus $1,53 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja see paranes kahe klaasiga aknaga võrreldes $0,64 \text{ W/m}^2\text{K}$. Lisaklaas parandas U-väärtust oluliselt, kuid lisaklaasi paigaldamine on töömahukas, keeruline ja kallis.

Katseakna siseraamidele paigaldatud selektiivklaasidega saavutati U-väärtus $1,60 \text{ W/m}^2\text{K}$, mis jääb usehitamise maksimumväärtusest $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ (RakMk C3, 2010: 6) väiksemaks. Tavaliste klaasidega võrreldes parandasid selektiivklaasid akna U-väärtust $0,57 \text{ W/m}^2\text{K}$. See on oluline paranemine, mida saab lihtsalt saavutada ilma akna juures tehtavate puidutöödeta. Selline parandus ei muuda ka akende välimust.

Katseakna siseraamide asendamine tõhusate klaaspakettidega parandas akna U-väärtust 1,13 W/m²K. Saavutatud U = 1,04 W/m²K vastab uusehituses kasutatavale normväärtusele 1,0 W/m²K (RakMk C3, 2010: 7).

Katseakna g-väärtused

Akna g-väärtus väljendab päikesekiirguse läbilaskvuse suhet. Üks 3 mm kirgas klaas laseb läbi umbes 87 % (g = 0,87) päikese kogukiirgusest ja kahe kirka klaasiga jaotamata aken umbes 71 % (g = 0,71) (Hemmilä, Saarni 2002: 31, 32). Energiatõhususe seisukohast peaks g-väärtus olema võimalikult suur. G-väärtust vähendavad klaasosa suhtelise osa vähenemine, klaaside arvu suurenemine ja klaaside läbilaskvuse vähenemine. Katseakna G-väärtus määrati nelja variandi puhul: tavalised klaasid, lisaklaas, siseraamil selektiivklaas ja siseraam asendatuna tõhusa klaaspaketiga.

Katseakna keskmine g-väärtus (g_W) saadi, korrutades klaasosa g-väärtuse (g_g) valgusava (A_g) ja kogu pindala (A_w) vahelise suhtega (Hemmilä, Heimonen 2006: 37). Katseakna g-väärtused arvutati valemist:

$$g_w = \frac{g_g * A_g}{A_w}$$

kus

g_W = akna päikesekiirguse koguläbilaskvus (-),

g_g = valgusava päikesekiirguse koguläbilaskvus (-),

A_g = valgusava pindala (m²).

A_w = lengi ääremõõtude alusel arvutatud akna pindala (m²).

Aknaklaaside g_g-väärtused saadi klaasitootjalt (Pilkington Spectrum 2014). Tavaliste kirkaste *float*-klaasidega varustatud katseakna g-väärtus oli 0,45 (g_g = 0,78, A_g = 0,61 m², A_w = 1,06 m²). Lisaklaasiga varustatud katseakna g-väärtus oli 0,41 (g_g = 0,71, A_g = 0,61 m², A_w = 1,06 m²). Kui aknal on vanad puhutud või tõmmatud klaasid, on akna g-väärtus nimetatust madalam.

Siseraamil selektiivklaasiga akna g-väärtus on 0,42 (g_g = 0,73, A_g = 0,61 m², A_w = 1,06 m²) ja klaaspaketiga asendatud siseraamiga akna (4-16-4) g-väärtus on 0,30 (g_g = 0,52, A_g = 0,61 m², A_w = 1,06 m²).

Katseakna g-väärtused jäävad väikeseks. See tuleneb jaotatud lengist ja raamide puitosade kõrgusest, mille tõttu on akna klaaspinna suhteline osakaal väike (42 %). Katseaken laseb suuruse kohta läbi vähe valgust ja soojuskiirgust.

Katseakna energiatõhusus ning renoveerimise mõju energiakulule

Katseakna energiatõhusus määrati valemi $E = 140 \times U - 160 \times g + 50 \times L$ abil. U-väärtuste, g-väärtuste ja L-väärtustena kasutati selles uuringus määratud väärtusi. Nende väärtuste ees kasutatavad koefitsiendid 140, 160 ja 50 on määratud vastavaks Soome keskmistele ilmaoludele aasta jooksul (Hemmilä, Heimonen 2006: 31). Koefitsientide abil saab arvutada katseakna aastase energiakulu E (kWh/m²a).

Katseakna iga-aastane energiakulu arvutati kuue parandusmeetme puhul. Energiakulu on esitatud tabelis 3 ja parandusmeetmete kirjeldused allpool.

| | U-väärtus | 140 × U | g-väärtus | 160 × g | L-väärtus | 50 × L | E |
|----------------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|---------|
| Tihendamata | 2,17 | 303,80 | 0,45 | 72,00 | 54,97 | 2748,50 | 2980,30 |
| Kummitihend | 2,17 | 303,80 | 0,45 | 72,00 | 4,31 | 215,50 | 447,30 |
| Teibitud | 2,17 | 303,80 | 0,45 | 72,00 | 0,38 | 19,00 | 250,80 |
| Lisaklaas | 1,54 | 215,60 | 0,41 | 65,60 | 0,38 | 19,00 | 169,00 |
| Selektiivklaas | 1,61 | 225,40 | 0,42 | 67,20 | 0,38 | 19,00 | 177,20 |
| Klaaspakett | 1,04 | 145,60 | 0,30 | 48,00 | 0,46 | 23,00 | 120,60 |

Tabel 3. Katseakna iga-aastased energiakulud.

Uued puitaknad liigitatakse nende aastase energiakulu põhjal seitsmesse kategooriasse. Parimasse A-kategooriasse kuuluvad aknad, mille energiakulu on alla 85 kWh/m²a, ja halvimasse G-kategooriasse määratakse aknad, mille energiakulu on üle 185 kWh/m²a (Ikkunoiden energialuokituksen säännöt 2010: 6). Põhiosa uutest puitakendest kuulub kategooriasse B ja C, sel juhul on nende energiakulu 85–125 kWh/m²a. Tänapäevastele ehitusnõuetele vastav aken peab mahtuma vähemalt D-kategooriasse, mis tähendab, et selle energiakulu peab jääma alla 145 kWh/m²a (Hemmilä, Heimonen 2006: 40). Akende energiakulu võib võrrelda hoone koguenegiakuluga, mis on uusehitamise puhul piiratud. Näiteks pinnaga 140 m² ühepereelamu puhul peab see jääma alla 24 640 kWh aastas (RakMK D3, 2012: 9).

Tihendamata aken oli renoveerimata, kahe tavalise klaasiga varustatud aken, mille juures ei olnud tehtud mingit lisatihendamist. Akna õhulekked olid sedavõrd suured, et energiakulu oli umbkaudu 3000 kWh/m²a. Seda väga suurt tulemust tuleb siiski hinnata klausliga, et arvutusmudel ei ole loodudki nii suurte õhulekete jaoks (Hemmilä, Heimonen 2006: 35). Sellest hoolimata näitab tulemus, et tihendamata aknaid ei saa köetavates hoones kasutada.

Kummitihendiga aknal oli kummiga tihendatud siseraame. Aastaseks energia-kuluks oli 447 kWh/m²a. See on samuti suur arv, mis tuleneb halvast tihedusest. **Teibitud** aken olid topitud vatiga ja teibitud aknateibiga. Akna energiakuluks määrati 251 kWh/m²a. Kulu on küll vähenenud, kuid endiselt suur. See on parim väärtus, mida on võimalik vana puitakna juures saavutada ilma spetsiaalsete akna konstruktsiooni muutmise parandusmeetmeteta. Tõenäoliselt ongi selline energiakulu enamikul kasutuses olevatel vanadel puitakendel. See tähendab, et nende energiakulu on ka parimal juhul kaks korda suurem kui uutel akendel. Kui energia hinnaks arvestada 0,1 e/kWh, erineb aastane küttekulu uue ja tihendatud vana akna puhul umbes 15–20 eurot akna ruutmeetri kohta.

Lisaklaasiga aknale oli paigaldatud lisaraami abil üks klaas juurde, seega oli aknal kolm tavalist klaasi. Aken oli tihendatud samamoodi nagu teibitud aken. Energiakuluks määrati 169 kWh/m²a. Lisaklaas parandas akna U-väärtust, kuid vähendas g-väärtust. Aastane energiakulu vähenes teibitud aknaga võrreldes 82 kWh/m². See on oluline kokkuhoid, kuid meetme kalli hinna tõttu ei tasu lisaklaasi paigaldamise end ära.

Selektiivklaasiga akna siseraamidele oli paigaldatud selektiivklaas ja aken oli tihendatud nagu teibitud aken. Energiakuluks oli ligikaudu 177 kWh/m²a. See on vana puitakna kohta hea tulemus, mis jääb vaid pisut alla lisaklaasiga varustatud aknale. Siseraami klaasivahetus on suhteliselt lihtne toiming, mis ei muuda ei akna välimust ega kasutamist. Energiahinnaga 0,1 e/kWh on aastane küttekulu akna ruutmeetri kohta tihendatud aknaga võrreldes ligikaudu 7–8 eurot odavam ja uue aknaga võrreldes umbes 5–10 eurot kallim.

Klaaspaketiga akna siseraam oli asendatud argoontäitega ja selektiivklaasi sisaldava klaaspaketiga (4-16-4), mis oli tihendatud kummitihendiga. Energiakuluks määrati ligikaudu 121 kWh/m²a. Klaaspaketi abil saavutati kõige väiksem energiakulu ja selline aken vastab tänapäeva nõuetele, paigutudes kategooriasse C. Klaaspaketi kasutamine muudab akna välimust ja toimivust ning seda on ka vaja eraldi kinnitada. Klaaspaketi kasutamine on põhjendatud eriobjektidel, näiteks pööninguakna juures, kus ei ole kunagi siseraami olnud.

Tabelist 3 on näha, et eri parandusmeetmete mõju soojusjuhtivuse kaudu tekkivatele soojakadudele aastas ($140 \times U$) on kuni 158 kWh. Aastast g-väärtust ($160 \times g$) mõjutavad remondimeetmed kuni 24 kWh ja aastast L-väärtust ($50 \times L$) koguni 2730 kWh. Kui täiesti tihendamata aken vaatlusest välja jätta, on mõju L-väärtusele 197 kWh. Seega saab vanade akende energiatõhusust kõige tõhusamalt mõjutada akende tihedust parandades, kuid selle abil saab ära hoida vaid suurema osa energiakaost. Väga energiatõhusaks vanu puitaknaid tihendades muuta ei saa. U-väärtust saab kulutõhusalt parandada, kui siseraamidele paigaldada selektiivklaasid. See abinõu annab aastas kokkuhoidu peaaegu 75 kWh/m².

Akende renoveerimisviisid ja kasutamine

Kuna vanad puitaknad erinevad valmistusviisilt, on neil ka erisugused tehnilised omadused. Ka täiesti ühesuguste akende tehniline toimivus võib olenevalt nende asukohast hoones olla väga erinev (Kauppinen 2009: 160). Vanade puitakende eripärade tõttu on katseakna alusel määratud väärtused üldised ja ligikaudsed. Sellest hoolimata on järeldused muudatustööde suhtelisest mõjust energiatõhususele kasutatavad enamiku vanade puitakende juures.

Katseakna tiheduse mõõtmise käigus leiti, et tihendamata akna õhuleke on sedavõrd suur, et selliseid aknaid ei saa köetavates hoonetes kasutada. Katseaken saadi piisavalt tihedaks hoolika toppimise ja teipimisega, mille puhul õhulekkearv q_{50} oli 0,38. See on üsna lähedane tänapäevaste avatavate akende keskmisele arvule 0,3. Hästi toimiv teipimine eeldab vati ja teibi hoolikat paigaldamist ning hea kvaliteediga teibi kasutamist. Siseraamidel peab olema piisavalt sulgureid, et õhurõhu erinevused ei saaks raame liigutada ega teipi eemaldada. Teibi kinnipüsimist tuleb talvel jälgida ja lahtitunud teip välja vahetada.

Tiheduse mõõtmise puhul üllatas, et siseraami tihendamisel kummitihendiga oli mõju väga kesine, õhulekke arv q_{50} jäi tasemele 4,31. Väärtust ei õnnestunud parandada ka kummitihendi suuruse ja profiili muutmise ega sulgurite arvu suurendamise teel. Katseakna raamid olid sedavõrd väändunud, et ei surunud tihendit ühtlaselt lengi soone vastu. Katseakna raamide väändumine on küll erijuhtum, kuid vanade puitakende puhul esineb seda sageli. Raamide väändumise probleemi saab lahendada, kui töödelda lengi soon raami kujule vastavaks, sel juhul jääb lengile tihendi jaoks piisavalt ruumi. Samas saab ka hinged ja sulgurid seada õigele tasemele. Selline puitosade renoveerimine nõuab siiski erioskusi ja eriseadmeid, seepärast ei kuulunud selle mõju uurimine käesoleva uuringu eesmärkide hulka. Võib siiski arvata, et oskuslikult renoveerides ja kvaliteetseid kummitihendeid kasutades on saavutatav sama tihedus nagu teipimisega.

Katseaknale arvatud U -väärtus 2,17 (W/m²K) oli parem kui kahe klaasiga aknale kirjanduses üldiselt pakutud väärtus 2,5. Erinevus tuleneb vanade puitakende väiksemast klaasipinnast. U -väärtust õnnestus parandada lisaklaasi, selektiivklaasi ja klaaspaketi kasutamisel. Lisaklaas parandas oluliselt katseakna energiatõhusust. Selline meede on siiski kallis ja muudab akna välimust. Kui selektiivklaasi abil saavutati peaaegu sama energiatõhusus, ei saa lisaklaasi paigaldamist mõistlikuks parandusmeetmeks pidada. Selektiivklaasi abil paranes katseakna energiatõhusus peaaegu 75 kWh/m² aastas. Siseraami klaasi asendamine selektiivklaasiga tasub akende renoveerimisel alati ära. Enamasti on vahetamiseks vaja spetsialisti abi, aga parandusmeetmena on see kiire ja kuludelt mõistlik lahendus. Parandamiseks

kasutatavad selektiivklaasid peavad olema spetsiaalselt renoveeritavatele objektidele mõeldud kõva pinnaga klaasid. Selektiivklaaside kasutamine ei muuda oluliselt vana akna välimust ega kasutamist.

Akna kõige parem U-väärtus ja energiatõhusus saavutati, kui siseraamid asendati klaaspakettidega, mille puhul energiatõhusus vastas tänapäevastele akendele. Selliseid elemente võib kasutada nagu siseraame, kuid nende paigaldamine ja eemaldamine nõuavad erioskusi. Klaaspaketi kasutamine on keeruline ja see muudab akna välimust, seepärast ei saa seda lahendust soovitada laiemaks kasutamiseks. Klaaspaketi kasutamine on põhjendatud akende juures, mille puhul ei ole kunagi siseraame kasutatud, või ehitusluba nõudvatel objektidel, kus akende energiatõhusus peab vastama tänapäevastele nõuetele.

Katseakna energiatõhususe parandamise kõige mõistlikum viis on siseraamide klaaside vahetamine selektiivklaaside vastu ning akende hoolikas toppimine ja teipimine enne kütteperioodi. Teipimine on kõige tõhusam, kui siseraamide hinged on eemaldatud või need on sellist tüüpi, mis võimaldab teibi kompaktselt üle hingede paigaldada. Teipimise tulemusel ei saa aknaid enam avada. Suveperioodiks tuleks sellised siseraamid sootuks eemaldada. Raamid saab eemaldada mõne minutiga ja neid võib hoida kuuris või pööningul. Suvine niiskus ei tekita hoiule pandud aknaraamides mingeid muutusi. Sügisel kulub siseraamide tagasipanemisele ja tihendamisele ühe akna kohta aega alla tunni ja selleks ei ole vaja erioskusi. Raamide eemaldamise ja paigaldamise käigus tuleb aknad puhtaks pesta, et klaasid püsiks kirkad läbi kogu aasta.

Siseraamide eemaldamine suveperioodiks on tegevus, mis ei kuulu enam tänapäevase elamismugavuse hulka. Asja võib vaadata ka teistpidi. Siseraamide eemaldamine on konkreetne tegu, mille abil inimene saab mõjutada oma keskkonda ja elamismugavust. See on teraapiline tegevus, millega saab hakkama igaüks. Siseraamide eemaldamine ja paigaldamine on ka seotud aastaringi vaheldumisega. See on piir suve ja talve vahel, selle kaudu muutub eluase aastaegade rütmis hoopis teistsuguseks. Siseraamide teisaldamine on seega eelis, mida kõik vanade akendega majade omanikud nautida võiks.

Järeldused: vahetamine, renoveerimine või hooldus?

Ainuüksi majanduslikust seisukohast vaadates ei ole toimivate vanade puitakende vahetamine või energiatõhususe parandamine tasuv. Kui uue akna koguhinnaks võtta 500 eurot, aastase energiakulu kokkuhoiuks 10–20 eurot ja investeringu intressiks 3 %, muutub tagasimaksmisaeg uue akna kasutusaajast oluliselt pikemaks. Sama puudutab selektiivklaaside paigaldamist, kui

remondi hinnaks arvestada 200 eurot, aastaseks kokkuhoiuks 7–8 eurot ja intressiks 3 %.

Ainult energiakulu seisukohast hinnates on akende vahetamine siiski mõistlik. Uued aknad hoiavad juba aasta jooksul kokku nende valmistamiseks, vahetamiseks ja vanade akende hävitamiseks kuluva energia ning pärast seda on energiakulu poole väiksem. Ühegi teise ehituselemendi remondi või ümberehituse teel ei saavutata nii suurt kokkuhoidu. Ka selektiivklaaside vahetamine annab energia kokkuhoidu. Vahetamiseks kuluv energia hoiakse kokku vähem kui aastaga ja energiakulu väheneb umbes 30 %.

Kultuuriajalooliselt ja arhitektuuriliselt vaadeldes on akende vahetamine üldiselt problemaatiline toiming. Ka parandusmeetmed peaksid olema sellised, mis ei muuda akende ehitust, välimust ega kasutusviisi. Sellisest vaatenurgast oleks kõige mõistlikum aknaid vaid renoveerida ja tihendada, kuid ka selektiivklaasi kasutamist ei saa pidada eriliseks patuks.

Vanade puitakendega seotud tegevuse mõistlikkus sõltub vaatenurgast, ühte ainuõiget tegevusviisi ei saa esile tuua. Kompromissina võib soovitada akende hoolikat tihendamist kütteperioodi alguses ja selektiivklaaside paigaldamist akende siseraamidele renoveerimise käigus. Sellisel juhul muutub remont majanduslikult tasuvaks, energiatõhusus jääb rahuldavale tasemele ja akende kultuuriajaloolistes väärtustes või arhitektuurilises ilmes ei tule suuri muutusi. Õigesti parandatuna ja kasutatuna toimivad vanad puitaknad piisavalt energiatõhusalt ning pakuvad keskkonnale ja omanikule palju rõõmu.



Janne Jokelainen. *Janne Jokelaineneni „endel” (selfie).*

Janne Jokelainen (sündinud 1965) on hariduselt arhitekt (1994) ja tehnikadoktor (2005). Ta on spetsialiseerunud traditsioonilisele palkehitudusele ja olnud tegev selle valdkonna arendajana, uurijana ja õpetajana. Tema teine erihuvi on traditsiooniline puitehitus ja puitehitiste restaureerimine. Alates 2009. aastast on Janne Jokelainen regulaarselt osalenud Viljandi Kultuuriakadeemia korraldatud palkehitudusharidust puudutavatel rahvusvahelistel arendusseminaridel, koostanud VKA tellimisel mitmeid õppematerjale ning käinud

vahetusöppejõuna kultuuriakademias õpetamas rahvusliku ehituse ja pärandtehnoloogia üliõpilasi. Janna Jokelainen on ajakirja *Studia Vernacula* toimetuskolleegiumi liige. Aastatel 2012–2014 oli Jokelainen Baltoskandia palkehitushariduse

olukorda kaardistava rahvusvahelise projekti PROLOG peakoordinator. Praegu töötab ta Seinäjoki Rakenduskõrgkoolis vanemõpetajana. *Studia Vernacula* on temalt varem (2013) ilmunud ülevaateartikkel „Soome palkehituse ajalugu”.

Allikad

Baldasano Recio, José María, **Parra Narváez**, René, **Jiménez-Guerrero**, Pedro 2005. *Estimate of Energy Consumption and CO2 Emission Associated with the Production, Use and Final Disposal of PVC, Aluminum and Wooden Windows*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. www.pvcinfo.be/bestanden/Baldasano%20study_windows.pdf (26.08.2014)

Bonns, Bertil 1983. *Bondgårdens byggnadsskick*. – *Svenska Österbottens historia* vol. 4, lk 163–219.

Heimonen, Ismo 2009. Ikkunoiden toiminnalliset vaatimukset ja niiden toteuttamisen keinot. – *Rakennusfysiikka 2009. Seminaarijulkaisu 2*. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, lk 171–181.

Hemmilä, Kari, **Saarni**, Risto 2002. *Ikkunaremontti*. Tampere: Rakennustieto.

Hemmilä, Kari, **Heimonen**, Ismo 2006. *Ikkunoiden energialuokituksen pilotointi*. *VTT Tiedotteita. Research Notes 2356*. Espoo.

Ikkunoiden energialuokituksen säännöt 2010. Puutuoteteollisuus ry. www.motiva.fi/files/8301/Ikkunoiden_energialuokituksen_saannot_uusittu_2011_paivitetty_29112013.pdf (26.08.2014)

Ikkunoiden korjaus 2000. Korjauskortisto 8. Helsinki: Museovirasto. www.nba.fi/fi/File/2117/korjauskortti-8.pdf (26.08.2014)

Jokelainen, Janne 2005. *Hirsirakenteiden merkitys asema-arkkitehtuurille 1860–1950*. Oulu: Oulun yliopisto.

Jokelainen, Janne 2012. *Hirsiseinän tilkemateriaalien ominaisuudet*. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu.

Kauppinen, Tomi 2009. Ikkunoiden toimivuuteen vaikuttavat tekijät ja ikkunat sisäilman olosuhteiden indikaattoreina. – *Rakennusfysiikka 2009. Seminaarijulkaisu 2*. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, lk 159–170.

Korhonen, Teppo, **Eskelinen**, Jouko 2007. *Suomalainen ikkuna*. Jyväskylä: Gummerus.

Mikkola, Julia, **Böök**, Netta 2011. *Ikkunakirja: Perinteisen puuikkunan kunnostaminen*. Vantaa: Moreeni.

Pilkington Spectrum 2014. <http://spectrum.pilkington.com/Main.aspx?country=FI> (06.02.2014)

RakMK C3, 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma, Ympäristöministeriö.

RakMK C4, 2003. Suomen rakentamismääräyskokoelma, Ympäristöministeriö.

RakMK D3, 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, Ympäristöministeriö.

SFS-EN ISO 10077-1, 2006. Ikkunoiden, ovien ja luukkujen lämpötekniset ominaisuudet. Lämmönläpäisykerroimen laskenta.

Suomen valtionrautatiet 1862–1912, 1916. Helsinki: Helsingin sentraalikirjapaino ja kirjasisitomo Oy.

Valonen, Niilo 1994. Suomen kansanrakennukset: Seurasaaressä ulkomuseon rakennusten pohjalta. Helsinki: Museovirasto.

Valtion rautatiet 1912–1937, 1937. Helsinki: Rautatiehallitus.

The Energy Efficient Renovation of Old Wooden Windows

Abstract

Replacing old wooden windows with new ones is a common way of improving the energy efficiency of the buildings, although there is no general agreement on whether changing windows is a rational step to take. The architectural and the cultural changes, as well as the building waste generated by the removed windows, have been seen as problematic. Nor has a consensus been reached on the amount and significance of the energy savings achieved by such changes.

In this study, the thermal and physical properties of old windows and the effect which different renovation methods have on them were investigated. The renovation methods used in this study were light, and therefore there was no need to work on the wooden parts or to take out the frames.

The energy efficiency of a window consists of its airtightness, heat conductivity and radiance permeability. The large air leakages of the test window were fixable by stuffing and taping, but it was found that the result was unsatisfactory when rubber sealants were used. The U-value of the test window was improved by changing the selective glass in the inner frames. The energy efficiency of the test window improved significantly when the appropriate renovation and replacement work was done. On the other hand, even after the repairs, the energy consumption was still almost twice as high as that of modern windows. Both renovating and replacing the windows are reasonable attempts to decrease energy expenditure, but they are not cost-effective. Culturally and architecturally speaking, replacing windows is a destructive action.

Arriving at an answer to the question of what to do with old wooden windows will depend on one's viewpoint, and we cannot promulgate a single, invariably correct, course of action. As a compromise, it can be recommended to always seal the windows carefully at the beginning of the heating season and to change the selective glass in the inner frames during the renovation.

Keywords: Wooden window, restoration, airtightness, U-value