

Korjaamalla passiivitalostandardiin

Ruut Peuhkuri ja Søren Pedersen
Passiivitalo.fi Oy / Passivhus.dk ApS, Tanska

Tiivistelmä

Tässä artikkelissa käydään läpi esimerkinomaisesti muutaman keskieurooppalaisen korjaushankkeen ratkaisut ja niiden tuomat kokemukset. Pääpaino on kerrostalokohteilla. Tarkoituksena on tuoda kokemusmaailmaa lähemmäksi suomalaista suunnittelijaa sekä inspiroida samalla rakennusten käyttäjiä ja omistajia vaatimaan kauaskantoisia ratkaisuja.

1. Johdanto

Olemassa olevan rakennuskannan parantaminen on yksi ajankohtaisimmista rakennusalan haasteista rakennusten estetiikan ja erityisesti käyttöiän pidentämisen vuoksi. Tällä hetkellä vallitsevan taloudellisen taantumun ja siitä johtuvan uudisrakentamisen nopean hiipumisen takia on rakennusteollisuuden kiinnostus korjausrakentamiseen kasvanut huomattavasti. Suomessa korjausrakentaminen onkin pitkään ollut hyvin vähäistä ja remontteihin käytetyt summat per neliö huomattavasti pienempiä kuin monissa EU-maissa [1].

Rakennusten energiatehokkuutta parannetaan yleensä kaikkien ulkovaipankorjausten yhteydessä. Elinkaarikustannukset sanelevat kuitenkin usein, miten paljon energiatehokkuutta kannattaa parantaa yleiskunnostuksen yhteydessä. Siksi lämmöneristystä lisätään usein kestäväen kehityksen näkökulmasta turhan maltillisesti: nyt tehtävä pienehkö lisäeristys tulee vähentämään suuremman, tulevaisuuden vaatimukset täyttävän eristepaksuuden kannattavuutta.

Suomessa on jo muutamia esimerkkejä kohteista, joissa rakennusten energiatehokkuutta on parannettu huomattavasti. Useimmiten korjausrakentamisen volyyymi Suomessa kuitenkin painottuu putkiremonttiin ja siihen liittyvään saneeraukseen, kun taas Keski-Euroopassa putkiremontin yhteydessä puututaan myös ulkovaippaan ja ilmanvaihdon koneellistamiseen lämmöntalteenoton kera. Vanhoja rakennuksia voidaan kunnostaa siis niin pitkälle, että ne täyttävät matalaenergia- tai jopa passiivitalon kriteerit.

2. Energiasaneerausesimerkkejä

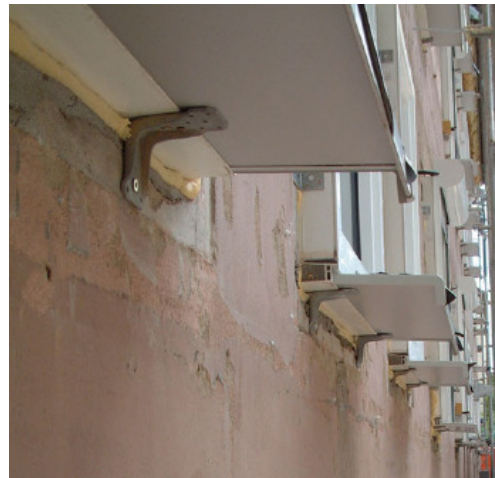
Saksassa ja Itävallassa on käytössä useita ”standardeja”, kun puhutaan vanhojen rakennusten energiasaneerauksista ja siitä, mihin energiansäästöavoitteeseen tähdätään ja/tai on päästy. On 3 ja 4 litran taloja, KfW-40 –taloja sekä niin sanottuja Faktor 10 –taloja. Faktor 10 tarkoittaa esimerkiksi sitä, että rakennusten lämmöntarvetta on vähennetty 90 prosentilla eli kymmenesosaan alkuperäisestä. Passiivitalon kriteerit – lämmitysenergian tarve $< 15 \text{ kWh/m}^2/\text{v}$ –

täyttäviä kohteita on toki rajoitetusti remonttikohteissa, mutta yleensä nämä muutkin energiansäästöavoitteissa pitkälleviedyt kohteet on saneerattu samoilla periaatteilla ja komponenteilla kuin passiivitalonstandardiin pyrkivässä uudisrakennuksessa tulisi tehdä. Mainittakoon vielä, että uudisrakentamisesta ja passiivitalokriteerien tarkasta täyttämisestä poiketen puhutaan keskieurooppalaisen korjausrakentamisen yhteydessä ”passiivitaloista”, jos korjaukseen on käytetty passiivitaloon hyväksytyjä komponentteja ja ratkaisuja ja lämmöntarve jää alle noin 25 kWh/m²/vuosi.

Seuraavassa on esimerkinomaisesti otettu muutamia tyypillisiä kohteita ja niissä käytettyjä ratkaisuja. Näistä saa hyvän kuvan saneerauksen laajuudesta ja yksityiskohtien tärkeydestä niissä asioissa, mitkä ovat tarpeellisia lämmöntarpeen huomattavaksi vähentämiseksi. Esimerkit on valittu sitä silmällä pitäen, että ratkaisut voisivat toimia myös Suomessa. On muistettava, että ilmoitetut laskennalliset ja mitatut ominaislämmöntarpeet sekä kulutukset koskevat lauhempaa ilmastoa kuin Suomessa. Siksi ominaislämmöntarve samoilla ratkaisuilla ja samankokoisessa kohteessa tulee olemaan suhteellisesti korkeampi Suomessa. Kohteiden esittelyn yhteydessä on mainittu projektivastuussa olleita tahoja. Niiden yhteystiedot löytyvät lähdeluettelosta, mikä helpottaa lisätietojen hankkimista.

2.1 Asuinkerrostaloja

Ingolstädter Straße 139/141 Nürnbergissä on tyypillinen 50-luvun kerrostalo, joka saneerattiin vuonna 2004 ”4 litran” taloksi, Kuva 1a. Kohteen tarkoituksena oli havainnollistaa ne lisäkustannukset, jotka oletusten mukaan syntyvät, kun tähdätään suurempaan energiansäästöön kuin saksalaisen normisaneerauksen mukaan. Saksassa energiankulutus ja yksittäiset U-arvot saavat olla korkeintaan 40 prosenttia korkeammat kuin rakennusmääräysten mukaan uudisrakennuksilta vaaditut (EnEV-järjestelmä). Tässä kohteessa lisäkustannus oli reilu 120 €/asuin-m². Korjauskohteen arkkitehtinä toimi Schulze Darup & Partner, joka myös vastasi energiakonseptista [2].



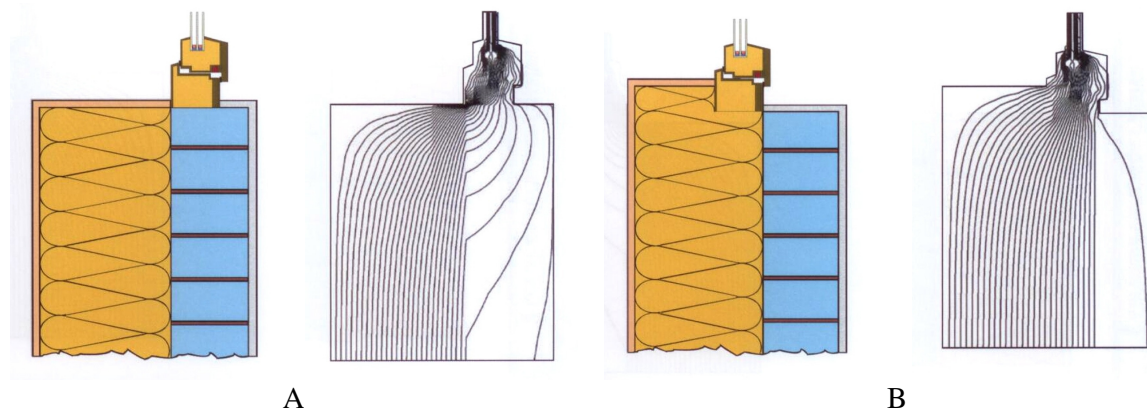
Kuva 1: Ingolstädter Straße 139/141. a) Yleiskuva 3 kerroksisesta, 1951 rakennetusta ja 2004 saneeratusta asuinkerrostalosta Nürnbergissä. b) Uusien ikkunoiden asennusdetalji. [2]

Rakennuksessa on 12 asuntoa ja sen tilavuus on 3321 m³. Ulkoseinät eristettiin eristerappauksella, jossa on 200mm neoporia (”harmaata” EPS:ää), minkä ansiosta ulkoseinän U-arvo on 0,15 W/m²K. Yläpohjassa eristettä on 250mm ja alapohjassa (välipohja kellariin)

200mm. Ulkovaipan alkuperäiset ja uudet lämmönläpäisykertoimet löytyvät Taulukosta 1. Alkuperäinen ja remontin jälkeinen lämmöntarve sekä laskennallisena että mitattuna näkyy Kuva 3:sta. On huomattava suomalaisiin oloihin verrattessa, että monesti saneerattavissa keskieuropalaisissa kohteissa ei ole alun perin käytetty mitään eristeitä ja siten prosentuaalinen säästö on yleensä aina hyvin huomattava.

Uudet energiaikkunat asennettiin vanhan julkisivun ulkopuolelle, jotta ikkuna olisi uuden eristekerroksen tasossa. Ikkunan kiinnityssysteemi ja tulevan eristekerroksen paksuus näkyvät Kuvassa 1b.

Tämä isotermien ”oikistaminen” on yksi rakennusfysiikan lainalaisuuksista lämpövirrantiheyden vähentämiseksi ja siten energiatehokkaan rakentamisen periaatteista, kun ulkovaipan kylmäsiltoja pyritään minimoimaan. Kuva 2 näyttää ikkunan eristekerroksen jatkeeksi sijoittamisen tärkeyden periaatteellisesti: vaihtoehto A:n ikkunan tehollinen U-arvo on $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, kun saman ikkunan asentaminen ilman kylmäsiltaa eli vaihtoehto B:n mukaan antaa teholliseksi U-arvoksi $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

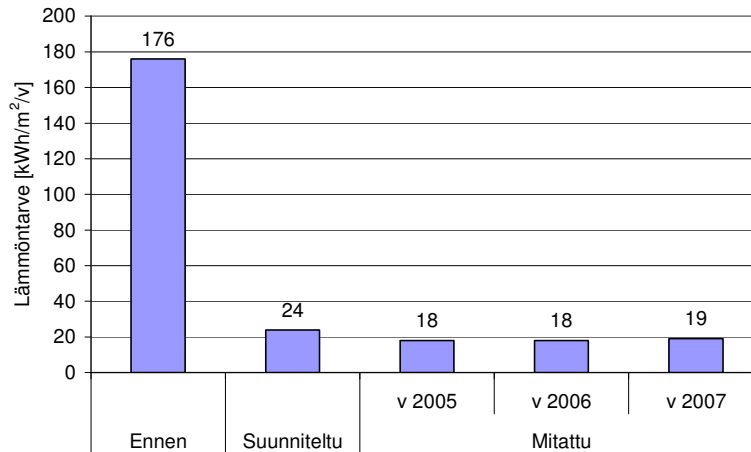


Kuva 2: Ikkunan asennuksen vaikutus kylmäsiltojen suuruuteen. A) Asennus epäoptimaalinen. B) Asennus lämpötekniisesti paljon parempi. Grafiikka lähteestä [13].

Taulukko 1. Ingolstädter Straße 139/141. Rakennuksen lämmönläpäisykertoimet ennen ja remontin jälkeen [2].

Rakenne	U-arvo ($\text{W/m}^2\text{K}$)	
	Ennen	Jälkeen
Ulkoseinä	0,42	0,15
Yläpohja	1,79	0,13
Alapohja	1,15	0,14
Ikkunat	2,8	0,85

Rakennukseen asennettiin koneellinen ilmanvaihto. Ilmanvaihtokone, jonka lämpötilahyötysuhde on 85 prosenttia, sijoitettiin ullakolle. Jokaiseen asuntoon johdettiin ullakolta sekä tulo- että poistoilmapiiput ja tilaa asunnon sisäisille ilmastointipiipuille löytyi eteisen katosta, jota laskettiin. Lämpöenergian tarve laski huomattavasti alkuperäiseen verrattuna ja loppulämpö hankitaan kaukolämpönä sekä katolle asennetuilla aurinkokeräimillä.



Kuva 3: Ingolstädter Straße 139/141. Rakennuksen lämmöntarve [kWh/m²/vuosi] ennen remonttia ja remontin jälkeen [2].

Kuva 4:ssä on esitelty toinen hyvin dokumentoitu kohde, joka on toteutusvaiheessa nyt eli 2008/2009. Rotlintstraße 116-128 on 54 asunnon kerrostalo Frankfurt am Mainissa, rakennettu 1956. Korjauksen pääurakoitsijana toimii 'faktor10' [3] ja tieteellisestä puolesta vastaa IWU Darmstadt [4]. Tilaaja on ABG Frankfurt Holding GmbH [5].



Kuva 4: Rotlintstraße 116-128. a) Ennen saneerausta, rakennettu 1956. b) Malli kohteesta saneerattuna. [6]

Kyseessä on täydellinen saneeraus, jossa asuntoja yhdistellään isommiksi ja rakennuksiin lisätään yksi uusi asuinkerros. Asuntoja tulee olemaan 56 saneerauksen jälkeen ja huoneistoala kasvaa 3150 m²:stä 4028 neliöön. Tässä kohteessa tavoitteena oli luoda ”nolla-emissio-passiivitalo” – eli energiatehokas passiivitalo, jonka vähäinen energiantarve täytetään rypsiöljyllä toimivalla generaattorilla tuotetulla sähköllä sekä ostamalla vihreätä sähköä, jota kompensoidaan syöttötariffin kautta kohteen omalla tuotannolla. Kohteen laajaa energiansäästöstrategiaa on kuvattu Taulukko 2:ssa. Laskettu lämmöntarve on 15 kWh/m²/vuosi. Enemmän tietoa kohteesta löytyy mm. lähteistä [6-7].

Taulukko 2. Rotlintstraße 116-128. Korjausrakan energiatehokkuuden kohdealueita.

Energiansäästökohde	Strategia
Lämmin käyttövesi	desinfiointijärjestelmä kuumennuksen sijaan bakteerien tappamiseksi aurinkokeräimet vettä säästävä saniteetti
Lämminvesiputket	250% enemmän eristettä kuin normien mukaan
Sähkönkulutus	tehokkaat pumput asuntokohtainen stand-by-kytkin pyykinkuivauskaappi
Ilmanvaihto	koneellinen ilmanvaihto joka asunnossa oma LTO
Lämmitys	tuloilman jälkilämmitys energialähteinä rypsiöljygeneraattori huipputehon tarpeeseen kaasupoltin
Ilmanpitävyys	tavoite $n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$

2.2 Toimisto-, koulu- ja liikerakennuksia

Esimerkkejä korjausrakentamisesta passiivitalostandardiin voi löytää myös toimisto-, koulu- ja liikerakennusten puolella. Yksi tyylikkäämmistä esimerkeistä on itävaltalaisen ilmanvaihtokoneiden valmistajan Drexel & Weussin pääkonttori Wolfurtissa, Kuva 5. 30 vuotta vanha teollisuusrakennus, vanha sukatehdas, täyskorjattiin 10 kuukaudessa passiivitalon kriteerit täyttäväksi toimisto- ja tuotantorakennukseksi vuonna 2005. Lämmitettyä tilaa on 2871 netto-m². Korjausprojektin arkkitehtinä toimi Gerhard Zweier, joka on tunnettu useista tyylikkäästä korjauskohteista, joissa myös sisustus on omaa luokkaansa.

Saneerattu rakennus on betonirakenteinen mutta julkisivut ovat kevytrakenteiset. Koska lämmöntarve on hyvin pieni, maksaa koko rakennuksen lämmitys vain noin 1000 €/vuosi. Tämä kattaa lämpöpumpun, tuulettimien ja pumppujen sähkönkulutuksen. Kohteen täyssaneeraus maksoi 409 €/m² eli 1,35 M€. [14]

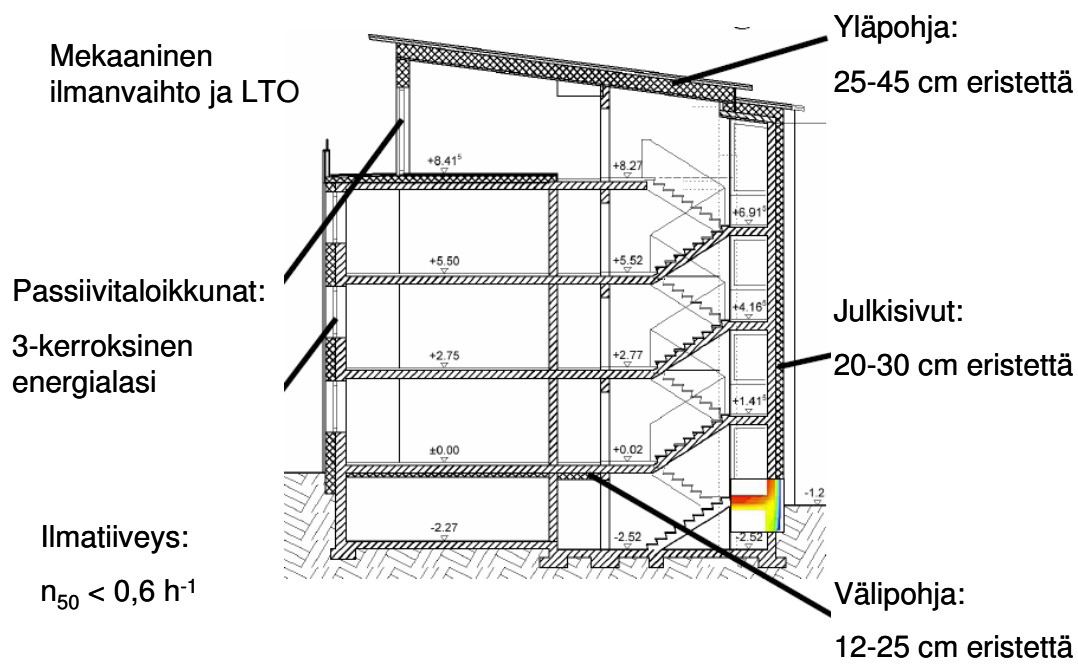


Kuva 5: Drexel & Weussin pääkonttori Wolfurtissa Itävallassa. Ennen ja jälkeen. [15]

2.3 Yleistä pitkälle viedyille energiasaneerauksille

Edellä on hyvin rajoitetusti ja esimerkinomaisesti esitelty konkreettisia keskieurooppalaisia korjauskohteita. Kohteita, joissa energiatehokkuus ja todella alhainen lämmöntarve ovat olleet tavoitteena, on kuitenkin jo paljon. Seuraavassa on tarkoitus antaa pieni yleiskuva niistä tavoitteista ja keinoista, jotka ovat tyypillisiä pitkälle viedyissä energiasaneerauksissa, etenkin asuinkerrostaloissa. Kuva 6 havainnollistaa tätä.

- Energiansäästöavoitteet ovat kunnianhimoiset
 - tavoitteena yleensä säästää noin 90%
- Paljon eristettä ulkoseiniin
 - esim. 200-300 mm neoporia tai vastaavaa
- Paljon eristettä yläpohjaan
 - 250-450 mm
- Paljon eristettä alapohjaan
 - kerrostalokohteissa tämä on yleensä kellarikerroksen yläpohja
 - 120-250 mm
- Huomattava ilmatiiveys
 - saavutetaan huolellisella työllä ja hyvillä tuotteilla
 - tavoitteena $n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$
 - mitattu jopa $n_{50} = 0,35 - 0,48 \text{ h}^{-1}$
- kaikkiin asuntoihin asennetaan koneellinen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla
- uudet huipputehokkaat ikkunat
 - asennus oikeaoppisesti eristekerroksen jatkoksi
- tyhjiöeriste on ratkaisu kohteissa ja detaljeissa, joissa tilaa eristämiseen on rajoitetusti
 - Samaan U-arvon päästää tyhjiöeristeen kanssa noin neljäsosan paksuudella esimerkiksi tavallisesta kivivillasta.



Kuva 6: Energiakorjauksen tyypillinen strategia. Inspiraationa [2]

Koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä ja siis myös lämmöntalteenotto toteutetaan joko keskitettynä ratkaisuna, esimerkiksi per rappu, tai sitten hajautettuna. Keskitetyssä ratkaisussa pitää löytää tilaa putkistolle joko rappukäytävästä tai asunnoista. Hajautetussa systeemissä jokaiseen asuntoon asennetaan oma ilmanvaihtosysteeminsä. Hajautetun systeemin etuna ovat asennuksen helppous ja edullisuus, kun taas keskitetyn ratkaisun etuna ovat tehokkuus ja toimintavarmuus, koska huolto ei ole asukkaan vastuulla. Molempia ratkaisuja käytetään.

3. Energiakorjaushankkeen suunnittelu ja toteutus

3.1 Energia- ja rakennusfysikaaliset laskelmat suunnittelun apuna

Korjauskohteiden – niin kuin uudisrakennustenkin – rakennusfysikaalisen suunnittelun apuna tulee luonnollisesti käyttää erilaisia soveltuvia laskentatyökaluja. Kun pyritään äärimmäisen energiatehokkaaseen lopputulokseen, on sekä jatkuvasti päivitettyillä energialaskelmilla että esimerkiksi 2-3D-mallintamisen avulla tapahtuvalla kylmäsiltojen vähentämisellä suuri rooli suunnittelun edetessä. Vanhoissa rakennuksissa usein massiiviset rakenteiden liitokset aiheuttavat huomattavan kylmäsilan, kun ympärillä olevia rakenteita eristetään. Kylmäsiltojen minimointi on kuitenkin oleellista, jos halutaan päästä passiivitalostandardiin tai edes lähelle. Siksi kylmäsiltojen laskennallinen mallintaminen kuuluu luonnollisena osana suunnitteluprosessiin.

Passiivitalostandardiin pyrittäessä on suotavaa käyttää energialaskennassa PHPP:tä (Passivhaus Projektierungs Paket), koska juuri tällä erittäin matalan lämmöntarpeen rakennuksiin suunnitellulla työkalulla todennetaan laskennallinen energiantarve passiivitalon kriteerien täyttämiseksi sertifiointijärjestelmän mukaan. [8-9].

Ulkopuolinen eristäminen on vanhojen rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden kannalta yleensä se ehdottomasti paras ratkaisu: Kun vanha rakenne eristetään ulkopuolelta, nousee rakenteen lämpötila. Jos samanaikaisesti huolehditaan sisäpinnan ilmanpitävyydestä, laskee vanhan rakenteen kosteuskuormitus useimmissa tapauksissa. Uudentyyppisten ratkaisujen ja rakenteiden kosteusteknisestä toimivuudesta on kuitenkin varmistuttava kosteusteknisin analysein, joihin dynaamiset simulointityökalut, kuten Wufi Pro [10], osaavissa käsissä soveltuvat parhaiten. Dynaamisten laskentatulosten tulkintaan toimivuuden kannalta voidaan lisäksi soveltaa laskennallista homeindeksin määrittystä, josta paljon tarkemmin esimerkiksi toisaalla tässä seminaarissa [11].

Sisäilman viihtyvyyden todentaminen jo suunnittelun aikana vaatii myös laskentaa. Kohteesta ja sen vaativuudesta riippuen otetaan käyttöön joko yksinkertaisemmat taulukkolaskentaan perustuvat työkalut (sisältyy esimerkiksi PHPP:hen) tai tartutaan järeämpiin työkaluihin eli dynaamisiin energiasimulointeihin, kuten IDA [12]. Tehokasta aurinkosuojausta ei tule unohtaa viihtyisän sisäilman takaamiseksi, kun rakennusten lämpöhäviöitä vähennetään ratkaisevasti. Aurinkosuojauksen laatu ja tehokkuus sekä vaikutus sisälämpötilaan kannattaa mitoittaa laskennallisilla työkaluilla, kuten esim PHPP:llä tai IDA:lla.

3.2 Projektin toteutusvaihe

Yksi hyvinsuunnitellun korjaushankkeen suurimmista ongelmista ja haasteista on asukkaille koitua haitta toteutusvaiheen aikana. Tavoitteena on yleensä, että asukkaat voivat jäädä asumaan, koska näiden siirtäminen on sekä hankalaa että kallista. Kokemukset kattavista

energiasaneerausprojekteista ovat osoittaneet tämän mahdolliseksi ja siksi myös ikkunoiden vaihtaminen ja koneellisen ilmanvaihtosysteemin luominen asuttuihin huoneistoihin on mahdollista jopa muutamassa päivässä per huoneisto [2]. Tämä luo todellisia haasteita töiden suunnitteluun, mutta on kaikkien edun mukaista.

Ulkopuolisen lisäeristyksen rakennusfyysisen toimivuuden edut yhdessä asukkaille aiheutuvan pienemmän haitan kanssa puhuvat vahvasti tämän puolesta. Sisäpuolista eristystä tulee käyttää vain kohteissa, joissa ulkopuolinen eristäminen on mahdotonta esimerkiksi rakennuksen historiallisen arvon takia. Sisäpuolinen eristäminen asettaa hyvin tiukat vaatimukset niin suunnittelulle, materiaalien valinnalle kuin toteutuksellekin.

Toteutusvaiheen suurimpia haasteita logistiikan lisäksi on lisäeristetyn ulkovaipan saaminen ilmanpitäväksi. Tässä toteutuksella ja varsinkin sen valvonnalla on suuri rooli. Jos halutaan täyttää passiivitalostandardin vaatimukset, tulee korjatun rakennuksen ilmanpitävyys ja mahdolliset vuotokohdat testata painekokeen avulla ja pyrkiä samaan ilmanpitävyyteen kuin uudisrakennuksissa eli $n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$. Mittaukset eri energiasaneerauskohteista todistavat, että tämä on mahdollista [2].

3.3 Projektien kannattavuus

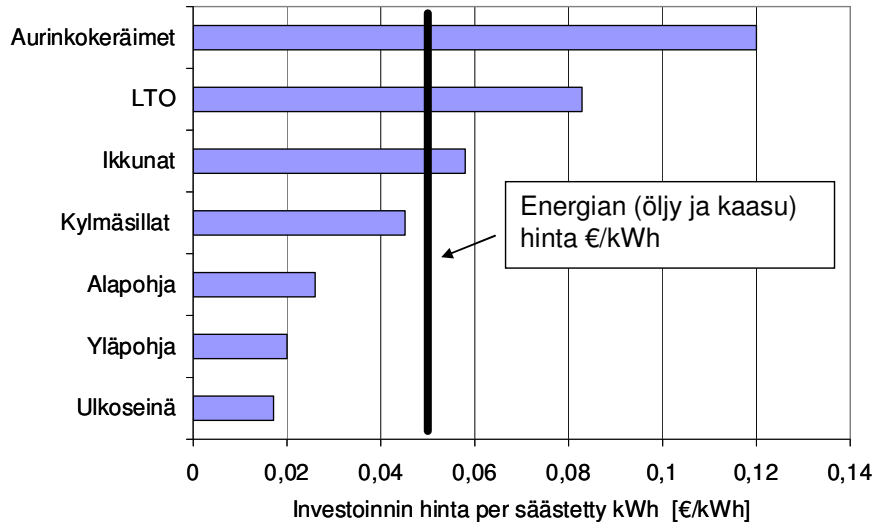
Hankkeiden kannattavuuden arvioiminen riippuu tietenkin monista reunaehdoista. Usein energiasaneerauskohteissa on edessä saneeraus joka tapauksessa, jotta voidaan täyttää nykyajan tarpeet asumisen tai käyttövaatimusten tasolle. Siten lisäkustannus energiatehokkuuden lisäämiseksi standardiratkaisusta esimerkiksi passiivitalostandardiin on vain pienempi osa kustannuksista.

Kustannuksia arvioitaessa tulee myös ottaa huomioon asumisen ja sisäympäristön parempi laatu ja viihtyvyys, kun tarvittava ilmanvaihto voidaan taata mekaanisen ilmastoinnin avulla ja entistä paremmat ikkunat antavat paremman termisen symmetrian ja toimivat myös ääneneristäjinä.

Monille korjausstrategioille ja erityisesti ulkoseinien ulkopuoliselle eristämislle on ominaista, että se eristys, joka nyt laitetaan, on ”esteenä” mahdolliselle tulevaisuudessa tulevalle lisäeristystarpeelle julkisivun kestoajan aikana. Siksi on parempi eristää kerralla kunnolla ja tulevaisuutta ajatellen jokaisen julkisivukorjauksen yhteydessä.

Kuva 7 havainnollistaa suuntaa-antavasti taloudellisesti kannattavimmat energiasaneerauksen kohteet viiden konkreettisen korjauskohteen perusteella. Näissä käytettiin passiivitalokomponentteja. Kannattavuus riippuu tietenkin sekä komponenttien että energian senhetkisestä hinnasta. Komponenttien tehokkuuden kasvu ilman huomattavaa hinnankorotusta ja energianhinnan samanaikainen nousu tekevät kalleimmistakin komponenteista entistä kannattavampia.

Jos tukiohjelmia on käytettävissä, kuten viime vuosina on tilanne esimerkiksi Saksassa ollut, tilanne on vielä parempi.



Kuva 7: Yksittäisten komponenttien hinta verrattuna niiden energiansäästöpotentiaaliin parin vuoden takaisen hintatason mukaan. Inspiraationa [2]. Huom! Käyttöikaoletuksina käytetty: 40v rakenteille, 30v ikkunoille, 25v ilmastoinnille ja 20v aurinkokeräimille. Saksalaiset hinnat.

4. Yhteenveto

Tämän esityksen ensisijaisena tarkoituksena on rohkaista kaikissa tulevaisuissa julkisivi-, putki- ja muissa suuremmissa korjausrakentamisen kohteissa pyrkimään samalla myös mahdollisimman pitkälle rakennuksen energiatehokkuudessa. Nyt tehtävät korjaukset kestävät vuosia ja vuosikymmeniä, ja siksi tulevaisuuden energiatehokkuuden vaatimukset tulisi ottaa mukaan nyt kerralla. Myöhemmin ne maksavat liikaa.

Kokemukset keskieuropalaisesta korjausrakentamisesta osoittavat, että on sekä teknisesti, logistisesti että taloudellisesti mahdollista saneerata vanhojakin rakennuksia niin pitkälle, että ne täyttävät passiivitalojen tiukat energiankäyttökriteerit. Avainstrategiana on huolellisen suunnittelun ja toteutuksen lisäksi: paljon lisäeristettä ulkovaipan ulkopuolelle, uudet energia-ikkunat eristekerroksen jatkeeksi, koko rakennuksen erittäin hyvän ilmanpitävyyden varmistaminen sekä koneellisen ilmanvaihdon ja lämmöntalteenoton asentaminen. Ja kaikki tämä toteutetaan ilman asukkaiden siirtämistä.

Lähtökohdaksi suomalaiselle korjausrakentamiselle meidän paljon kylmemmässä ilmastossamme tulisi olla vähintään Keski-Euroopassa käytetyt ratkaisut, esimerkiksi eristepaksuudet. Uusien ratkaisujen toimivuus tulee aina antaa asiantuntijoiden arvioitavaksi, mutta se ei saa toimia esteenä suomalaisen rakennuskannan energiatehokkuuden roimalle parantamiselle.

Lähdeluettelo

- [1] Pajakkala, P. Korjausrakentamisemme tila kansainvälisessä vertailussa. Esitys AsuntoForumissa 23.3.2009. www.vtt.fi
- [2] Arkkitehtitoimisto Schulze Darup & Partner GmbH www.schulze-darup.de
- [3] Insinööritoimisto faktor10 GmbH www.faktor10.com/

- [4] Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt. www.iwu.de
- [5] ABG Frankfurt Holding GmbH www.abg-fh.de
- [6] Rasch, F., Grenz, P. Der logische Weg – Vom Passivhaus über das „zero-emission-house“ zum Warmmietenmodell. 13. International Passivhaustagung. Frankfurt an Main. 2009. pp. 397-402
- [7] Großklos, M., Hörner, M., Diefenbach, N. Energieeffizient, klimaneutral oder nachhaltig? – Das Null-Emissions-Passivhaus am Beispiel der Rotlintstraße in Frankfurt. 13. International Passivhaustagung. Frankfurt an Main. 2009. pp. 167-172
- [8] Feist, W., Pfluger, R., Kaufmann, B., Schnieders, J., Kah, O. Passivhaus Projektierungs Paket 2007. Passivhaus Institut, Darmstadt
- [9] Pedersen, S. Kokemuksia pohjoismaisista passiivitaloista ja niiden sertifioinnista. Rakennusfysiikka 2007. pp. 247-252
- [10] WUFI (Wärme und Feuchte instationär - Transient Heat and Moisture) 4.1 Pro software, The Fraunhofer Institute for Building Physics IBP.
- [11] Ojanen, T. et. al. Homeen kasvun mallintaminen vaihtelevissa lämpötila- ja kosteusolosuhteissa. Rakennusfysiikka 2009.
- [12] www.equa.fi
- [13] Passivhaus Institut. Darmstadt. www.passiv.de
- [14] Arkkitehtitoimisto Gerhard Zweier, Wolfurt, Itävalta www.zweier.at
- [15] www.drexel-weiss.at