



TEKNIikka JA LIIKENNE

Rakennustekniikka

Korjausrakentamisen YAMK

OPINNÄYTETYÖ
Insinööri (ylempi AMK)

MATALAENERGIARAKENTAMINEN KORJAUSRAKENTAMISESSA

Työn tekijä: Esa Visuri
Työn ohjaaja: Hannu Hakkarainen

Työ hyväksytty: 9.4.2010

Hannu Hakkarainen
yliopettaja

TIIVISTELMÄ

| | |
|--|--|
| Työn tekijä: Esa Visuri | |
| Työn nimi: Matalaenergiarakentaminen korjausrakentamisessa | |
| Päivämäärä: 31.3.2010 | Sivumäärä: 107 s. |
| Koulutusohjelma: Rakennustekniikka | Suuntautumisvaihtoehto: Korjausrakentamisen YAMK |
| Työn ohjaaja: yliopettaja Hannu Hakkarainen | |
| <p>Työssä selvitettiin matalaenergiarakentamista korjausrakentamisessa. Yleisesti ottaen matalaenergiarakentamisella saavutetaan merkittäviä tuloksia ratkaistaessa ilmastonmuutoksen hidastamisen tuomia haasteita. Työn tavoitteena oli tarkastella matalaenergiarakentamisen soveltuvuutta Helsingin kaupungin omistamaan oppilaitoskiinteistöön, johon on tulossa lähivuosina mittava perusparannus. Matalaenergiarakentamista sovellettiin tähän oppilaitosrakennukseen osana perusparannusta, jonka eräänä tavoitteena oli pienentää rakennuksen kokonaisenergiankulutusta merkittävästi.</p> <p>Työssä tarkasteltiin rakennuksen vaipparakenteiden energiatehokkuuden parantamisvaihtoehtoja ja ulkoseinärakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa. Esimerkkirakennuksen vaipparakenteille suunniteltiin energiatehokkuutta parantavia vaihtoehtoisia korjauksia, joilla voidaan parantaa vaipan lämmönvastusta ja ulkoseinärakenteen tuulettumista. Nämä vaihtoehtoiset korjaukset määriteltiin vastaamaan Suomen rakentamismääräyskoelman vuoden 2010 alussa voimaan tulleita uudisrakentamisen määräyksiä sekä Rakennusinsinööriliiton vuonna 2009 julkaiseman Matalaenergiarakentaminen, Asuinrakennukset -ohjeita.</p> <p>Lisäksi työssä tarkasteltiin energiatehokkaiden korjausten sekä matalaenergiakorjausten taloudellisuutta pitkän ajanjakson kuluessa elinkaarikustannus- eli LCC-laskelmilla. Näiden elinkaarikustannuslaskelmien avulla todettiin, miten kannattavia investoinnit olivat rahallisesti, kun energiankulutus ja -kustannukset pienentyvät tulevaisuudessa.</p> <p>Työn tuloksena saatiin selvitys niistä haasteista, jotka tulivat esiin 1960-luvulla rakennetun oppilaitoskiinteistön energiatehokkuuden parantamisen yhteydessä. Edelleen löydettiin erilaisia matalaenergisiä ratkaisumalleja oppilaitoskiinteistön korjaukseen. Laskelmien avulla saatiin tietoa myös siitä, milloin energiatehokkaat korjausratkaisut ovat taloudellisesti kannattavia ja perusteltuja elinkaaritälouden näkökulmasta.</p> | |
| Avainsanat: elinkaarikustannukset, energiatehokkuus, korjausrakentaminen, matalaenergiarakentaminen, LCC -laskelma | |

ABSTRACT

| | |
|---|---|
| Name: Esa Visuri | |
| Title: Low-energy construction in renovation | |
| Date: 31 March 2010 | Number of pages: 107 pages |
| Department: Civil Engineering | Study Programme: Rebuilding Master of Engineering |
| Instructor: Hannu Hakkarainen, Principal Lecturer | |
| <p>The topic of this study is low-energy construction in renovation building. In general, low-energy construction can achieve significant results in solving the challenges of slowing down climate change. The aim of this work was to look at the compatibility of low-energy building in Helsinki city owned school property, which is becoming a major renovation in coming years. Low-energy construction was applied to this school building as part of the renovation, one of whose aims was to reduce the building's total energy consumption significantly.</p> <p>The study examined the improvement of energy efficiency of the structures of the building envelope and the outer wall structures' building physical behaviour. Alternative renovations to improve energy efficiency were designed for the envelope structures of the example buildings, which can improve the mantle heat resistance and ventilation of outer wall structure. These alternative renovations were defined for the valid requirements of the Finnish regulation of building that came into force in early 2010 for new building and Finnish Association of Civil Engineers in 2009 published by Matalaenergiarakentaminen, Asuinrakennukset -guidance.</p> <p>The study also examined the energy-efficient renovations and renovations for low-energy economy over a long period, namely with the life-cycle cost LCC-calculation. In these life-cycle cost calculations, it was found how profitable the investments were in financial terms, when the energy consumption and costs are reduced in the future.</p> <p>The result of this work was an analysis of the challenges that had emerged in the 1960s, in the context of the built school building energy efficiency improvements. Furthermore, a variety of low-energy solutions for school building repairs were found. The calculations also provided information on when the energy-efficient repair solutions are economically viable and justified from the selected economic point of view.</p> | |
| Keywords: energy efficiency, life-cycle costs, LCC-calculation, low-energy construction, renovation | |

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | JOHDANTO | 1 |
| 2 | MATALAENERGIARAKENTAMINEN | 2 |
| 2.1 | Rakennusten energiatalouden käsitteitä | 3 |
| 2.1.1 | <i>Matalaenergiarakennusten energiatehokkuus</i> | 3 |
| 2.1.2 | <i>Energiatodistus</i> | 4 |
| 2.1.3 | <i>Energiatehokkuusluku (ET-luku)</i> | 4 |
| 2.2 | Matalaenergiarakennus | 5 |
| 2.3 | Matalaenergiarakentaminen korjausrakentamisessa | 9 |
| 2.3.1 | <i>Energiakorjausten suunnittelu ja toteutus</i> | 9 |
| 2.3.2 | <i>Lisäeristäminen julkisivuremontin yhteydessä</i> | 13 |
| 2.3.3 | <i>Ikkunoiden uusiminen energiatehokkaisiin ikkunoihin</i> | 18 |
| 2.3.4 | <i>Matalaenergiarakenteiden toimivuus</i> | 20 |
| 2.3.5 | <i>Rakenteiden kosteustekninen toiminta</i> | 26 |
| 2.3.6 | <i>Rakenteiden kosteustekninen suunnittelu</i> | 32 |
| 2.3.7 | <i>Kosteustekninen toiminta muuratuissa lämpöeristetyissä rakoseinissä</i> | 34 |
| 2.3.8 | <i>Kiinteistön energiatehokas käyttö</i> | 36 |
| 2.3.9 | <i>Energiatehokkuuden parantaminen korjausrakentamisessa lähivuosina</i> | 40 |
| 2.4 | Esimerkkirakennus | 42 |
| 2.4.1 | <i>Esimerkkikohteena oleva oppilaitosrakennus</i> | 43 |
| 2.4.2 | <i>Esimerkkirakennuksen alkuperäiset rakenteet</i> | 44 |
| 2.5 | Esimerkkikohteen energiatehokkaan korjauksen ratkaisut | 52 |
| 2.5.1 | <i>Ulkoseinät</i> | 54 |
| 2.5.2 | <i>Yläpohja</i> | 62 |
| 2.5.3 | <i>Ikkunat</i> | 66 |
| 3 | MÄÄRÄYKSET JA OHJEET | 68 |
| 3.1 | Rakennusten energiatehokkuusmääräykset | 68 |
| 4 | ELINKAARITARKASTELOT JA ELINKAARIKUSTANNUKSET | 70 |
| 4.1 | Elinkaarikustannukset | 77 |
| 4.2 | Elinkaarikustannusten laskenta | 80 |
| 2.2.1 | <i>Nykyarvomenetelmä</i> | 84 |
| 2.2.2 | <i>Annuiteettimenetelmä</i> | 87 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 4.3 | Elinkaarikustannukset oppilaitosrakennuksessa | 90 |
| 4.4 | Matalaenergiarakentamisen kustannusvaikutukset | 90 |
| 5 | VAROJEN TARVE KORJAUSRAKENTAMISESSA | 97 |
| 6 | YHTEENVETO | 101 |
| | VIITELUETTELO | 106 |

1 JOHDANTO

On arvioitu, että Suomessa vuotuisesta energiankulutuksesta kolmannes liittyy rakennusten tarpeisiin. Tästä määrästä kolmannes johtuu sähköenergiasta, kaksi kolmannesta taas lämmitysenergiasta. Näin ollen rakennusten energiatehokkuuden lisääminen on merkittävässä asemassa, jotta yleiset energiasäästämisen tavoitteet voitaisiin saavuttaa. Lisäksi hiilidioksidipäästöjen vähentäminen on entistä ajankohtaisempaa. Näihin molempiin asioihin voidaan vaikuttaa tehokkaasti matalaenergiarakentamisella.

Ympäristöministeriön asettamat uudet energiamääräykset tulivat voimaan vuoden 2010 alusta. Nämä määräykset vaikuttavat uudisrakentamisen kautta vuositasolla kuitenkin vain yhteen prosenttiin koko rakennuskannasta. Niinpä on selviö, että energiasäästöjen saavuttaminen ja hiilidioksidipäästöjen vähentäminen edellyttää matalaenergiarakentamisen periaatteiden ja käytänteiden soveltamista nimenomaan vanhempaan rakennuskantaan ja korjausrakentamiseen.

Voimaantulleet uudet energiamääräykset kiristävät lämmöneristysvaatimuksia noin 30 prosenttia verrattuna aikaisempiin määräyksiin. Tulevaisuudessa määräykset kiristynevät edelleen, sillä vuonna 2012 tulevat voimaan jälleen uudet määräykset, jolloin voidaan alkaa puhumaan varsinaisista matalaenergiataloista. Tällöin nyt ehdotetuilla lämmöneristysvaatimuksilla lämmöneristekerros kasvaa jälleen. Vahvat eristekerrokset aiheuttavat jo nyt muutoksia rakenneratkaisuihin, jotka puolestaan aiheuttavat muutoksia rakennetyyppeihin ja kustannuksiin.

Energiansäästäminen johtaa rakennuskustannusten muuttumiseen. Yleensä rakennuksen omistaja haluaa optimoida kustannuksia, ja omistajaa kiinnostaa matalaenergiarakentamisessa eri korjausvaihtoehtojen takaisinmaksuajat. Työssä selvitetään LCC-laskelmilla, onko esimerkkikohteen vaipparakenteiden matalaenergiavaihtoehto taloudellisesti kannattavaa ja millä aikavälillä matalaenergiarakentamisesta syntyvät lisäkustannukset maksavat itsensä takaisin siitä syntyvällä energiansäästöllä.

Millaisia toimenpiteitä ja vaikutuksia täytyy korjaustoimenpiteillä olla, jotta ylipäätään voidaan puhua matalaenergiakorjauksesta? Matalaenergiarakentamisen alueella ongelmana onkin kirjava käsitteistö, joka on kirjavaa sekä

korjaus- että uudisrakentamisessa. Käsiteviidakko on syntynyt niin suunnittelijoiden, rakentajien kuin myös käyttäjien tulkinnoista. Tämän opinnäytetyön eräänä tavoitteena on selkiyttää aihepiirin käsitteistöä.

Työssä paneudutaan konkreettisiin matalaenergiaratkaisuihin julkisrakentamisen kautta. Opinnäytetyön esimerkkikohteena on Helsingin kaupungin omistaman oppilaitoskiinteistön perusparannushankkeen matalaenergiaratkaisujen soveltuvuus ja kannattavuus. Tämän vuoksi tämän opinnäytetyön esimerkkien ja teoriaosuuden näkökulmana ovat oppilaitosrakennukset. Tutkimusaineisto kerätään perusparannuksen hankesuunnitteluvaiheessa olevasta oppilaitosrakennuksesta, joka on rakennettu vuonna 1967. Sen bruttoala on 13 750 m², ja se on suurimpia lämpöenergian kuluttajia koulurakennusten ryhmässä. Oppilaitosrakennusta ei ole peruskorjattu aiemmin ja koulun ympäristöystävällisempi tulevaisuus tuottaa myös kasvatuksellisen näkökulman. Oppilaitosrakennus on rakenteiltaan ja tekniikaltaan lähes alkuperäisessä kunnossa.

Työssä tarkastellaan perusparannuskohteen tämänhetkistä tilannetta energiankulutuksen ja rakennusfysikaalisen toiminnan kannalta. Rakennusfysikaalisessa mielessä matalaenergiakohteiden lämmöneristekerroksen paksuntaminen ei ole ongelmaton: Rakenteen kyky sitoa ja luovuttaa kosteutta muuttuu. Rakenteiden lämmöneristyskyvyn lisäys heikentää niiden kuivumista, mikä voi aiheuttaa kosteus- ja homevaurioita.

Työssä analysoidaan esimerkkirakennuksen energiakulutusta ja eri korjausratkaisujen rakennusfysikaalista toimintaa. Työssä selvitetään, miten taloudellisia eri matalaenergiakorjausvaihtoehtoja (tai energiatehokkaat korjaukset) ovat. Tähän käytetään elinkaarikustannuslaskelmia. Laskelmien ja kuvaajien sekä tietokoneohjelmien avulla selvitetään myös esimerkkikohteen rakennusfysikaalisen toiminnan muuttumista uusilla eristepaksuuksilla ja rakenneratkaisuilla.

2 MATALAENERGIARAKENTAMINEN

Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen on ollut viime vuosina yksi keskeisimpiä tavoitteita ympäristöpäästöjen vähentämiseksi. Uudisrakentamisessa energiatehokkuutta voidaan nopeasti parantaa rakentamismääräyksiä kiristämällä. Lämmöneristys- ja energiankulutusmääräykset kiristyivät-

kin vuoden 2010 alusta noin 30 prosenttia aikaisemmista määräyksistä. Uudisrakentamisen rakentamismääräyksiä kiristämällä voidaan kuitenkin vaikuttaa rakentamisvuonna vain noin yhteen prosenttiin rakennuskannasta. Sen vuoksi energiatehokkuuden parantaminen korjausrakentamisessa on erittäin merkittävä osa rakennuskannan energiankulutuksen vähentämisessä. /1, s. 14./

2.1 Rakennusten energiatalouden käsitteitä

2.1.1 Matalaenergiarakennusten energiatehokkuus

RIL 249-2009 ohjeen /14, s. 28/ mukaisesti rakennukset jaetaan energiatehokkuutensa perusteella matalaenergiataloihin ja passiivitaloihin. Tähän on lisättävä epäselvyyksien välttämiseksi, että jako näihin talotyyppeihin koskee nimenomaan matalaenergiarakennuksia, ei kaikkia rakennuksia.

Energiatehokkuus määritellään käyttäen rakennuksen tilojen lämmityksen ja jäähdytyksen a) nettoenergian ominaistarvetta sekä b) ostoenergian ominaiskulutusta. Seuraavaan taulukkoon on koottu energiatehokkuusluokat RIL 249-2009 ohjeen mukaisesti:

Taulukko 1. Matalaenergiarakennusten energiatehokkuusluokitus

| Tilojen lämmityksen ja jäähdytyksen... | Matalaenergiatalo (M) | Passiivitalo (P) |
|--|--------------------------------|-----------------------------|
| ...nettoenergian ominaistarve | 26 – 50 kWh/(m ² a) | ≤ 25 kWh/(m ² a) |
| ...ostoenergian ominaiskulutus | 26 – 50 kWh/(m ² a) | ≤ 25 kWh/(m ² a) |

Nettoenergian tarpeen raja-arvoilla varmistetaan rakennusvaipan ja ilmanvaihdon alhaiset lämpöhäviöt. Ostoenergian kulutuksen raja-arvot ovat tärkeitä tulevaisuudessa, kun siirrytään rakennuksen primäärienergian sekä päästöjen seurantaan ja rajoittamiseen.

2.1.2 *Energiatodistus*

Rakennuksen energiantarpeesta tehdään energiatodistus. Se vaaditaan, kun haetaan rakennuslupa ja silloin, kun määritellään jo olemassa olevan rakennuksen energiatehokkuutta. Todistuksessa kiinteistölle annetaan energialuokka asteikolla A-G. EU:n rakennusten energiatehokkuutta koskeva direktiivi velvoittaa todistusten käyttämiseen. Direktiivin taustalla on huoli hiilidioksidipäästöistä ja energian tuontiriippuvuudesta. Täten direktiivin tarkoitus on parantaa rakennusten energiatehokkuutta ja vähentää tätä kautta hiilidioksidipäästöjä viidesosalla vuoteen 2020 mennessä EU:n alueella, kun päästöjen määrää verrataan vuoden 1990 määrään. /1, s. 52 - 54./

Uudistuotannossa energiatodistus on vaadittu vuoden 2008 alusta, ja sen allekirjoittaa rakennuksen pääsuunnittelija. Periaatteessa ennen lain voimaantuloa rakennetuista rakennuksista on pitänyt olla energiatodistus vuodesta 2009 alkaen. Toisaalta todistusta ei kuitenkaan vaadita osa-aikakäytössä olevilta vapaa-ajan asunnoilta eikä esim. teollisuusrakennuksilta tai muilta sellaisilta rakennuksilta, joiden käyttötarkoitus vaikeutuisi kohtuuttomasti, jos määräyksiä noudatetaan. Todistus pitää hankkia muista kuin uudistuotantokiinteistöistä silloin, kun rakennus joko vuokrataan tai myydään. /1, s. 53./

Jos energiatodistus on annettu rakennusluvan yhteydessä yli kuuden asunnon asuinrakennukselle tai rakennusryhmälle tai pääosin liike- tai palvelurakennukselle, se on voimassa neljä vuotta. Jos lupa koskee maksimissaan kuutta asuinrakennusta tai rakennusryhmää, todistus on voimassa kymmenen vuotta. Erilliset energiatodistukset sekä energiakatselmuksen yhteydessä annetut todistukset ovat nekin voimassa kymmenen vuotta. Isännöintitodistuksen liitteenä oleva energiatodistus päivitetään vuosittain aina edellisen vuoden energiankulutuksen mukaan. Niinpä sen voimassaoloaika on yksi vuosi. /1, s. 53./

2.1.3 *Energiatehokkuusluku (ET-luku)*

Matalaenergiarakennuksista puhuttaessa käytetään myös energiatodistusoppaan mukaista energiatehokkuuslukua eli ET-lukua. Tämä luku sisältää lämpöenergiankulutuksen ja kiinteistösähkön kulutuksen. Jäähdytysenergiamäärä lasketaan myös, mikäli rakennus on varustettu jäähdytysjärjestelmällä. Pientalojen ET-lukuun sisältyy myös taloussähkö. ET-luku saadaan, kun rakennuksen tarvitsema vuotuinen kokonaisenergiamäärä jaetaan ra-

kennuksen bruttopinta-alalla, josta on vähennetty pois kylmien tilojen pinta-ala. /14, s. 31./

Energiatehokkuusluvun luokitteluasteikkoja on yhteensä seitsemän, jotka on jaoteltu ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen energiatodistuksesta N:o 765/2007 rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan seuraavasti: pienet asuinrakennukset, suuret asuinrakennukset, toimistorakennukset, liikera-
kennukset, opetusrakennukset, päiväkodit, terveydenhoitorakennukset, ko-
koontumisrakennukset, uimahallit ja muut rakennukset. Seuraavassa taulu-
kossa on opetusrakennusten energiatehokkuusluvun luokitteluasteikko.

Taulukko 2. Opetusrakennusten energiatehokkuusluvun luokitteluasteikko.

| Energiatehokkuusluokka ET-luokka | Energiatehokkuusluku ET-luku, kWh/brm ² /vuosi |
|--|---|
| A | $ET \leq 120$ |
| B | $121 \leq ET \leq 150$ |
| C | $151 \leq ET \leq 190$ |
| D | $191 \leq ET \leq 230$ |
| E | $231 \leq ET \leq 300$ |
| F | $301 \leq ET \leq 400$ |
| G | $ET \geq 401$ |

2.2 Matalaenergiarakennus

Rakennusten energiatalouden optimointi

Suomen vuosittaisesta energiakulutuksesta syntyy kolmannes rakennusten tarpeista. Tästä määrästä puolestaan kaksi kolmannelle muodostuu lämmitys- ja kolmannes sähköenergiasta. On kuitenkin mahdollista vähentää rakennusten energiankulutusta ja samalla myös parantaa sisäilmastoa. Tähän - samoin kuin esimerkiksi hiilidioksidipäästöjen vähentämiseenkin - tarjoaa matalaenergiarakentaminen hyvän mahdollisuuden. /10, s. 6./

Kun rakennus- ja talotekninen osaaminen sovitetaan yhteen tavoitteena energiatalouden optimointi, tuloksena voi olla hyvin toimiva elinkaariedullinen rakentaminen. Rakennusten energiatalouden optimoinnilla voidaan vähentää rajusti rakennuksen energiakustannuksia: matalaenergiateknologiaa käyttämällä voidaan esimerkiksi talon lämpöhäviöitä pienentää alle puoleen nykytasosta. Tämän seurauksena ilmaiset lämpökuormat (esim. valaistus, auringonsäteily) voivat lämmittää taloa jopa yhdeksän kuukautta vuodesta. Uudella matalaenergiateknologialla onkin pienennetty 1990-luvulla rakennettujen koetalojen energiakulutusta jopa kolmannekseen (ilmaisilla lämpökuormilla matalaenergiatalo lämpiää 70 - 80 prosenttisesti). /10, s. 1./

Matalaenergiatalon lämmityksen tehontarve on talvella keskimäärin noin 5 W/m². Tehontarve kovimmillakin pakkasilla on vain 15 – 25 W/m². Ilmanvaihtojärjestelmä on tällöin keskeisessä roolissa: siinä käytetään tehokasta poistoilman talteenottoa, jonka hyötysuhde on 50 - 70 %, ja se myös riittää jakamaan tarvittavan lämmön huoneisiin. /10, s. 1./

Matalaenergiarakentamiseen kuuluu myös se, että talossa on hyvä lämmöneristys (vaipparakenteiden U-arvot 0,10 – 0,15 W/m²K) ja että sisäpuolella on riittävästi lämpöä ja viileyttä varaavia rakenteita. Hyvä lämmöneristys estää lisäksi hellettä tunkeutumasta sisälle rakenteiden läpi vähentäen jäädytystarvetta. /10, s. 1 - 2./

Niinpä rakenteiden massaa voidaan käyttää hyväksi matalaenergiarakentamisessa, ja rakenteiden massivisuudella onkin ratkaiseva merkitys lämpökuormien hyödyntämisen tehokkuuteen.

Raskaita rakenteita voidaan käyttää sisäilman viilentämiseen niin, että kesällä se viilenee jopa 4 °C eikä koneellista jäädytystä tarvita. Seurantamittausten mukaan matalaenergiataloissa ei olekaan kesäisin ylikuumenemista. Energiatehokkaassa rakennuksessa on tärkeä olla hallittu ilmanvaihtojärjestelmä, joka on varustettu poistoilman lämmöntalteenotolla. Kesällä ilmanvaihto siirtää sitten rakennuksen ylikuumenemista mukana ulos. Öisin ilmanvaihto tuo puolestaan ulkoilmaa sisälle ja jäädyttää samalla rakenteita, mikä taas hidastaa päiväsisälämpötilojen nousua. Toisaalta poistoilman lämmöntalteenottolaitteella voidaan jäädyttää lämmintä tuloilmaa tarvittaessa. /10, s. 1 -2, 4./

Matalaenergiatalossa sisälämpötilan nosto tai lasku ei juurikaan vaikuta energiakustannuksiin; lämpötila myös voidaan valita yksilöllisesti. Sen sijaan nykytavoin rakennetussa normipientalossa voidaan säästää jopa 300 – 400 euroa vuodessa sillä, että pidetään asumismukavuuden kannalta liian pientä lämpötilaa. Samalla kuitenkin lämmitykseen kulutetaan monin verroin enemmän rahaa kuin mitä sitä kuluisi matalaenergiavaihtoehdossa. /10, s. 2 - 3./

Asumisviihtyisyyttä lisää myös vedon tunteen vähentäminen, jota saadaan aikaan rakentamalla hyvin lämpöä ja tuulta pitävä rakennusvaippa sekä käyttämällä energiatehokkaita ikkunoita, joiden sisäpinnat pysyvät lämpiminä. Energiatehokkaassa rakennuksessa ikkunoissa eikä myöskään sisäilmassa ja rakenteissa ole juurikaan lämpötilaeroja, joten sisätiloissa lämpötila on tasainen ja vedoton. /10, s. 2, 4./

Normitaloissa käytettävissä rakenteissa sen sijaan esiintyy kylmäsiltoja ja ilmavuotoja, jotka aiheuttavat epäviihtyisyyttä ja kosteusongelmia. Matalaenergiaratkaisuihin näitä pyritään estämään huolellisella rakentamisella sekä hyvällä detaljisuunnittelulla. Kun rakennusvaipan ilmanpitävyyttä kuvaava n_{50} -luku on alle 1,0 1/h, niin esimerkiksi rakennuspaikan tuulisuudella tai mikroilmastolla ei ole mitään vaikutusta sisäilmaoloihin eikä energiankulutukseenkaan. /10, s. 2./

Yleistäen voidaan sanoa, että energiatehokkuuden optimaalisessa toteutuksessa kiinnitetään siis huomio rakennuksen lämmityksen ja jäähdytyksen tehontarpeen minimoimiseen siten, että ilmanvaihdossa voidaan käyttää sekä lämmön- että kylmän talteenottoa. Lisäksi erityistä huomiota kiinnitetään rakenteellisiin ratkaisuihin (ikkunat, aurinkosuojaus, sisäisten lämpökuormien torjuminen ja hyödyntäminen, vaipan lämmöneristävyys ja ilmanpitävyys). Myös tilasuunnittelua ja massoittelua täytyy suunnitella energiatehokkuuden näkökulmasta. /10, s. 2, 6./

Rakennusten energiakulutustasot voidaan luokitella RIL 249-2009 mukaisesti niin, että luokat ovat talotyyppejen mukaisesti

- 1) Normitalo 2010
- 2) Matalaenergiatalo
- 3) Passiivitalo
- 4) Nollaenergiatalo
- 5) Plusenergiatalo.

Taulukko 3. Kerros- ja pientalon ohjeellisia kiinteistön primäärienergiantarpeen ominaisarvoja ja tilojen tehontarpeen ominaisarvoja eri luokituksissa /14, s. 33/.

| RAKENNUSTYYPPI | Kiinteistön primäärienergian ominaiskulutus kWh/(m ² a) | Tilojen lämmityksen tehontarpeen ominaisarvoja W/m ² | |
|-------------------|--|---|------------------------------|
| | | Tavallinen talvikäyttö | Mitoitustilanteen huipputeho |
| Normitalo 2010 | | | |
| -kerrostalo | - | 35 | 50 |
| -pientalo | - | 35 | 50 |
| Matalaenergiatalo | | | |
| -kerrostalo | <180 | 15 – 20 | 30 |
| -pientalo | <180 | 20 – 30 | 40 |
| Passiivitalo | | | |
| -kerrostalo | <135 | 10 – 15 | 20 |
| -pientalo | <140 | 10 – 20 | 25 |
| Nollaenergiatalo | | | |
| -kerrostalo | 0 | - | - |
| -pientalo | 0 | - | - |
| Plusenergiatalo | | | |
| -kerrostalo | Kiinteistö myy energiaa | - | - |
| -pientalo | | - | - |

Talotekniikka

Laineen /10/ mukaan talotekniikkaa voidaan yksinkertaistaa (laitekoot ja niiden tilatarpeet pienenevät) silloin, kun tilojen lämmittämiseen tarvittavan lämmitysenergian kulutus saadaan alle puoleen normitalon 2000 tasosta. Energiansäästöä saadaan aikaan ja samalla rakennusten elinkaaren laatua parannetaan, kun käytetään yksinkertaistettua järjestelmätekniikkaa ja tutkituja laatutuotteita. Näihin parannuksiin päästään myös niin, että rakennetaan ja suunnitellaan nykykäytäntöä huolellisemmin. Tästä seurauksena on myös rakennuskustannusten kontrolloitavuus sekä elinkaarikustannuksien aleneminen.

Energiataloudellinen rakenne- ja talotekninen yhteensovittaminen on kannattavaa: lämmitys- ja jäähdytystarpeet on mahdollista saada matala- ja minienergiataloissa niin pieniksi, että talot voidaan lämmittää ja jäähdyttää ilmanvaihdolla hyvinkin taloudellisesti. Lämpöpatterit ikkunoiden alla käyvät siten tarpeettomiksi toisin kuin normitaloissa 2000 ja 2003. /10, s. 3./

Kun lämmöntarve pienenee, rakennuksen lämmityskausi pienenee selvästi. Tällöin auringonsäteily ja sisäiset lämmönlähteet (kotitalouskoneet, valais-

tus) riittävät lämmittämään rakennuksen. Jos hyödynnetään rakenteiden massaa, matalaenergiataloissa lämmityskausi voi kestää vain joulukuusta helmi-maaliskuun vaihteeseen. /10, s. 3 - 4./

Energiatehokkaissa koerakentamiskohteissa ovat lisäkustannukset olleet luokkaa 25 - 75 €/m². Toisaalta lämmityskulut ovat olleet vain murto-osan siitä, mitä ne ovat olleet esim. 2003 rakennetussa normitalossa. Samalla myös elinkaarikustannukset alenevat. Niinpä energian hinnanheilahdukset eivät vaikuta energiatehokkaasti rakennettuihin taloihin samalla tapaa kuin normitaloihin. Laineen /10/ mielestä hyvin suunniteltu matalaenergiatalo voidaan rakentaa samaan hintaan tai jopa halvemmin kuin vuoden 2003 normitalo. Etuna voidaan pitää vielä myös sitä, että matalaenergiataloissa saadaan yhtäaikaan laadukas sisäilmasto ilmaiseksi.

Rakennusten energiataloudellinen optimi löydetään siten, että tehdään suuria energiatehokkuuden parannuksia. Niillä voidaan vähentää olennaisesti rakennusten elinkaarikustannuksia. Jos tehdään vain pieniä energiatehokkuuteen tähtääviä parannuksia, ne päinvastoin vain lisäävät elinkaarikustannuksia. /10, s. 6./

2.3 Matalaenergiarakentaminen korjausrakentamisessa

2.3.1 Energiakorjausten suunnittelu ja toteutus

Energiakorjaus ei ole erillään rakennuksen muusta korjauksesta ja pitemmän aikavälin ylläpidon suunnittelusta: se on osa suurempaa peruskorjausta tai parannuskokonaisuutta. Kun kiinteistön korjauskonseptia aletaan määrittellä, lähtökohtina ovat korjattava rakennus, sen ominaisuudet sekä tavoitetilä. Konseptin määrittelyyn vaikuttavat myös monet viranomaiset. Korjaushankkeeseen vaikuttavat myös rakennuksen rakentamisajankohta, käytetyt rakenne- ja laitetekniset järjestelmät sekä rakennuskulttuuriset arvot. /14. s. 197, 199./

Energiakorjauksen ensimmäisessä vaiheessa tehdään kuntotarkastukset rakennuksen rakenteille ja talotekniikalle. Tarkastusten perusteella suunnittelija valitsee yhdessä tilaajan kanssa tarkoitukseen sopivia konsepteja. Tilaaja päättää sitten, mitä toimenpiteitä tehdään ja mitkä konseptit lopulta valitaan käyttöön. /14. s. 197./

Energiakorjauksen hankesuunnittelussa käytetään ympäristöministeriön energiatehokkuusluokittelua ja menetellään seuraavasti:

1. Todetaan energiatodistuksesta rakennuksen lähtötilanteen mukainen energiatehokkuusluokka.
2. Todetaan rakennuksen tilojen lämmitysenergian kulutus. Tässä yhteydessä myös määritellään energiatehokkuus ympäristöministeriön laskentaohjeen mukaisesti.
3. Lasketaan rakennusvaipan ja sen osien U-arvot.
4. Asetetaan rakennuksen energiatehokkuuden ja vaihtoehtoisten tilojen lämmityksen energiatarpeen energialuokat. Tällöin käytetään yleensä ympäristöministeriön yleisen energiatehokkuusluokittelun mukaisia tavoiteluokkia. Matalaenergia- ja passiivitaloluokat A+ ja A++ otetaan mukaan vertailuun, jos nähdään, että niiden toteuttaminen on taloudellisesti mahdollista. Ne otetaan mukaan vertailuun myös silloin, kun halutaan erityisen hyvää energiatehokkuutta jostain muusta syystä (esim. rakennuksen arvon korottaminen).
5. Määritellään likimääräiset toimenpiteet, jotta saavutettaisiin asetetut vaihtoehtoiset energiatehokkuusluokat. Tällöin määritellään rakennusvaipan ja ilmanvaihdon korjaustoimenpiteet sekä niitä vastaavat energiatehokkuuden tavoitearvot. Lisäksi määritellään myös lämpimän käyttöveden kulutuksen ja tuottoenergian säästötoimenpiteet sekä niiden energiatehokkuuden tavoitearvot.
6. Arvioidaan pääpiirteittäin eri vaihtoehtojen kustannukset ja säästöt.
7. Lasketaan eri vaihtoehtojen taloudellinen kannattavuus.
8. Arvioidaan eri vaihtoehtojen vaikutukset luonnontalouteen (erityisesti hiilidioksidipäästöt) niin, että arvioinnissa käytetään todennäköisen energiamuodon päästöarvoja.
9. Arvioidaan korjausten muut vaikutukset kiinteistöön ja asumismukavuuteen.
10. Valitaan edullisin korjausvaihtoehto siten, että otetaan huomioon lämmitysenergian tarve ja rakennuksen ET-luokka. /14. s. 197 - 199./

Energiakorjaukselle laaditaan myös tavoitteet. Tavoitteeksi voidaan asettaa tietty kiinteistön energiankulutustaso. Toisaalta voidaan lähteä hakemaan elinkaaritalouden ja päästöjen suhteen optimitasoa. Kun tavoitetta asetetaan, otetaan huomioon lähtötilanne sekä käytettävissä olevat keinot, joiden tulisi olla sekä taloudellisia että tarkoituksenmukaisia. /14, s. 199./

Energiakorjauksen suunnittelu

Ennen energiakorjauksen suunnitteluvaihetta tehdään hankesuunnitelma. Hankesuunnittelun merkitys korostuu siksi, että silloin lyödään lukkoon suuri osa peruskorjaushankkeen tulevista kustannuksista. Samoin ennen suunnitteluvaihetta määritetään se, kuka johtaa toteutussuunnittelun sekä urakalaskennan. Tavallisesti peruskorjaushankkeen suunnittelussa ovat mukana pääsuunnittelija, arkkitehti sekä rakenne- ja talotekniset suunnittelijat. Hankkeeseen kannattaa kiinnittää projektinvetäjä, joka on tavallisimmin rakennuttajakonsultti tai kokenut suunnittelija. Suunnitteluvaiheessa laadittavat asiakirjat ovat yksityiskohtaisia toteutussuunnitelmia laskelmina, piirustuksina ja työsuunnitelmoina hankesuunnitelman pohjalta. /14, s. 201./

Energiakorjauksen suunnittelussa voidaan ottaa tiettyjä moduuleja, joilla voidaan vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuuteen. Nämä moduulit ovat rakenteita (ulkoseinät, ikkunat, aurinkosuojat, ulko-ovet) ja taloteknisiä (esim. ilmanvaihdon ja lämmön talteenoton järjestelmä sekä rakennuksen sisäisen lämmönsiirron ja -jaon laitteet). /14, s. 201 - 202./

Kun tarkastellaan kerrostalojen energiakorjausta, ylä- ja alapohjat ovat koko rakennuksen energiatalouden kannalta vähämerkityksisiä. Ne ovat kuitenkin tärkeitä, kun pyritään hallitsemaan ylimmän ja alimman kerroksen lämpötilaa. Pientaloissa myös yläpohja kuuluu niiden energiatehokkuuden avainmoduuleihin. Yksinään alapohjan eristäminen on kuitenkin kallista ja se tehdäänkin yleensä silloin, kun jokin muu syy pakottaa alapohjarakenteen uusimiseen. /14, s. 202./

Energiatehokkuutta lisätään rakennemuodulle siten, että rajoitetaan kosteus- ja lämpövuotoja, jotka aiheutuvat lämmönjohtumisesta ja ilmavuodoista. Koko energiakorjauksessa kohotetaan sisäilman ja sisäolosuhteiden laatua ja energiatehokkuutta parhaiten, kun ilmanvaihto muutetaan sellaiseksi koneelliseksi tulo- ja poistoilmajärjestelmäksi, että lämpö voidaan ottaa talteen. Niiden laatua voidaan parantaa taloteknisesti minimitoimenpiteenä siten, että turvataan riittävä ilmanvaihto, sekä ilmanvaihdon säätämällä. Lisäksi huolehditaan sisätilojen lämpötilan säätö halutulle vaihtelualueelle. /14, s. 202./

Vaijparakenteiden energiakorjaus

Kun rakennusta energiakorjataan, tärkeimmät korjattavat kohteet ovat ulkoseinät, ikkunat ja ovet. Kun vaippaa perusparannetaan, on yleensä taloudellisesti kannattavaa tehdä energiakorjaustoimenpiteitä seuraavasti:

1. Vaihdetaan ikkunat energiatehokkaiksi. Tällöin valitaan ikkunoita, joiden U-arvo on yleensä 0,8 – 1,0. Tiivistämisellä pienennetään ilmavuotoja sekä parannetaan ilmanvaihtoa. Tuloilmaikkunat voivat toimia myös korvausilmakanavina.
2. Lisäeristetään vanhat ulkoseinät ulkopuolelta. Lisäeristyksen tarve riippuu tavoitteesta ja lähtötilanteesta, ja sen toteuttaminen on ulkoseinien korjauksen yhteydessä yleensä taloudellista ja helppoa. Lisäeristyksellä pysäytetään vanhan rakenteen vaurioituminen, tosin pahoin vaurioituneet ulkoverhoukset tavallisesti puretaan. Samalla eristeet uusitaan energiatehokkaammiksi. Lisäeristys vaikuttaa myös rakennuksen arkkitehtuuriin sekä detaljeihin (esim. räystäät), joten tarvitaan myös uudelleensuunnittelua. Pitää muistaa myös uusien materiaalien palomääräykset sekä se, että kun eristys parantuu, rakenteen kylmäsiltojen merkitys lisääntyy sekä ulkokuoren jäätymis- ja sulamissykliä määrä kasvavat.
3. Lisäeristetään yläpohja. Vesikatteen alla oleva ullakotila tekee lisäeristämisen suhteellisen helpoksi ja mahdolliseksi. Vain erikoistapauksissa lisäeristetään myös alapohja. /14. s. 206 - 207./

Kun ulkoseinärakenteille tehdään energiakorjaus peruskorjauksen yhteydessä, lisäkustannukset jäävät kohtalaisen pieniksi, jos otetaan huomioon säävutettava energiasäästö. Ikkunat täytyy uusida 30 - 40 vuoden välein, joten niiden energiatehokkuuden huomattava parantaminen on erittäin kannattavaa taloudellisesti. /14. s. 207./

Jotta koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä ja lämmön talteenotto toimisivat hyvin, rakennusvaipan pitää olla riittävän tiivis. Niinpä kun parannetaan rakennusvaipan ilmatiiviyttä, parannetaan samalla myös ilmanvaihtojärjestelmän toimivuutta. Tämä taas on edellytyksenä sille, että korjattu ulkoseinärakenne toimii oikein, kun huomioidaan rakennusfysikaaliset ja asumisterveyteen liittyvät seikat. /14. s. 208./

2.3.2 Lisäeristäminen julkisivuremontin yhteydessä

Tällä vuosikymmenellä peruskorjattavat asuinkerrostalot ovat pääosin 1960 - 1980-luvuilla rakennettuja betonielementtitaloja. Niiden rakenne sekä korjaustarpeet ja -menetelmät ovat hyvin samanlaisia. Tämä auttaa suunnittelijoita ja korjausten tekijöitä kehittämään hyvin hallittuja ratkaisuja ja parantamaan niitä saatujen kokemusten perusteella. Taulukossa 4 ovat betoniulkoseinien yleisimmät energiakorjausmenetelmät. /14, s. 210 - 211./

Taulukko 4. Betoniulkoseinien energiakorjausmenetelmiä.

| Lähtötilanne | Korjausperiaate | Korjausmenetelmä | Huomautuksia |
|--------------------------------|---|---|---|
| Ulkoseinässä vakavia vaurioita | 1. Vanhan ulko-kuoren päälle tehtävä uusi seinärakenne ilman tuuletusta | 1.1 Eristerappaus, lämmöneristeenä mineraalivilla | Pitkäaikaiset kokemukset. Vaativat toimiakseen yksityiskohtien tarkkaa suunnittelua. Mahdollistavat lämmöneristyskyvyn oleellisen lisäämisen. |
| | | 1.2 Eristerappaus, lämmöneristeenä EPS-solumuovilevy | |
| Ulkoseinässä vakavia vaurioita | 2. Vanhan ulko-kuoren päälle tehtävä uusi seinärakenne tuuletuksella varustettuna | 2.1 Lisälämmöneristys + uusi verhouksementti- tai polymeeripohjaisella levytyksellä | |
| | | 2.2 Lisälämmöneristys + uusi verhousteräs-, alumiini-, tms. metallikasetilla tai -levyllä, keraamisilla laatoilla tai lasilla | Soveltuvuus selvitetävää huolella |
| | | 2.3 Lisälämmöneristys + ohutbetonilevy tai keraaminen kuorilevy | -mahdollistavat eristyskyvyn oleellisen lisäämisen |
| | | 2.4 Lisälämmöneristys + tiili-verhoukset | -mahdollisuuksia erittäin paljon |
| | | 2.5 Lisäeristetyt puuseinät joko elementteinä tai paikalla rakentaen | -mahdollistavat oleellisen lämmöneristävyyden lisäämisen -uusittavuus hyvä -toimivuuden varmistaminen vaatii yksityiskohtien tarkkaa suunnittelua |

Julkisivueristeiden vertailu

Seuraavaan taulukkoon (taulukko 5) on koottu eri vaihtoehtoja julkisivueristeistä ja niiden eristepaksuuksia neljälle eri U-arvolle sekä muita eristeiden ominaisuuksista.

Taulukko 5. Julkisivuelementeissä käytettävien lämmöneristeiden vertailu. /21. s. 9./

| | Mineraalivilla | Polystyreeni (EPS, XPS) | Polyuretaani |
|--|--|---|--|
| Lämmönjohtavuus, λ [W/(mK)] | 0,036 – 0,040 | 0,036 0,030 Grafiittieristeillä | 0,023 |
| Eristepaksuus [mm] U-arvolle 0,17 W/m ² K | 240 (λ 0,036) | 180 (λ 0,029-0,031) | 150 (λ 0,023-0,024) |
| Eristepaksuus [mm] U-arvolle 0,14 W/m ² K | 300 (λ 0,036) | 220 (λ 0,029-0,031) | 180 (λ 0,023-0,024) |
| Eristepaksuus [mm] U-arvolle 0,12 W/m ² K | 350 (λ 0,036) | 250 (λ 0,029-0,031) | 210 (λ 0,023-0,024) |
| Eristepaksuus [mm] U-arvolle 0,10 W/m ² K | 450 (λ 0,036) | 300 (λ 0,029-0,031) | 250 (λ 0,023-0,024) |
| Edut | <ul style="list-style-type: none"> • Hinta • Palonkestävyys • Ääneneristys • Ominaisuuksien säilyminen | <ul style="list-style-type: none"> • Hyvä hintalaatusuhde • Jäykkyys • Keveys • Kosteuden-sieto työma-oloissa | <ul style="list-style-type: none"> • Hyvä hintalaatusuhde • Jäykkyys • Keveys • Kosteuden-sieto työma-oloissa • Tiiviys hel- poiten saavutet- tavissa |
| Haitat | <ul style="list-style-type: none"> • Ei pärjää eristä- vyydessä koville eristeille • Työnaikaiset kosteusriskit • Kokoonpuristu- vuus | <ul style="list-style-type: none"> • Palonkesto ja ääneneristys villaa hekom- pia • Kutistuminen uusilla tuoteil- la (vaatii van- hentamisen ennen käyt- töönottoa) | <ul style="list-style-type: none"> • Korkea hinta • Vaatii villasta tehtyjä palo- katkoja jul- kisivuissa • Diffuusiotiivis pinta |

Ulkoseinän verhoaminen päälle tehtävällä tuulettamattomalla rakenteella

Vanha ulkoseinä voidaan joskus verhota niin, ettei uutta verhousta tuuleteta takapinnasta. Tällöin uuden rakenteen vesihöyrynläpäisevyyden täytyy olla niin suuri, että rakenteen alkukosteus pääsee poistumaan. Tällöin rakenteeseen ei pääse kondensoitumaan haitallisessa määrin kosteutta, joka tulee diffuusion vaikutuksesta sisätiloista silloin, kun vanhassa rakenteessa on kosteutta läpäiseviä rakenteita. Käytännössä tällainen tuulettumaton rakenne on mahdollista tehdä vain eristerappauksia käyttämällä, ja ne tulevatkin lisääntymään energiakorjauksessa. /14, s. 212./

Uuden verhousrakenteen alle jää vanha ulkoseinä, jonka kuoren kiinnitys täytyy usein varmistaa lisäpulttauksella. Kun tämä on tehty, vanhan ulkoseinän päälle voidaan asentaa lisälämmöneristys. Kun tähdätään hyvään energiatehokkuuteen, lisälämmöneristysten paksuus on 100 - 150 mm. Lämmöneristeenä käytetään mineraalivillaa tai EPS-solumuovilevyä. EPS-levytyksen yhteydessä käytetään kuitenkin myös mineraalivillaa aukotusten yhteydessä muun muassa paloturvallisuussyistä. Eristyksen päälle asennetaan verkko, jonka varaan levitetään sitten ohutrappaus tai paksu kolmikerosrappaus. Tällöin käytetään metalliverkkoa sekä metallisia kannakkeita ja kalkkisementtilaasteja /14, s. 212 - 213./

Tällä tavoin vanhan ulkoseinän päälle asennettu lämmöneristys nostaa vanhan ulkoseinän lämpötilaa. Samalla se myös kuivattaa vanhaa betonikuorta niin paljon, että raudoituksen ruostuminen pysähtyy. Jotta tähän päästäisiin, suunnittelun täytyy olla huolellista. Jos esimerkiksi vuotovesiä pääsee lisälämmöneristeen takana olevaan vanhaan ulkoseinään, siinä korroosiolepotilassa olevien raudoitteiden ruostuminen lisääntyy. Korroosio jatkuu niin kauan, kunnes rakenne on jälleen kuiva. Tähän saattaa kuitenkin mennä ajallisesti kauan, koska rakenne ei ole tuuletettu. Voikin käydä niin, että homekasvu kiihtyy rakenteissa, jotka ovat jo mikrobivaurioituneet. /14, s. 213./

On tärkeää, että tällaisissa korjauksissa tarkistetaan ja tarvittaessa parannetaan ulkovaipan pitävyys ja tiiviys. Samassa yhteydessä usein myös vaihdetaan ikkunat ja tehdään uusia korvausilmajärjestelyjä esimerkiksi niin, että karmeihin asennetaan korvausilmaventtiileitä. Tällöin pienenee myös riski siitä, että vanhoista rakenteista siirtyisi sisäilmaan haitallisia aineita. /14, s. 213./

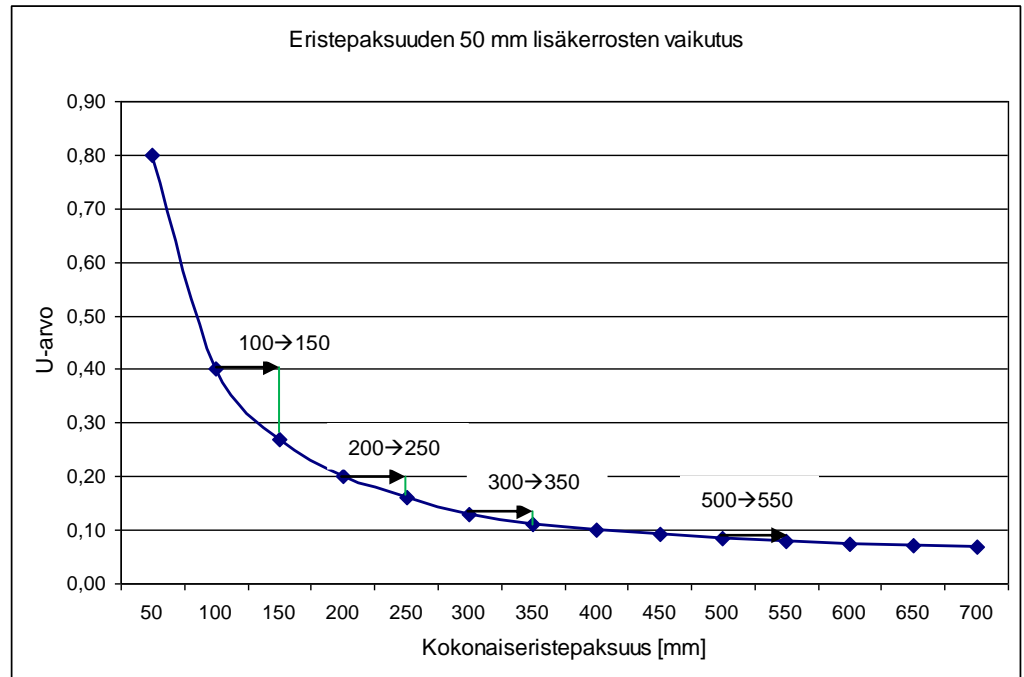
Vanhan ulkoseinän päälle tehtävät uudet tuulettuvat ulkoseinärakenteet

Vanhan ulkoseinäkuoren kiinnitys täytyy varmistaa lisäkiinnityksillä myös silloin, kun halutaan käyttää tuulettuvia rakenneratkaisuja. Erona lämpörappauksen käyttämiseen on tuuletusväli, joka tehdään uuden ulkoseinäverhouksen ja lämmöneristeen väliin. Näin saadaan varmistetuksi se, että sisältä tuleva kosteus ja mahdollisesti rakenteisiin tunkeutunut sadevesi poistuu. /14, s. 213./

Tällainen rakenne toimii teknisessä mielessä samoin kuin eristerappaus, kun lisälämmöneristyspaksuus on oikein mitoitettu: raudoituksen korrosio pysähtyy ja alle jäänyt vanha betonikuori kuivuu. Riskinä tällaisessakin rakenteessa on se, että homekasvu voi kiihtyä jo mikrobivaurioituneessa rakenteessa. Rakenteessa on tärkeää varmistaa vaipparakenteen sisäpuolinen riittävä tiiviys. /14, s. 213./

Vanhan ulkoseinän päälle tehtävät uudet verhoukset vaikuttavat myös rakennuksen ulkonäköön: Ulkoseinän syvyysmitat muuttuvat, ja ikkuna-aukot jäävät syvemmälle ellei ikkunoita uusita tai asenneta niiden ulkopuolelle etuikkunoita. Tämä asettaa luonnollisesti vaatimuksia detaljisuunnittelulle. /14, s. 213./

Kaikki lämmöneristeen paksuntavat sentit eivät ole samanarvoisia, kun ajatellaan U-arvon pienenemistä. Kuvasta 1 näkyy, miten lämpövuoto rakenteen läpi vähenee, kun lämmöneristekerros paksuntuu. Jos lämmöneristettä lisätään 100 millimetristä 150 millimetriin, lisäkerros vähentää lämpövuota selvästi. Jos lämmöneristettä paksunnetaan saman verran 300 millimetrin eristekerrokseen, U-arvon pienenee vain vähän.



Kuva 1. Eristepaksuuden vaikutus lämmönkulutukseen, kun mittarina on rakenteen U-arvo. Vihreät pylväävät kuvaavat 5 cm eristerakroksen tuomaa energiansäästöä eri kokonaiseristepaksuuksilla (eristeen lämmönjohtavuus 0,04 W/mK). /17, s. 49/.

Seinän vanhan ulkokuoren korvaaminen uudella

Seinän ulkokuori voidaan joutua purkamaan, jos ulkoseinä on vaurioitunut pahoin ja kuoren kiinnitys lisäkiinnikkeillä vaikuttaa epävarmalta. Purkamisen jälkeen työ on menetelmiltään samanlainen kuin uudisrakentamisessäkin. Verhousratkaisuina voivat olla esimerkiksi uusi betonielementtikeruori, tiiliverhous, teräs- tai alumiinikasettiverhous, erilaiset levytykset sileillä tai kivipintailla levyillä ja eristerappaus. Eristerappausta ohutlaastitekniikalla kannattaa käyttää myös ongelmallisissa ja pitkälle vaurioituneissa ulkoseinärakenteissa. Tällöin vanha ulkokuori voidaan jättää rakenteen sisään tai purkaa. Uuden rakenteen suunnittelussa kannattaa varmistaa se, että liikennemelualueilla saavutetaan riittävät ääneneristysarvot. /14, s. 215./

Korjauksille asetetaan paitsi energiatehokkuusvaatimuksia, myös kaupunkikuvallisia ja esteettisiä vaatimuksia. Nämä vaikuttavat myös ulkokuoren korjausmenetelmien valintaan. Niinpä erilaisten korjaustapojen käyttö ulkoseinän eri osissa tulee lisääntymään. Tavallisimmin tämä tarkoittaa sitä, että yhdistetään muurausta, eristerappausta, betonipintaa ja puupanelointia niin että saavutetaan haluttu, hallittu ja tarkoituksenmukainen lopputulos. /14, s. 215./

Tiili- ja rapattujen ulkoseinien kunnon selvittäminen ja korjaaminen

Ennen kuin valitaan tiiliseinän tai rapatun ulkoseinän korjausratkaisu, seinä täytyy tutkia. Suunnittelijan ei kannata luottaa esimerkiksi yleistietoon, jonka mukaisesti rapatut tiiliulkoseinät ja massiiviset yksiaineiset ulkoseinät ovat toiminnaltaan selkeitä. Myös ne on syytä tutkia, ellei niiden uusimistarve ole jo silmämääräisesti havaittavissa. /14, s. 215./

Korjausmenetelmät ovat yleensä kuitenkin sellaisia, ettei niillä ole mahdollista vaikuttaa rakennuksen lämmönläpääntymiseen. Joskus tietysti esiintyy tapauksia, joissa voidaan päätyä uudelleen verhoiluun ja eristerappaukseen, mikä parantaa rakennuksen energiataloutta. Voidaan todeta, että muurattujen ja muiden massiiviseinien sisäpuolinen lämmöneristys vaatii erittäin paljon niin suunnittelijoilta kuin toteuttajiltakin eikä sitä yleensä suositella. /14, s. 215 – 216./

2.3.3 Ikkunoiden uusiminen energiatehokkaisiin ikkunoihin

Energiatehokkaiden ikkunoiden kondenssi-ilmiö

Kun ikkunan ulkopinnan lämpötila laskeutuu ulkoilman kastelämpötilan alapuolelle, kosteus alkaa kondensoitua ulkopinnalle. Ulkopinnan lämpötila voi alentua ulkoilman lämpötilan alapuolelle, kun tuulee sopivasta suunnasta, tai kirkkaina öinä, jolloin ikkunan ulkopinta säteilee ympäristöönsä lämpöä. Jos ikkuna on lämpöeristetty hyvin, sen ulkopinnan lämpötila on lähempänä ulkoilman lämpötilaa. Niinpä sen ulkopintaan tiivistyy kosteutta useammin, sillä sisältä tuleva lämpö lämmittää ikkunan ulkopintaa vähemmän. /7, s. 20./

Hyvin lämpöeristetyn ikkunan ulkopinnan kondensoitumiseen vaikuttaa olennaisesti lasiosan lämmönläpäisykerroin eli U-arvo. Ikkunan lämmönläpäisykerroin muodostuu lasiosan, karmi- ja puiteosan lämmönläpäisykerroinista sekä valoaukon reunan viivamaisesta lisäkonduktanssista. /7, s. 20./

Syksyllä ulkoilman kosteus on suuri. Yhtaikaa ikkunan lämpöhäviö on vähäistä, koska ulko- ja sisäilman lämpötilat poikkeavat vain vähän toisistaan. Näiden seikkojen vuoksi ulkoilman kosteuden tiivistymisriski on suurimmillaan juuri syksyisin. Lisäksi kondenssia ikkunoiden ulkopintoihin syntyy, jos ulkoilman lämpötila nousee nopeasti kylmän ja kostean yön jälkeen. Tällöin ikkunan lämpötila ei pysty nousemaan yhtä nopeasti oman lämpökapasiteettinsa vuoksi, ja seurauksena voi olla kondensoitumista. /7, s. 20./

Kosteus voi siis kondensoitua ikkunan ulkopintaan, joka voi olla tietyissä sääoloissa jopa kylmempi kuin ulkoilma. Kondensoituminen ei kuitenkaan viittaa siihen, että ikkunassa olisi jotain vikaa. Käytännön haittana voi olla se, että pääsääntöisesti yöaikana ja aamun tunteina ikkunasta ei näe läpi. Kondensoitumista voi tapahtua myös pakkasaikaan epäedullisissa olosuhteissa, jolloin ikkunan ulkopinta voi olla huurteessa pitempiäkin aikoja. /7, s. 24./

TTY:n asiantuntijaryhmän tekemän kirjallisuuskatsauksen /7, s. 20 - 21/ mukaan kondenssin esiintymisaika lisääntyy jyrkästi silloin, kun lasiosan lämmönläpäisykerroin pienenee tasolle 0,6-0,7 W/m²K. Hemmilän ja Heinosen (1997) tutkimuksessa on todettu, että tarkasteluvuonna 1979 U-arvon vaihtelu 0,8 ja 0,6 välillä vaikutti merkittävästi kondenssiaikaan: esimerkiksi Helsingissä U-arvolla 0,8 kondenssin esiintymisaika oli 20 tuntia; U-arvolla 0,6 kondenssin esiintymisaika nousi jo sataan tuntiin. /7, s. 21./

Ikkunoiden U-arvot kiristyivät 1,4:stä 1,0:aan vuoden 2010 alusta. Tosin usein ikkunoiden U-arvot ovat jo nyt olleet tyypillisesti pienempiä kuin mitä määräykset edellyttävät. Hemmilää referoiden asiantuntijaryhmä toteaa, että U-arvon pienentäminen alle 0,9 - 1,0 W/m²K on kuitenkin haasteellista valmistusteknisistä syistä, joten se lienee järkevä U-arvon alaraja. Tämä U-arvotaso tarkoittaa kuitenkin n. 29 - 36 %:n kiristystä vuoden 2007 arvoihin. /7, s. 24./

Kosteuden kondensoitumisherkkyyteen ikkunan pinnassa voidaan vaikuttaa siten, että muutetaan ikkunan ulkopinnan ominaisuuksia. Mikäli ikkunan ulkopinta muutetaan matalaemissiviteettipinnaksi, ikkuna ei lämpösäteile ulospäin yhtä voimakkaasti. Tällöin kosteutta kondensoituu vähemmän ulkopintaan, joka siis pysyy lämpimämpänä.

Hyvin lämpöeristetyn ikkunan ongelmaksi voi siis muodostua kosteuden kondensoituminen. Hemmilän (2008) teokseen viitaten asiantuntijaryhmä nostaa toiseksi ongelmaksi sen lisääntyvän lasien rikkoutumisriskin erityisesti ikkunoissa, joissa on sälekaihtimet tai rullaverhot. Aurinko aiheuttaa tällöin lasien lämpenemistä. Lisäksi hyvin eristävissä ikkunoissa on eristyslasien välissä tavanomaista suurempi lasiväli. Nämä yhdessä aiheuttavat eristyslasiin suurempia sisäisen paineen vaihteluita, mikä voi johtaa lasin rikkoutumiseen. /7, s.21./

2.3.4 Matalaenergiarakenteiden toimivuus

Rakennusten lämmöneristys- ja energiankulutusmääräykset ovat kiristyneet vuoden 2010 alusta, minkä vaikutuksia on hankala arvioida: arviointi ei koske ainoastaan rakennusfysikaalisia asioita, vaan myös rakennusteknisiä ja taloudellisia asioita. Toisaalta on kysymys monitahoisista asioista; esimerkiksi U-arvon kiristäminen voi lisätä rakenteiden kosteusvaurioriskiä eri tavoin. Riskiin vaikuttavat mm. käytettävät rakenteet ja rakennusmateriaalit, työmenetelmät, rakennuksen sisä- ja ulkoilman olosuhteet ja rakennuspaikka. /7, s. 5./

Rakennusosien lämmöneristysten lisääminen ei ole ongelmaton. Se heikentää rakenteiden kosteusteknistä toimintaa, joskus myös rakenteiden lämpötekniistä toimintaa. Kun lämmöneristystä parannetaan, rakennuksen ulkovaipan ulko-osat viilenevät. Tämä puolestaan johtaa siihen, että homeen kasvu ja kosteuden kondensoitumisriski niissä lisääntyy.

Myös tuleva ilmastonmuutos heikentää rakenteiden kosteusteknistä toimintaa. Koska ilmasto lämpenee ja sateet lisääntyvät, ulkoilman olosuhteet muuttuvat homeen lisääntymiselle suotuisammiksi suurimmaksi osaksi vuotta. Tällöin myös kuivumiselle otolliset ajanjaksot voivat vähentyä. Myös tuulet ja viistosaderasitukset lisääntyvät, mikä taas heikentää ulkoverhousien kestävyyttä pitemmällä aikavälillä. Monessa tapauksessa olosuhteet rakenteissa muuttuvat pikku hiljaa huonommiksi, jolloin home- ja kosteusongelmien riski lisääntyy. /7, s. 6./

Rakennetyyppien muuttuminen

Pystyrakenteissa lämmöneristyskerroksen läpi tehtävien kannatusten ja riipustusten momenttirasitus kasvaa. Tämä tarkoittaa, että a) kylmäsilta vaikutus lisääntyy (dimensioiden kasvu, lisääntyvä teräksen käyttö) ja b) kantavan rungon rasitus lisääntyy. /7, s. 6 - 7./

Vaakarakenteissa eristeiden kokoonpuristuvuus lisääntyy. Tämä voi aiheuttaa sen, että myös painamat ja konvektiovirtaukset lisääntyvät. Tästä seurauksena voi olla myös se, että ongelmat lisääntyvät myös liittymien toteutuksessa. /7, s. 7./

Voi olla, että rakenteiden paksunemista halutaan välttää. Tällöin aletaan käyttää paremman lämmöneristyskyvyn omaavia materiaaleja paikoissa,

joissa niitä ei ole aiemmin käytetty. Tämä puolestaan voi johtaa siihen, että rakenteiden ääneneristyskyky heikkenee eikä rakenteiden kosteusteknistä toimintaa hallita. /7, s. 7./ Myös Rakennuslehden artikkelissa /21, s. 9/ arvioidaan kiristyneiden energiamääräysten suosivan julkisivuissa paremmalla lämmöneristyskyvyllä olevia kovia muovieristeitä, koska niillä päästään pehmeitä eristeitä ohuempiin rakenteisiin. Toisaalta kovien eristeiden käytön hankaluutena ovat julkisivuissa vaadittavat palokatkot, jotka kovia eristeitä käytettäessä täytyy tehdä villakaistoilla.

Rakennussuunnittelu muuttuu kankeammaksi, koska vaipan ”käännepisteisiin” tulee paljon ns. sokeaa aluetta, jota ei voida esimerkiksi aukottaa ikkunoilla. Lisäksi mm. sisäänvedettyjen terassien ja parvekkeiden, kattoikkunoiden sekä erkkereiden rakennussuunnittelu vaikeutuu. /7, s. 7./

Myös lämmöneristeiden käyttöön sisältyy haasteita - etenkin, kun eristeiden lämpöliikkeitä ei ole totuttu huomioimaan suunnittelussa. Jos lämmöneristeistä solumuovieristeitä aletaan käyttää enemmän, eristeiden lämpöliikkeet aiheuttavat kylmissä olosuhteissa ”kutistumiskanavia.” Samoin tapahtuu, kun eristeet jälkikutistuvat. Tästä seurauksena on, että rakenteiden todellinen lämmöneristävyys ja rakennuksen ilmanpitävyys heikkenevät. Todennäköisesti eristämässä siirrytään käyttämään levyvillojen sijaan puhallettavia tuotteita. Tämä puolestaan aiheuttaa suurempaa konvektiota ja eristeen painumisen ongelmia etenkin pystyrakenteissa, joissa eristepaksuus on suuri. /7, s. 7./

Vaipan ilmanpitävyys

Kun vaipan ilmanpitävyyttä parannetaan:

- 1) rakennuksen energiankulutus vähenee, kun ilma vaihdetaan lämmöntalteenottolaitteistolla
- 2) kosteuden virtaus vaippaan vähenee
- 3) epäpuhtauksien, radonin ja homeiden virtaus sisäilmaan vähenee
- 4) vaipparakenteiden sisäpinnat eivät jäähdy
- 5) vedon tunne vähenee
- 6) ilmanvaihdon säätö ja tavoiteltujen painesuhteiden ylläpitäminen helpottuu. /7, s. 12./

Vaikka rakennuksen ilmanpitävyys olisi hyvä, yksittäiset vuotokohdat voivat aiheuttaa ongelmia. Jos rakennuksen vaipan ilmanpitävyys on hyvä, mutta rakennuksen ilmanvaihto säädetään väärin, rakennuksessa voi syntyä suuria paine-eroja. Kun sisäpuolinen ylipaine kasvaa, rakenteisiin voi kulkeutua vaipassa olevan reiän kautta paikallisesti suurempia määriä kosteutta, mikä lisää tietenkin kosteusvaurioiden riskiä. Jos taas on alipainetta, radon ja mikrobit pääsevät helpommin sisäilmaan. Myös alipaine voi vaikuttaa kosteusongelmiin, sillä ulkoa tuleva viileä ilma jäädyttää vaipparakenteen sisäosaa ja -pintaa. /7, s. 12 - 13./

Ilmanpitävässä talossa on tärkeää huomioida ilmanvaihdon toiminta ja tasapainotus. TTY:n asiantuntijaryhmä viittaa Kalameehen ym. (2007) tutkimukseen, jossa on osoitettu, että tiiviissä pientalossa ($n_{50} = 0,15$ 1/h) ilmavirtojen epätasapaino voi johtaa ajoittain todella suuriin paine-eroihin. Niinpä ilmapitävässä talossa täytyy varmistaa ilmanvaihdon toimivuus ja riittävyys kaikissa tilanteissa (esim. pitkien sähkökatkosten aikana), sillä vaipan läpi ei ole olemassa enää merkittäviä korvausilmareittejä. Jos ilmanvaihto kytkeytyy pois päältä, tiedon pitäisi välittyä asukkaille esim. merkkivalon avulla. Talossa pitää olla tuuletusluukut tai avattavat ikkunat, joita voidaan käyttää korvausilman kanavina. Lisäksi asukkailla pitäisi olla riittävästi tietoa ilmanvaihdon toiminnasta ja huollosta. /7, s. 12 - 13./

TTY:n asiantuntijoiden /7, s. 13 - 14./ mukaan vaipan ilmanpitävyyttä koskevien ohjeiden pitäisi olla sellaisia, että ne kannustaisivat talotoimittajia vaipan toteutusratkaisujen kehittämiseen. Heidän mukaansa nykyisessä RakMK D3 (2007):ssa olevan ilmanvuotoluvun vertailuarvon 4,0 1/h käyttö on hyvä periaate. Tämä arvo on kuitenkin suhteellisen alhainen, eikä se kannusta aina riittävästi vaipan ilmanpitävyyden parantamiseen. Niinpä esimerkiksi puolissa puurunkoisista pientaloista on tätä heikompi arvo. Asiantuntijoiden mielestä tilannetta voidaan parantaa siten, että ilmanvuotoluvulla onkin kaksi eri tilanteissa käytettävää arvoa, esimerkiksi 6,0 1/h ja 4,0 1/h. Vertailuarvoa 6,0 1/h käytetään, jos rakennesuunnittelun yhteydessä ei ole tehty erillisiä suunnitelmia ja toteutusohjeita, jotta vaipan ilmanpitävyys varmistettaisiin. Vertailuarvoa 4,0 1/h puolestaan käytetään silloin, kun suunnitelma on tehty. Jos tätä parempaa ilmanvuotolukua käytetään, tarvitaan erillinen mittaus tai siirrytään laadunvalvontamenettelyyn. Rakennusvalvonnan tehtävänä on ar-

vioida se, ovatko suunnitelmat riittävät, jotta voidaan käyttää alempaa vertailuarvoa.

Uudessa RakMK D3:ssa (2010) ilmanvuotoluvun vertailuarvo on 2,0 1/h. Jos ilmanpitävyyttä ei osoiteta mittaamalla tai muulla menettelyllä, käytetään rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa rakennuksen vuotoilmakertoimena arvoa $n_{\text{vuotoilma}} = 0,16$ 1/h, mikä vastaa ilmanvuotolukua $n_{50} = 4,0$ 1/h. Tätä pienempää arvoa voidaan käyttää, jos ilmanpitävyys osoitetaan mittaamalla tai muulla menettelyllä.

Rakenteiden sisäinen konvektio

Rakenteiden sisäisellä konvektiolla tarkoitetaan ilman liikkumista avohuokoisesta lämmöneristeen sisällä. Samanaikaisesti ilman mukana liikkuu myös kosteutta ja lämpöenergiaa. Rakenteen sisäinen konvektio johtuu rakenteen pintojen välisistä lämpötilaeroista. Konvektio ja siitä aiheutuvat rakenteen lämpöhäviöt johtuvat myös lämmöneristeen paksuudesta ja ilmanläpäisevyydestä. Mitä paksumpi ja ilmaa läpäisevämpi lämmöneristekerros on, sitä suurempi on sisäisen konvektion rooli rakenteen lämmöneristävyys heikentämisessä. Voidaan sanoa myös niin, että mitä suurempi lämpötilaero on ja mitä pienempi lämmöneristeen lämmönjohtavuus on, sitä ohuemmissa rakenteissa alkaa sisäinen konvektio heikentää rakenteen tehollista lämmöneristepaksuutta. /7, s. 14, 19./

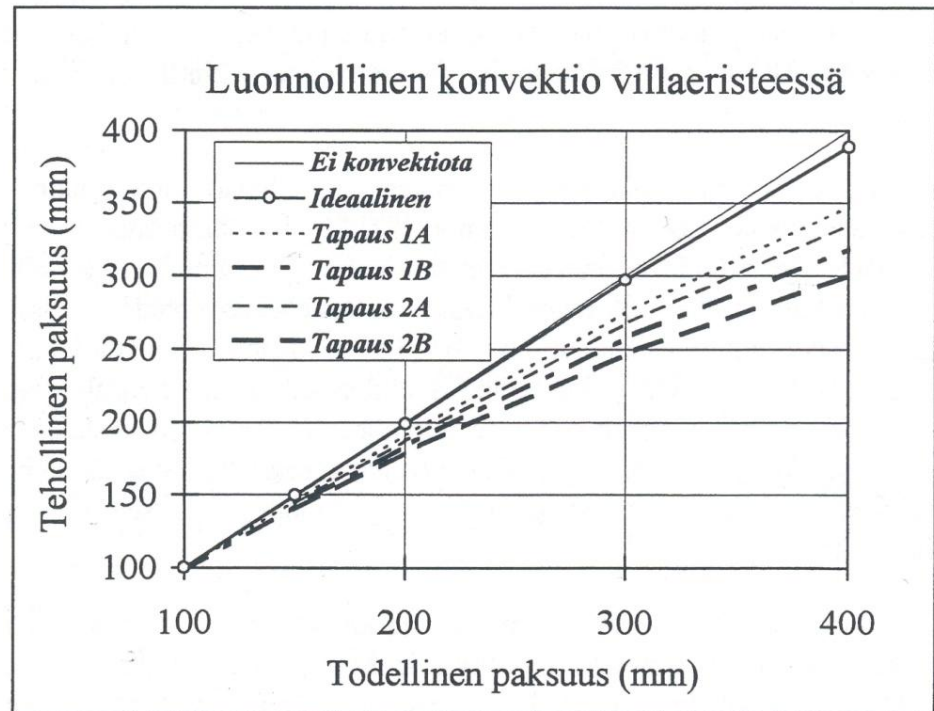
Kirjallisuudessa sisäistä konvektiota ovat tarkastelleet Hagentoft (2001) ja Kokko ym. (1997), joiden teoksiin nojaten sekä teoreettisesti laskien TTY /7, s. 14./ selvitti rakenteiden sisäisten konvektioiden merkitystä lämpöhäviöihin, kun käytetään erilaisia lämmöneristepaksuuksia ja lämmöneristeen ilmanläpäisevyyksiä.

Ideaalisesti lämpöeristetyssä ulkoseinärakenteessa (lämmöneriste asennettu täysin optimaalisesti) sisäinen konvektio kasvattaa lämpöhäviöitä vain vähän. Käytännössä kaikki huokoiset lämmöneristerakenteet ovat kuitenkin epäideaalisia, ts. niissä on epäideaalisuuksia, joita aiheuttavat esimerkiksi rajapintojen epäideaaliset kontaktit. Epäideaalisuuksien vaikutusta ei voida kuitenkaan ennustaa yksittäisissä tapauksissa, koska ne ovat paikallisesti satunnaisia. Epäideaalisuudet kasvattavat kuitenkin rakenteen lämpöhäviötä, jos sitä verrataan ideaaliseen tilanteeseen. Epäideaalisuudet lisäävät ilman virtausta lämmöneristeen reunoilla. Samalla ne siis kasvattavat lämpö-

häviötä selvästi ideaaliseen tilanteeseen verrattuna etenkin ulkoseinärakenteissa. /7, s. 14 – 15, 19./

Sisäisen konvektion vaikutus voidaan huomioida eri tavoin laskennallisesti U-arvolaskelmissa riippuen siitä, mitä lämmönjohtavuusarvoja käytetään. Jos lasketaan RakMK C4 (2003) ohjeiden mukaisesti, λ_n -arvoissa on huomioitu jo lämmöneristyksen sisäisten ja sen kautta kiertävien pienien ilmavirtausten vaikutus. Jos U-arvoa lasketaan taas eurooppalaisilla λ_{design} -arvoilla, lämmöneristeen ilmanläpäisyvyyttä ei oteta huomioon lämmönjohtavuusarvoissa. Tällöin se otetaan huomioon RIL 225 (2004) ohjeen mukaisesti U-arvon lisästerminä. TTY:n asiantuntijaryhmä toteaa, että RakMK C4 (2003):ssa esitetyn ohjeen mukaisesti laskettuna rakenteiden U-arvoissa on sisäisen konvektion suhteen enemmän varmuutta kuin RIL 225 (2004):een perustuvissa laskelmissa. /7, s. 16, 19 – 20./

Kokon ym. tutkimuksessa on käynyt ilmi, että sisäisen konvektion U-arvoa heikentävä vaikutus voi olla yli 10 %, kun eristekerros on 200 mm. Kun se on 300 mm, prosenttiosuus lisääntyy yli 15:een, ja edelleen 400 mm paksuisessa eristekerroksessa se kasvaa yli 20 %:iin. Kuvassa 2 on esitetty tehollinen paksuus todellisen paksuuden funktiona, kun sisäinen eli luonnollinen konvektio kasvattaa lämpöhäviötä. Eristekerroksen paksuuntuessa kasvaa konvektion aiheuttaman lisälämpöhäviön suhteellinen osuus. Kuvassa olevat esimerkkitapaukset 1 tarkoittavat tapauksia, joissa eristyskerros on yhtenäinen ja eristeen kontakti ympäröiviin pintoihin lievästi epäideaalinen. Tapaukset 2 tarkoittavat tilannetta, joissa lämmöneristys on tehty 100 mm kerroksista ja kerrosten välissä on epäideaalinen kontakti. Puolestaan A-tapaukset ovat lievästi epäideaalisia ja B-tapaukset ovat enemmän epäideaaleja. /22, s. 19./



Kuva 2. Sisäisen konvektion vaikutus 2,5 m korkean lasivillalla eristetyin lämmöneristerakenteen teholliseen paksuuteen eri epäideaalisuustapauksissa. /22, s. 19./

Avohuokoisen lämmöneristeen ilmanläpäisevyyden vaikutus tulisi ottaa huomioon U-arvon laskemisessa, jollei sisäistä konvektiota ole estetty eristekerroksessa rakenteellisin ratkaisuin. Tämä on tärkeää etenkin silloin, kun U-arvon laskennassa käytetään eurooppalaisia λ_{design} -arvoja. /7, s. 19./

Seinissä lämmöneristeiden sisällä olevat pystysuorat konvektiokatkot vaikeuttavat sisäisen konvektion vaikutuksia rakenteen lämpöhäviöihin. Pystysuora, suhteellisen ilmatiivis kerros estää suoran ilmavirtauksen kylmän ja lämpimän puolen välillä. Sisäinen konvektio kannattaa eliminoida kuitenkin myös kosteusteknisestä näkökulmasta tarkasteltuna: konvektiokatko estää sen, että kosteus ei siirry sisäisen konvektion vaikutuksesta rakenteen sisäpuolen kerroksista suoraan rakenteen kylmiin osiin mahdollisia ilmanvuoto-kohtia pitkin. Konvektiokatkon täytyy olla erittäin hyvin vesihöyryä läpäisevä; näin kosteutta ei tiivisty konvektiokatkon sisäpintaan. /7, s. 20./

2.3.5 Rakenteiden kosteustekninen toiminta

Energiatehokkuuden parantamisen vaikutukset rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen

Rakennusten lämmöneristys- ja energiatehokkuusmääräysten parantaminen vuoden 2010 alusta pienensi rakenteiden U-arvoja vuoden 2007 määräyksiä vastaavista tasosta. Alkuvuodesta 2010 voimaan tulleissa määräyksissä tavoitteena on, että U-arvot paranisivat runsaat 30 % siitä, mitä ne ovat olleet aikaisemmin.

Rakenteiden lämpötilakentän muutoksella on suora yhteys myös niiden kosteustekniseen toimintaan: vesihöyryn osapainegradientit muuttuvat ja rakenteen ulkopuolen kerrokset ovat lähempänä ulkoilman olosuhteita. Tämä voi lisätä esimerkiksi homeen kasvua. Tämän seurauksena on alettu epäillä sitä, miten hyvin nykyistä paremmin eristetyt rakenteet toimivat rakennusfysikaalisesti. Kosteusongelmat voivat johtua monista eri syistä, mutta pelkäänsä paremmasta lämmöneristyksestä johtuvia kosteusvaurioita ei ole tiedossa. Olennaista onkin tietää, onko mahdollista parantaa lämmöneristystasoa ehdotetulla tavalla ilman, että kosteusteknisen toimivuuden riskit lisääntyisivät. /9, s. 2 - 3./

Rakenteiden kuivumiskyky pienenee, kun rakenteiden lämmöneristävyys paranee ja niiden läpi kulkeva kuivattava lämpövirta vähenee. Tällöin rakenteet voivat todennäköisemmin vaurioitua, mutta riski vaurioitumiseen lisääntyy vain hieman matalaenergiarakentamisessa verrattuna normirakentamiseen. Vaurioiden lisääntyminen on todennäköisempää sellaisissa rakennetyypeissä (esim. rossipohjat) joissa kosteusvaurioita esiintyy enemmän jo nyt. Vaipparakenteiden ulko-osat joutuvat kosteusteknisessä mielessä matalaenergiarakentamisessa nykyistä kovemmalle, koska kriittinen kastepiste siirtyy syvemmälle rakenteissa. Toisaalta nykyisinkin kyllä käytetään rakenteita, joilla ei ole mahdollista kuivaa lämpövirran vaikutuksesta. Näitä on esimerkiksi parvekerakenteissa. Näistä rakenteista on kuitenkin saatu kestäviä. /11, s. 26./

Tarkastelumenetelmiä

Rakenteiden toimivuutta kosteusteknisesti on arvioitu esim. Glaserin menetelmällä. Menetelmällä on voitu laskennallisesti arvioida kapasiteetittoman rakenteen vesihöyrynvirtoja asetetuissa kastumis- ja kuivumistilanteen oloissa ja kosteuskertymien tase kuvasi rakenteen toimivuutta. Yleinen menetelmä on ollut ns. kastepistemenetelmä. Siinä rakenteen toimivuutta arvioidaan valituissa olosuhteissa niin, että lasketaan mahdollisesti muodostuvan vesihöyryn kyllästyspiste. /9, s. 4./

Kastepistemenetelmä on kuitenkin puutteellinen, sillä se ei huomioi olosuhteiden dynamiikkaa eikä huomioi muita kosteuslähteitä kuin sisäilman (esim. sadetta ja alkukosteutta). Rakennuksen ulkovaippa on kuitenkin alttiina vaihteleville ilmasto-oloille, niiden materiaaleilla on usein merkittävä kosteuskapasiteetti hygroskooppisella alueella ja hetkellistä kondenssia esiintyy useimmissa rakenteissa. /9, s. 4./

Rakenteiden tarkempiin analysointeihin on olemassa laskentaohjelmia, kuten WUFI (*Wärme und Feuchte instationär - Transient Heat and Moisture*). Ohjelmalla voidaan simuloida rakenneleikkauksen lämmön- ja kosteudensiirtoa ja arvioida rakenteen lämpö- ja kosteusteknistä toimivuutta dynaamisessa tilanteessa. Ohjelma huomioi muuttuvat sääolot, joita ovat esimerkiksi lämpötila, suhteellinen kosteus, viistosade, rakenteen suuntaus ja auringon säteily. Sisäilman muuttujia ovat lämpötila ja kosteuskuormitus.

Kosteustekniseen toimivuuteen vaikuttavia tekijöitä

On olemassa useita tekijöitä, jotka vaikuttavat suoraan rakennuksen tai rakenteiden kokonaistoimivuuteen. Kokonaistoimivuudella tarkoitetaan tässä ulkovaipan, taloteknisten järjestelmien sekä sisä- ja ulkoilmaston muodostaman kokonaisuuden hyvää yhteensopivuutta ja niiden eri osien tarkoituksenmukaista toimivuutta rakennuksen käytön aikana ja tai ne täytyy ottaa huomioon eri rakennetapauksissa. /9, s. 4./ Seuraavassa on esitelty nämä tekijät:

1. Ilmatiiviys

Tuulensuojaus ja rakenteiden ilmatiiviyden hallinta ovat tärkeässä roolissa matalaenergiarakentamisessa. Tiivis ulkovaippa mahdollistaa sen, että painesuhteita ja ilmanvaihtoa voidaan hallita tarkasti. Tällöin estetään myös

epäpuhtauksien ja mm. radonin pääsy sisäilmaan. Jos rakenteissa on merkittäviä vuotoilmavirtauksia, lämpö- ja kosteustekninen toiminta voi häiriintyä. Ilmatiiviyden merkityksen korostaminen edistää sitä, että detaljit suunnitellaan tarkasti ja toteutetaan käytännössä huolella. /9, s. 4 - 5./

RIL 249-2009 mukaan matalaenergiarakennuksen energiatehokkuuden kannalta riittävä ilmanvuotoluku n_{50} on 0,8 – 1,0 1/h ja vastaavasti passiivitaloissa suositeltava n_{50} -luku on enintään 0,6 1/h. Taulukossa 6 on havainnollistettu ilmanvuotoluvun vaikutusta energiankulutukseen.

Taulukko 6. Ilmatiiviyden vaikutus energiankulutukseen /14. s. 152/.

| Ilmatiiviyys n_{50} [1/h] | Energiankulutuksen muutos [kWh/m ²] |
|-----------------------------|---|
| 4 | 0 |
| 3 | -3,9 |
| 2 | -7,5 |
| 1 | -10,9 |
| 0,5 | -12,5 |

2. Sisäinen konvektio

Rakenteen lämmöneristyskerroksessa voi esiintyä lämmöneristystä heikentävää sisäistä konvektiota. Se voi vaikuttaa lämpötila- ja kosteuskentän jakaumaan varsinkin seinärakenteissa. Jotta konvektiota esiintyy, lämmöneristeen täytyy olla hyvin ilmaa läpäisevää tai sen ja muiden materiaalikerrosten rajapinnoilla on rakoja, jotka edistävät virtausta. /9, s. 5./

VTT:n /9, s. 5/ mukaan tutkimusten perusteella voidaan todeta, että pelkällä luonnollisella lämmöneristeen sisäisellä konvektiolla on vain vähän merkitystä. Esimerkiksi 300 mm paksussa yhtenäisessä mineraalivillaeristeontelossa se on ollut 1 - 2 prosenttia, kun lämpötilat seinän eri puolilla ovat olleet +20 °C / -20 °C. Kun on tehty laboratoriokokeita, niissä on mitattu rakenteille maksimissaan 10 - 15 % heikkenemistä U-arvoissa. Silloin on ollut kysymyksessä rakenteiden rajapintojen epäideaalisuuksia ja rakoja rakenteissa. Konvektio tehostuu, kun lämmöneristeontelon paksuus ja sen pinta-lämpötilojen ero kasvavat.

Sisäisellä konvektiolla on vaikutusta myös siihen, että kosteus kulkeutuu il-mavirran mukana ja kerääntyy ontelon ulkopinnan kylmimpiin kohtiin. Sisäi-nen konvektio ei siis lisää kosteutta rakenteessa, vaan aiheuttaa sen jakau-tumisen uudelleen. Konvektiosta johtuva paikallinen kosteuden kerääntymi-nen kertoo selvistä virheistä eristekerroksessa. Tällöin rakenne ei täytä myöskään lämmöneristysvaatimuksia, jotka sille on asetettu.

Kun tarkastellaan eristerakenteen toimintaa ja lämpötekniikkaa, merkittävä-sä asemassa on rakentamisen laatu. Lämpötekniisesti hyvin toimivissa ra-kenteissa konvektiota on vähän eikä sillä ole olennaista vaikutusta kosteus-riskeihin. Mikäli kosteusongelmia on, ne liittyvät johonkin muuhun virhetilan-teeseen. /9, s. 5./

Konvektiota voi esiintyä matalaenergiarakenteissa voimakkaampana kuin ohuemmissa eristerakenteissa. Suunnittelussa ja toteutuksessa (erityisesti seinärakenteissa) pitäisi ottaa tämä huomioon. Seinärakenteissa eristeonte-lot voidaan katkaista rakenteellisin keinoin konvektiota estävillä kerroksilla. Sitä voidaan vähentää myös käyttämällä tuulensuojan ulkopuolista eristeker-rosta ja varmistamalla lämmöneristeen rajapintojen ilmatiiviys. Ylä- ja ala-pohjissa, joissa on vaakaeristeet, konvektion riski on pienempi. /9, s. 5 - 6./

3. Massiivisuus

Jos rakennetta tarkastellaan teoreettisesti pelkän U-arvon perusteella, ei oteta huomioon auringon säteilyä ja taivaan vastasäteilyä. Tällöin pintojen konvektiiviset lämmönsiirtokertoimet ovat vakioita. Käytännössä erilaiset dy-naamiset ilmastotekijät vaikuttavat kuitenkin rakenteen lämpövirtoihin, eikä niillä olekaan suoraa yhteyttä U-arvoon. Lämpötilan muuttuessa rakenteen terminen massa vaikuttaa kyllä rakenteen kosteuskenttään välillisesti, mutta vaikutus on merkityksetöntä, jos rakenteen toimivuutta kosteusteknisesti aja-tellaan pitkällä aikavälillä. Merkitystä rakenteen sisäpuolisella termisellä ja hygroskooppisella massalla voi olla sisäilman viihtyisyyteen, koska se tasoit-taa kosteus- ja lämpötilavaihteluita. /9, s. 6./

4. Rakennusten jäähdytys

Rakennuksen jäädytystarve johtuu useista eri tekijöistä: sisäisistä lämpö-kuormista, auringon säteilystä, rakenteiden kyvystä sitoa sisäilman lämpö-kuormia (sisäpuolinen terminen massa) sekä niistä vaatimuksista, joita ra-kennuksen käyttö asettaa sisäilmalle. Lämpökuormien johtumishäviöillä ra-

kenteiden kautta ei ole paljoakaan merkitystä jäähdytystarpeeseen, vaan olennaisempaa esim. toimistohuoneessa on minimoida auringon aiheuttama säteilykuormitus sekä sisäiset kuormat. /9, s. 6./

Vaikka kesäisin aurinko voi lämmittää ulkoilman lämpötilan korkeaksi ja huonetiloja jäähdytetään, kondenssiriski höyrynsulun ulkopuolella on pieni: aikaa kuivumiselle on eikä kosteus juurikaan ehdi siirtyä sisäänpäin. Niinpä lämmöneristyksen määrän lisääminen ei edistä kosteuden siirtymistä sisäänpäin, eikä kosteusongelma ole matalaenergiarakenteissa mitenkään korostuneessa asemassa. /9, s. 6 - 7./

5. Rakenteen ulkopinnan lämpötila

Matalaenergiarakenteissa, joissa U-arvoa pienennetään, ulkopinnan kerrokset ovat lähellä ulkoilman olosuhteita. Tuuletettujen ulkoseinärakenteiden ulkopinta on lähellä olosuhteita, joissa materiaalit ovat sateelta suojattuna tuuletetussa ja lämmittämättömässä varastossa. Tällaisissa olosuhteissa puu ei lahoa eikä rakenteellinen vaurioituminen tai lujuuden heikkeneminen ole todennäköistä. Oletuksena tietenkin on, että tällöin tuuletus ja sateensuojaus toimivat ja kosteuskuormat ovat hallinnassa (kosteuskuormitus sopiva tuuletukseen verrattuna.). Nykyisin suuressa osassa rakenteita lämmöneristystaso on sellainen, ettei lämpöhäviöistä aiheutuva ulkopinnan lämpötilataso eroa juuri siitä, mitä se olisi em. lämmittämättömän rakenteen tapauksessa. Lisäksi riittävän alhaiset lämpötilat estävät korroosion ja homeen kasvamista. /9, s. 7./

6. Rakenteen kuivumispotentialit

Kosteustekniseen toimivuuteen vaikuttaa myös rakenteen lämpötilagradientin muutos silloin, kun lämmöneristys kasvaa. Tämä puolestaan vaikuttaa vesihöyryn osapainegradienttiin ja rakenteen kuivumiskykyyn. Jos rakenteen paksuutta kaksinkertaistetaan, gradientti pienenee puoleen, jolloin rakenteen läpi suuntautuvat kosteusvirrantiheydet alentuvat. Myös tuulensuojan tms. kerroksen yli gradientti ja kosteudensiirtyminen alenee, kun lämpötilat rakenteen ulkopinnan läheisyydessä lähenevät ulkoilman tasoa. Tärkeää on se, miten merkittävä tämä muutos on verrattaessa sitä rakenteen kuivumiskykyyn. /9, s. 7./

Vielä tärkeämpää kuitenkin on, kuinka paljon rakenteen pitää kyetä siirtämään kosteutta ulos, jotta se toimii turvallisesti. Rakenteiden kosteustekni-

sessä toimivuudessa on olennaista myös se, miten suuriin satunnaisiin kosteuskuormiin täytyy varautua eli miten paljon rakenteen täytyy sietää siitä itsestä johtuvaa tai jonkin muun rakennusosan virheestä aiheutuvaa ylimääräistä kosteuskuormitusta. /9, s. 7 - 8./

Kosteuskuormituksen siirrossa käytetään usein käsitettä rakenteen hengittävyys. Hengittävyydellä tarkoitetaan lämmöneristeen kykyä sitoa vettä materiaalikuitujen sisälle, jolloin vesi ei kerääny yhteen eikä tiivisty kastelevaksi nesteeksi. Vesi haihtuu materiaalista edelleen sille puolelle, jossa vesihöyryn paine on pienempi. Hengittämättömässä materiaalissa, kuten esimerkiksi mineraalivillakuidussa, kuitujen pinta kastuu, jos kuitua ympäröivän ilman kosteuspitoisuus nousee riittävän korkeaksi. Tällöin eristeeseen syntyy vesisilloja ja sen lämmöneristyskyky romahtaa. Hengittämätön materiaali läpäisee, mutta ei sido ilman vesihöyryä. /23, s. 472./

7. Vastasäteily

Vastasäteilyllä tarkoitetaan rakenteesta ulospäin tapahtuvaa säteilyä, joka voi jäähdyttää pintoja ulkoilman kyllästyslämpötilaa alemmalle tasolle. Vastasäteilyä esiintyy esimerkiksi hyvin eristetyissä ikkunoissa ja kevytrakenteisen yläpohjan alapuolisissa materiaalikerroksissa.

Matalaenergiarakentaminen voi teoriassa lisätä jonkin verran kondenssiolojen määrää. Käytännössä kuitenkin nimenomaan säteilyolot ovat merkittäviä. Vastasäteilyn vaikutuksia ei juurikaan voida torjua ylläpitämällä lämpöhäviötä tai jopa kasvattamalla sitä. Tällainen torjuntakeino on esimerkiksi se, että estetään riittävällä lämpö- ja kosteuskapasiteetilla kattopinnan jäähtymisen vaikutukset sen alapuolisiin rakenteisiin. Rakenteet voivat päästä vaurioitumaan tilanteessa, jossa kosteus tiivistyy ja kerääntyy paikallisesti rakenteisiin eikä tuuletuksesta ole huolehdittu riittävästi. /9, s. 8./

Hyvin lämpöä eristävien ikkunoiden ulkopinnoissa voi silloin tällöin esiintyä tiivistynyttä vettä tai jäätä, mikäli ikkunasta on esteetön näkymä taivaalle. Tätä voidaan vähentää esimerkiksi ikkunasyvennyksellä, räystäillä tai muilla rakenteellisilla esteillä. Ikkunoissa voi esiintyä tiivistyneen veden lisäksi myös huurtumista, mutta niistä ei ole haittaa rakenteille, sillä ikkunoiden täytyy olla asianmukaisesti suojattuja mm. sateen vuoksi. Ikkunan ulkopinnan kondenssiin voidaan vaikuttaa U-arvon tasolla, varjostuksilla ja pinnoitteilla. /9, s. 8./

Jos rakennuksessa halutaan käyttää ikkunoita, joiden U-arvo on pienempi kuin $1,0 \text{ W/Km}^2$, pitäisi tämä ottaa huomioon suunnittelussa: kondenssi ja huurtuminen voivat estää läpinäkyvyyttä, mikä asettaa vaatimuksia ikkunoiden sijoittelulle. Ikkunoille on tehtävä erillinen suunnitelma kondenssin estämisestä, jos niiden täytyy pysyä jatkuvasti huurtumattomina. /9, s. 7./

2.3.6 Rakenteiden kosteustekninen suunnittelu

Rakennesuunnittelija laatii rakennushankkeen suunnitteluvaiheessa kosteudenhallintasuunnitelman, jota täydennetään myöhemmin toteutusvaiheessa. Suunnitelmassa määritellään mm. riskikohdat ja niiden hallinta, työaikainen kosteudenhallinta sekä laadunvarmistustoimenpiteet. /14, s. 155./

RIL 249-2009 esittelee periaatteet, joiden mukaisesti vaipparakenteiden kosteusongelmat ja niiden haittavaikutukset pyritään eliminoimaan. Periaatteet ovat seuraavanlaiset:

1. Rakennuksen koko vaipparakenteen liitoksineen täytyy olla riittävän ilmatiivis.
2. Rakenteen sisäpuolisen vesihöyryn vastuksen pitää olla riittävä.
3. Ilmanvaihto säädetään niin, että rakennuksessa on vain pieni alipaine.
4. Kaikki rakenteen detaljit suunnitellaan ja rakennetaan johtamaan veden ulos rakenteista.
5. Sadevesien haittavaikutukset minimoidaan. Tämä tehdään estämällä niiden tunkeutuminen rakenteen eristeisiin ja johtamalla ne pois tulopaiskasta esim. pellitysten avulla.
6. Huolehditaan siitä, että ilmansulun ulkopuolisen rakenteen on mahdollista kuivua ulospäin.
7. Suunnittelussa ja valmistuksessa minimoidaan kylmäsiltojen syntyminen.
8. Puolivalmis ja valmis talo kuvataan lämpökameralla, jotta varmistetaan vaipan tiiviys ja todetaan mahdolliset kylmäsilat.
9. Varmistetaan, että yläpohjat ja ryömintätilaiset alapohjat tuulettuvat tehokkaasti ja kaikkialta.
10. Rakenne eristetään niin, ettei maaperä pääse kostuttamaan sitä. Tämä tehdään riittävän paksun kapillaarikatkon avulla.
11. Huolehditaan, että rakennuksen ulkovaippa soveltuu rakennuspaikan olosuhteisiin.
12. Estetään rakenteiden kastuminen kaikissa rakennushankkeen vaiheissa.

Kun suunnitellaan tuulettuvia rakenteita, niihin pitää varmistaa riittävän tehokas ja toimiva tuuletus siten, että käytetään suurempia ja paremmin eri osiin jaettuja tuuletusrakojakin kuin aiemmin. Suunnittelijan täytyy huolehtia myös siitä, ettei kosteiden tilojen suunnittelun yhteydessä muodostu tuulettumattomia kahden tiiviin pinnan väliin jääviä tiloja, joissa homeriski kasvaa. Tärkeää on kiinnittää huomiota myös siihen, että rakenteen höyrynläpäisy kasvaa riittävästi sisältä ulospäin. /14, s. 156./

Tuuletusraon toimintaa täytyy varmistaa hyvällä suunnittelulla. Suunnittelija varmistaa, että tuuletusraon ala- ja yläpään välillä on tarpeeksi suuri terminen paine-ero ja/tai tuulensuunnan paine-eroja voidaan hyödyntää. Tuuletusrako on seinissä vähintään 25 mm ja katossa vähintään 100 mm. Jos seinissä terminen paine-ero on suuri, tuuletusraon alapää kuristetaan 10 mm:iin, jolloin ilman nopeus tuuletusraossa ei kasva liian suureksi. Ulkoverhouksen hyvä tuulen- ja sateenpitävyys vaikuttavat myös siihen, että tuuletusrako toimii kunnolla. /14, s. 156./

Rakenteen kuivumiskyvyn varmistaminen

Rakenteen kosteustekniseen toimivuuteen vaikuttaa sen kuivumiskyky käytön aikana. Kuivumiskykyyn vaikuttavia tekijöitä ovat lämmöneristeen sisä- ja ulkopuolisten rakenteiden höyrynvastusten suhde, höyrynsulun ulkopuolisten rakenteiden ja tuulensuojan kosteuskapasiteetti, rungon ulkopuolella oleva lämmöneristys ja tuulensuojan lämmöneristävyys sekä tuuletusraon toiminta. /14, s. 156./

Kuivumiskykyä voidaan arvioida jatkuvasti muuttuvissa oloissa parhaiten laskentaohjelmilla, joilla voidaan ottaa huomioon em. kuivumiskykyyn vaikuttavat seikat. Rakennekosteuden kuivumista on puolestaan hyvä tarkastella kaksi-kolme vuotta. Rakennetta voidaan luokitella kuivumisen ja siihen kuluvan ajan suhteen niin, että rakenne on

- a) kosteusteknisesti hyvin toimiva, jos sen kuivumiskausi alkaa viimeistään huhtikuussa ja päättyy aikaisintaan syyskuussa ja jos sen kosteuspitoisuus on vuodesta toiseen vähenevä.
- b) riskirakenne, jos sen kuivuminen alkaa kesäkuussa ja päättyy elokuussa.
- c) virheellinen, jos siihen kertyy kosteutta kumulatiivisesti vuodesta toiseen.

/14, s. 157./

Paikallisen homeen muodostumisen riski

Kun rakenteen eristyskyky lisääntyy ja lämmöneristekerroksen paksuus kasvaa, tuulensuojalevystä tulee hieman kylmempi kuin perinteisissä rakennuksissa. Lämpötilan lasku on kuitenkin niin pieni, että sillä on käytännössä vaikutusta vain silloin, kun korjataan vanhoja rakenteita, joiden alkuperäinen lämmöneristyskyky on huono. Tällöin on tarpeen käyttää lämpöä eristävää tuulensuojalevyä (esim. mineraalista eristelevyä tai huokoista kuitulevyä). /14, s. 157./

Jos ilmanvaihto on voimakkaasti alipaineinen, se vetää sisäilmaan epäpuhtauksia rakenteen niistä kohdin, joissa ilmansulku vuotaa. Matalaenergiarakennuksissa käytetäänkin mahdollisimman tasapainoista, vain lievästi alipaineista koneellista ilmanvaihtojärjestelmää samalla, kun on huolehdittu hyvästä ilmantiivistyksestä. Erityisesti kaksi- tai useampikerroksisissa rakennuksissa, joissa on keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä, voi esiintyä ongelmia paineistuksen suhteen: erityisesti kylmänä kautena ylimmät kerrokset ovat hieman ylipaineisia. Myös tällöin on erityisen tärkeää huolehtia sisäpuolisen ilman- ja höyrynsulun tiiviyydestä. /14, s. 158 - 159./

2.3.7 Kosteustekninen toiminta muuratuissa lämpöeristetyissä rakoseinissä

Muurattujen ulkoseinien suurimmat kosteuslähteet ovat sadevesivuodot muurin läpi sekä sadeveden kerääntyminen kuorimuriin. Tärkein tekijä, joka siirtää vettä seinärakenteen läpi, on tuulen aiheuttama paine-ero kuorimuurin sisä- ja ulkopinnan välillä.

Sadevesi imeytyy ensin seinärakenteeseen. Imeytymiseen vaikuttavat rakenne-pinnoiteyhdistelmän vedenimunopeus ja -kyky sekä seinän kosteuspiitoisuus silloin, kun sade alkaa. Kuorimuurin pintaan muodostuu vedestä kalvo, kun muurin kyky imeä itseensä vettä ylittyy. Tällöin vesi imeytyy huokosiin materiaaleihin kapillaarisesti sekä käyttäen kulkureittinä epätiivaita kohtia (halkeamat, raot). Ulkokuoren läpäissyt, muurauskiviin imeytymätön vesi valuu kuoren sisäpintaa alaspäin ja kerääntyy vaakasuoriin liitoksiin. Sadevesi pääsee vuotamaan seinärakenteeseen myös liikuntasaumojen ja huonosti toimivien ulkoseinän liitosrakenteiden kautta. Muita ulkopuolisia kosteuslähteitä ovat maaperän kosteus sekä pinta- ja roiskevedet. /15, s. 104 - 105; 16, s. 43./

Ulkoseinärakenteen sisäpuolelta tulevalla kosteudella, joka tulee rakennekosteutena, konvektiolla tai diffuusiolla, ei ole suurta merkitystä verhomuuraukseen. Se on vain hyvin pieni osa siitä vesimäärästä, joka imeytyy verhomuuraukseen sateen yhteydessä. /18, s. 101./

Sisäkuoren rakennekosteus kuivuu yleensä ulospäin. Sisäilman kosteus kulkeutuu diffuusiolla ja konvektiolla ulkomuurin sisäpintaan, mihin se tiivistyy talvisin. Kuorimuurin sisäpintaan tiivistynyt kosteus imeytyy kapillaarisesti muuriin ja kuivuu diffuusiolla sen läpi ja haihtuu mahdolliseen tuuletusrakoon. Sisäpuolisia kosteuslähteitä ovat myös käyttövedet, mahdolliset vuotovedet ja putkivuodot. /16, s. 43./

Kosteus aiheuttaa muurattuihin lämpöeristettyihin rakoseiniin erilaisia vaurioita. Näitä ovat esimerkiksi tiilten tai laastin pakkasrapautuminen, kiinnikkeiden ja raudotteiden korroosio, pinnoitteiden irtoaminen sekä mikrobikasvutot. /16, s. 43./

Rakenne on kosteusteknisesti riskialtis silloin, kun siihen kohdistuu voimakas viistosaderasitus eikä kuorimuurin läpi tunkeutuva vuotovesi pääse kulkeutumaan pois. Kosteusvaurioita syntyy myös silloin, kun rakenteeseen pääsee syntymään paikallisia runsaita sadekertymiä. Liian tiivis pinnoite puolestaan vaikeuttaa kosteuden kuivumista. /16, s. 43./

Torikka ym. /16, s. 43/ listaavat lämpöeristetyin muuratun ulkoseinän ja perusmuurin kosteusvaurioiden syiksi seuraavia seikkoja:

- Kuorimuri on pinnoitettu liian tiiviisti tai muuten sopimattomasti.
- Julkisivupellitykset on tehty puutteellisesti.
- Kosteus pääsee seinärakenteeseen ulkoseinän ja eri rakenneosien liittymien kautta.
- Räystäskorotus on liian matala ja räystäspellitykset on tehty puutteellisesti.
- Räystäskourut ja syöksytorvet ovat huonossa kunnossa tai ne on asennettu virheellisesti.
- Tuuletus puuttuu ja laastipurseet tukkivat tuuletusraon alaosan.
- Kuorimuri halkeilee, koska liikuntasaumavälit ovat liian pitkät tai kuorimuri halkeilee, koska sen kannatuksissa on puutteita.
- Vuotovesi ei pääse poistumaan rakenteen vaakasuuntaisista liitoksista.

- Ilmanvaihtojärjestelmässä on väärät painesuhteet tai sen teho on liian pieni.
- Ikkunat ja läpiviennit on tiivistetty huonosti.
- Ulkoseiniin rajoittuvissa märkätiloissa on tehty vedeneristys puutteellisesti.
- Bitumikermi puuttuu perusmuurin ja muurauksen välistä.
- Rakenteen sisäpuolinen lämmöneristys alentaa ulkomuurin lämpötilaa ja synnyttää lisää pakkasrasitusta.
- Rakennuspohja on salaojitettu puutteellisesti.
- Sade-, pintavedet ja syöksytorvista tulevat kattovedet johdetaan seinän viereltä pois puutteellisesti.
- Kellarittoman rakennuksen viereinen maanpinta on liian ylhäällä lattia-pintaan verrattuna.

Jotta kuorimuuri olisi tiivis, tiilen ja laastin täytyy olla yhteensopivia. Sadevesitiiviyyden kannalta on ratkaisevaa se, miten hyvin tuore laasti tarttuu tiileen. Myös muuraustyön laadulla on suuri merkitys seinän tiiviyteen. Tiiviyteen vaikuttaa muuratun ulkokuoren paksuus erityisesti silloin, kun rakennus on tuulisella paikalla, rakennuksessa on kapeat räystäät tai jos rakennuksessa on enemmän kuin kaksi kerrosta jolloin siihen kohdistuu runsas viistosaderasitus. /15, s. 105./

Muurattuihin ulkoseinärakenteisiin täytyy aina tehdä yhtenäinen tuuletusrako, jonka toimivuus ja avoimuus täytyy tarkistaa. Laastipurseet eivät saa pudota sinne eivätkä ne saa ulottua tuulensuojamateriaaliin kiinni. /15, s. 105 – 106./

2.3.8 Kiinteistön energiatehokas käyttö

Yleisesti ottaen energiakustannusten arvioidaan olevan noin 40 % kiinteistön ylläpitokustannuksista. Kun rakennuksen energiataloutta parannetaan, vähennetään siis kiinteistökustannuksia. Lisäksi samalla vähennetään voimakkaasti myös ympäristöpäästöjä, sillä ympäristökuormituksista arvioidaan noin 80 % syntyvän energian käytön vaikutuksista. /1, s. 47./

Kun puhutaan energian käytön hallinnasta, tarkoitetaan sillä tehokasta energian käyttöä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että minimoidaan turhan energian käyttö suunnittelun, rakentamisen ja käytönvalvonnan avulla. Tär-

keä suomalainen energia-alan asiantuntija on Motiva. Se edistää teollisuuden, liikenteen ja kiinteistöjen energiatehokasta käyttöä. /1, s. 47 – 48./

Rakennuksen käyttötoiminnot eivät vaikuta paljonkaan rakennuksen energiatalouteen, joten sen perusta luodaan suunnittelu- ja rakennusvaiheessa. Myöhemmin energiatalouteen voidaan vaikuttaa korjauksilla sekä energiatehokkailla laitteilla ja varusteilla. Korjaustoiminnassa ne toteutetaan silloin, jos kannattavuuslaskelmilla ne voidaan osoittaa perustelluiksi. /13, s. 190./

Rakennukselle lasketaan energiankulutuksen tavoitearvot rakennus- tai perusparannusvaiheessa. Jos niitä ei ole laskettu, kuten ennen vuotta 2008 rakennettuja taloja varten ei ole, kulutus voidaan laskea milloin tahansa tai tulkitaan edellisinä vuosina toteutuneita arvoja. Myyryläisen mukaan näihin toteutuneisiin arvoihin täytyy suhtautua kriittisesti ja selvittää käytöteknisillä toimenpiteillä ja korjauksilla saavutettavat säästömahdollisuudet. Yleensäkin korjaustoiminta on suunniteltava jatkuvan parantamisen periaatteella, jolloin huomioidaan sekä asiakastarpeet että energiatalous. /13, s. 191 - 192./

Jokaisen rakennuksen rakennuskohtaiset tavoitearvot lasketaan rakennuksen ominaisuuksien perusteella. Korjausrakennuskohteissa pyritään noudattamaan niitä uudisrakentamisen lämmöneristysarvoja ja muita määräyksiä, jotka on sovittu säännöksissä. /13, s. 193./

Rakennuksissa lämpöenergiaa kuluu pääasiallisesti rakennuksen lämmittämiseen, ilmanvaihtoon ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. VTT:n ja Tilastokeskuksen TYKI-raporttiin tukeutuen Myyryläinen esittää energiamenekin ominaiskulutuksen ja jakautumisen Suomessa seuraavasti (lämmitystarveluvun 5153 mukaisena): /13, s. 192./

Taulukko 7. Energiamenekin ominaiskulutus ja jakautuminen eri rakennustyypeissä.

| KÄYTTÖTARKOITUS | Johtuminen % | Ilmanvaihto % | Lämminvesi % | Ominaiskulutus kWh/rm ³ |
|------------------|--------------|---------------|--------------|------------------------------------|
| Asuinkerrostalot | 42 | 28 | 30 | 68,0 |
| Toimistot | 32 | 48 | 20 | 37,7 |
| Mymälät | 35 | 45 | 20 | 38,9 |
| Koulut | 42 | 38 | 20 | 61,6 |
| Terveyskeskukset | 34 | 46 | 20 | 47,5 |
| Sairaalat | 31 | 49 | 20 | 71,6 |
| Teollisuushallit | 40 | 40 | 20 | 24,2 |

Edellä olevan taulukon energiamenekit ovat rakennetun rakennuskannan keskiarvotietoja, joten poikkeamat näistä voivat olla suuriakin mm. rakentamisvuoden ja käytön mukaan. Niinpä esimerkiksi jos Helsingin koulujen keskiarvomenekki normalisoidaan Jyväskylän lämmitystarvetasoon, ominaiskulutus on 50 kWh/rm^3 . /13, s. 193./

Sisälämpötilat

Sisälämpötilat säädetään tilojen käyttötarkoituksen mukaisiksi, mutta lämmityskauden aikana kuitenkin mahdollisimman alhaisiksi. Sisälämpötilan yhteydessä Myyryläinen käsittelee ns. operatiivista lämpötilaa, johon voidaan vaikuttaa esimerkiksi rakennusteknisin keinoin. Se on lämpötila, jossa ei ole henkilöllä kylmä eikä kuuma.

Operatiiviseen lämpötilaan vaikuttavat sisäilman lämpötila, ilman virtaukset ja ympärillä olevien pintojen lämpötila. Operatiivinen lämpötila vaikuttaa energiankulutukseen: jos rakennuksessa olija aistii vetoa, kun seinä- ja ikkunapinnat ovat kylmät, vedon tunnetta yritetään useimmiten vähentää normaalia korkeammalla lämpötilalla. /13, s. 194./

Yhden lämpöasteen pudotus vähentää lämmitystarvetta 5 %. Myyryläisen mukaan tutkimuksissa on vertailtu operatiivista lämpötilaa ja erilaisten ikkunoiden U-arvoja. Alla olevassa taulukossa 8 esitetään, miten lämpimäksi huone on lämmitettävä, jotta sama operatiivinen lämpötila saavutettaisiin erilaisilla ikkunaratkaisuilla.

Taulukko 8. Ikkunoiden U-arvon vaikutus huoneen lämmitykseen.

| Ikkunan U-arvo $\text{W/m}^2, \text{K}$ | x/Huoneen operatiivinen lämpötila $^{\circ}\text{C}$ |
|---|--|
| 6.0 (1-lasinen ikkuna) | 24,0 |
| 3.0 (2-lasinen ikkuna) | 21,9 |
| 1,8 (3-lasinen ikkuna tai muu vastaava lasi) | 19,6 |
| Ikkunaton tila | 18 |

x/ tarkoittaa tässä ns. miellyttävyysslämpötilaa, jossa ikkunan ja muiden pintojen kylmäsaiteily on eliminoitu.

Sisäilman kosteus energiansäästön ja homeilmiöiden kannalta

Ajateltaessa energiataloudellisesti lämmityskauden aikana on suositeltavaa pitää suhteellinen kosteus 25 – 45 prosentissa. Vain erityisistä syistä (esim. sairaaloissa erityistilat) ilma kostutetaan yli 50 %:iin. Myös monet teolliset tilat vaativat erillisen ilmastutuksen, jossa tuotteen valmistaminen vaatii vakioitua ilmastutusta. Jos ilmanvaihto ei ole riittävää, esimerkiksi asuintalon ilman kosteus nousee voimakkaasti, minkä seurauksena erilaiset sienikasvustot pääsevät kasvamaan ja homeongelmat lisääntyvät. Ilman kostutuksen vaatima lisäenergia puolestaan voidaan todeta esimerkiksi IX- eli Mollier-diagrammista. Kostutuksen aiheuttamat energiakustannukset voidaan laskea veden höyrystymisenergian ottaman lisäenergian avulla. /13, s. 196 - 197./

Jos ulkoilmaa johdetaan huonosti tuulettuviin tiloihin, joissa rakenteiden pintapintalämpötilat laskevat ajoittain ulkolämpötilaa alhaisemmiksi, rakenteiden (esim. rakennusten alapohjat, yläpohjat ja kellarit) pinnoille syntyy kastepistelämpötiloja. Esimerkiksi ilman lämpötilan ollessa +25 °C ja ilman samalla ilman suhteellisen kosteuden ollessa 70 %, kastepiste muodostuu jo +18 °C lämpötilassa. Jos kastelämpötila pysyy lämpimässä tilassa pitkään, homeitiöt ja lahoaminen lisääntyvät. Tätä voidaan estää tuuletuksella tai ilman kuivaamisella. /13, s. 197./

Lämmön talteenotto

Kun valitaan sitä, millä lämmön talteenottoperiaatteella lämpö otetaan talteen, huomioonotettavia seikkoja ovat hygienia, puhdistettavuus, käyttöikä ja vuositason energiatehokkuus. Jos käytetään pyöriviä (regeneratiivisia) lämmön talteenottolaitteita, saavutetaan 50 - 60 prosentin vuosihyötysuhde. Niitä käytettäessä epäpuhtauksia pääsee kuitenkin siirtymään likaiselta puolelta puhtaalle. Levylämmönvaihtimia käytettäessä ilmenee samaa ongelmaa, joten niitä kannattaa käyttää hyvin harkitusti esim. toimisto- ja asuintiloissa. /13, s. 199./

Lämpöä voidaan ottaa talteen myös glykolipattereilla, joita käytetään yleisesti sairaaloissa. Niiden vuosihyötysuhde on 30 - 40%, mutta ne ovat hygieenisesti turvallisia. Levylämmönvaihtimilla vuosihyötysuhde on sama ja myös ne ovat hygieenisesti hyviä, mikäli eivät vuoda. /13, s. 199./

Palautusilma

Palautusilman eli kiertoilman hyötysuhde voi olla jopa 100 %, jos rakennus toimii pelkästään kiertoilmalla. Sen käyttö on siis energiataloudellisesti kannattavaa. Pelkän kiertoilman käyttö on kuitenkin ongelmallista eikä ole yleensä sallittua, sillä epäpuhtaudet levittyvät joka paikkaan ja ilman laatu kärsii. Kiertoilmaa voidaan käyttää lämmitykseen kuitenkin tiloissa, joilla on keskenään samat ilmanvaihtovaatimukset mutta joissa ei oleskella. /13, s. 200./

2.3.9 *Energiätehokkuuden parantaminen korjausrakentamisessa lähivuosina*

Uusi energiatehokkuusdirektiivi

Vuoden 2009 lopulla EU:ssa päästiin yhteisymmärrykseen uusimman Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin, (*EPBD; Energy Performance of Buildings Directive*) sisällöstä. Direktiivi hyväksyttiin vuoden 2010 alkupuolella. Jäsenmailla on kaksi vuotta aikaa sovittaa direktiivi kansalliseen lainsäädäntöön ja saattaa laki voimaan. /12. s. 4./ Direktiivi on tuonut muutoksia rakentamismääräyksiin – Rakentamismääräyskokoelman uudet osat C3, D2 ja D3 [2] astuivat voimaan vuoden 2010 alusta.

Direktiivin keskeisimpänä tavoitteena on, että vuonna 2020 rakennettaisiin lähes yksinomaan nollaenergiataloja. Olennaista direktiivissä on myös se, että energiatehokkuusvaateet koskevat myös laajoja korjaushankkeita sekä merkittävien rakennusosien ja teknisten järjestelmien korjauksia. /12./

Suomessa rakennuskannan uusiutumisen vauhti on erilainen kuin Keski-Euroopassa: on laskettu, että maassamme rakennuskanta uusiutuu kerran 50 - 100 vuodessa. Tämä tarkoittaa sitä, että 2050 käytössä olevista rakennuksista puolet on rakennettu nykyhetkeen mennessä ja toinen puoli rakennetaan tämän jälkeen. Keski-Euroopassa uusiutumistahti on paljon hitaampaa, jolloin korjaamisen rooli on paljon keskeisempää kuin Suomessa. /12./

EPBD:ssä esitetään tavoitteita myös uudisrakentamiselle: Vuoden 2020 loppuun mennessä valtioiden on taattava, että kaikki uudet rakennukset rakennetaan hyvin energiatehokkaiksi. Lisäksi rakennusten energiatarpeesta merkittävä osuus on saatava uusiutuvista energialähteistä paikan päällä tai paikallisesti tuotettuna.

EPBD:n mukaan vuoden 2018 loppuun mennessä julkisen sektorin omien ja vuokratilojen on täytettävä matalaenergiakriteerit. Lisäksi on myös julkistettava ne standardit, joiden mukaan olemassa oleva rakennuskanta muutetaan sellaiseksi, että se täyttää lähes nollaenergiatalon kriteerit.

Energiatodistusten painoarvo lisääntyy ja niiden soveltamispiiri laajenee. Tulevaisuudessa esimerkiksi kiinteistöjen myynti- ja vuokrausilmoituksista täytyy tulla ilmi myös energiatehokkuus. Aluksi myös yli 500 neliömetrin suuruisiin julkisiin rakennuksiin täytyy laatia energiatodistus, ja se täytyy olla myös esillä. Myöhemmin neliömetriraja laskee 250 neliömetriin. Tosin vaatimus energiatodistusten julkisuudesta sisältyi jo edelliseen energiatehokkuusdirektiiviin. Siinä se koski rakennuksia, jotka ovat kooltaan yli 1 000 neliömetriä. Tätä vaatimusta ei kuitenkaan ole käytännössä Suomessa sovellettu lainkaan. /12. s. 4./

Energiakorjausten kehitys

Energiakorjausten merkitys on suurimmillaan 2010- ja 2020-luvuilla. Silloin peruskorjauksiin saavuttavat rakennukset, jotka on rakennettu massatuotantokaudella 1970 - 1990. On arvioitu, että varsinkin 2020-luvun lopulta lähtien rakennusten energiatehokkuus on eräs kriteereistä, kun päätetään toisen peruskorjauksen ikään tulevien 1950 – 1970 -lukujen rakennusten saneerausvaihtoehdoista. Tullee olemaan niin, että energiatehokkaiden rakennusten myyntiarvo ja myytävyyks kasvavat. Tämän johdosta rakennukset, joita ei ole toteutettu energiatehokkaasti, puretaan helpommin ja tilalle rakennetaan uusia. Tällainen kehitys johtaa siihen, että matalaenerginen rakentaminen nopeutuu korvaavan rakentamisen kautta. /14, s. 260./

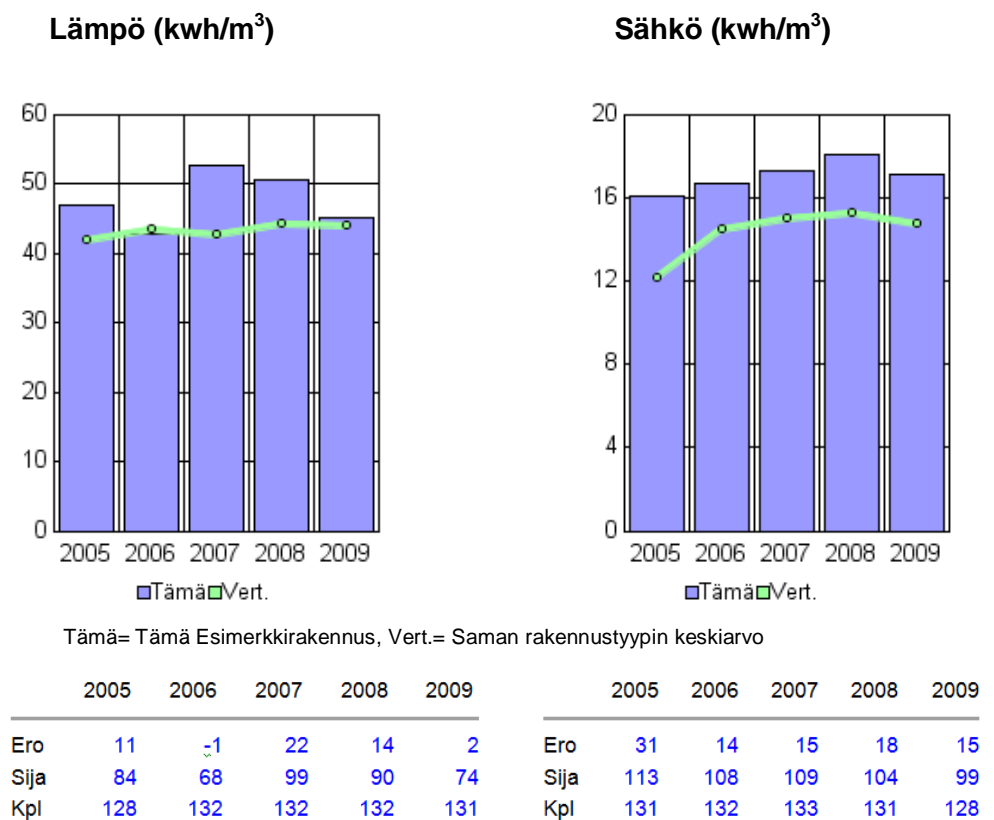
Kuluvalla vuosikymmenellä pientalojen lämmitysratkaisuja muutetaan niin, että niissä käytetään ilmaisenergiaa ja päästöttömiä energiamuotoja, kuten aurinkosähköä, maa-, kallio-, vesi-, ilmalämpöpumppuja, tuulivoimaa tai pelletti- tai bioöljypohjaista bioenergiaa. Tällaisia pientaloja, joissa muutoksia tehdään, ovat nykyiset öljylämmitystalot, vesikiertoisen ja suoran sähkölämmityksen talot, joita on tällä hetkellä yhteensä noin miljoona taloutta.

Kun halutaan parantaa energiatehokkuutta, tärkeintä on muuttaa ilmanvaihto koneelliseksi ja lämmöntalteenotolla varustetuksi järjestelmäksi. Lähitulevaisuudessa tähän kehitetään uusia tuote- ja järjestelmäratkaisuja. Myös vaipan lämmöneristävyyttä kehitetään edullisesti niin, että lisätään yläpohjan

lämmöneristystä. Seinät ja alapohjat muutetaan lämpöeristävämmiksi yleensä vain silloin, kun niitä peruskorjataan muutoin. /14, s. 260./

2.4 Esimerkkirakennus

Opinnäytetyössä esimerkkikohteena oleva rakennus on vuonna 1967 rakennettu oppilaitosrakennus. Kiinteistön omistaa Helsingin kaupunki ja sitä hallinnoi kiinteistöviraston tilakeskus. Rakennus on suurimpia lämpöenergian kuluttajia koulurakennusten ryhmässä. Kuvassa 3 on esitetty rakennuksen lämmön ja sähkön ominaiskulutus (kWh/m^3) sekä ominaiskulutuksen vertailu saman rakennustyyppin keskiarvoon.



Ero =ero (%) keskiarvoon, Sija =sijoitus, Kpl =kohteita

Kuva 3. Esimerkkirakennuksen ominaiskulutusvertailu vuosittain.

Opetusrakennukset ovat Helsingin kaupungin omistamien kiinteistöjen toiseksi suurin kiinteistöryhmä, jotka muodostavat 13 % kaupungin rakennuskannan kokonaispinta-alasta. Suurin yksittäinen kiinteistöryhmä ovat asuinkerrostalot, joiden pinta-ala on 3,8 milj. m^2 . Asuinkerrostalot ovat 52 % kau-

pungin rakennuskannan kokonaispinta-alasta. Kolmanneksi suurin ryhmä on terveydenhuoltorakennukset (7 %). /6, s. 8./

Energian kokonaiskulutusta, lämmitysenergiaa ja sähköenergiaa, tarkasteltaessa suurimpia käyttäjäryhmiä Helsingin kaupungin omistamista kiinteistöistä ovat asuinkerrostalot, 46 % kokonaiskulutuksesta, opetusrakennukset 13 %, terveydenhuoltorakennukset 9 %, teollisuusrakennukset 8 % ja liikenteen rakennukset 4 %. /6, s. 8./

2.4.1 *Esimerkkikohteena oleva oppilaitosrakennus*

Esimerkkikohde on suorakaiteen muotoinen rakennus, jossa on kellaritaso ja kolme maanpäällistä kerrosta sekä vesikatolla olevat kaksi ilmanvaihtokonehuonetta. Kellaritasossa sijaitsee autohalli, sähköpääkeskus, lämmönjakohuone, teknisiä tiloja sekä saunaosasto. Samalla tasolla kulkevat myös mittavat putkitunnelit. Esimerkkirakennuksen kerrosala on 11 369 m², bruttoala 13 900 m², tilavuus 57 373 m³.

Rakennuksen ensimmäisessä kerroksessa on opetustilaa, pieni auditorio, ruokala, keittiö, kuntosali, kirjasto ja kokoontumistiloja ja kolme sisääntuloaulaa. Rakennuksen pohjoisella maanvastaisella seinällä ensimmäisessä kerroksessa on mittavat väestönsuoja- ja sosiaalitulat.

Rakennuksen toisessa kerroksessa on opetustiloja, työsaleja, tietokonehuoneita, liikuntasali sekä hallinnon tilat. Kolmannessa kerroksessa on opetustiloja, työsaleja ja tietokonehuoneita.

Tilat ovat valmistumisestaan asti olleet ammatillisen opetuksen käytössä. Tilat sijoittuvat kahden sisäpihan ympärille siten, että pihat ovat ensimmäisessä kerroksessa avoimia yhdeltä sivultaan etelän suuntaan.

Rakennus on edustava esimerkki aikansa niukkaaleisesta, ehdottomasta ja suoralinjaisesta arkkitehtuurista. Rakennus on aikakaudelle tyypillistä modernismia. Rakennukselle on puhtaaksimuratuilla julkisivuilla, nauhaikkunoilla ja tasakatolla aikaansaatu virtaviivainen ilme.

Runkotyyppi ja rakennustekniikka

Rakennus on teräsbetoni- ja tiilirunkoinen paikalla tehty rakennus. Kantava runko on paikalla valettu pilarilaattarunko. Osa seinistä on myös kantavia

paikalla valettuja teräsbetoniseiniä, kuten osa porrashuoneissa olevista seinistä. Ulkoseinien sisäkuoret ovat paikalla valettuja betoniseiniä. Rakennuksen väli- ja yläpohjat ovat paikalla valettuja massiivisia teräsbetonilaattoja, jotka on vahvistettu teräsbetonipalkeilla. Lisäksi välipohjalaattojen ulkoseinien vieressä kiertää välipohjalaattaa vahvistava reunapalkki. Kantavan laatan varaan on valettu 50 mm paksuinen uiva teräsbetonilaatta.

Julkisivut ovat poltettua tiiltä. Julkisivuissa on tiiliverhousta kannattamassa ikkunoiden yläpuolella 430 mm korkeat teräsbetonipalkit, jotka ovat tuettu välipohjalaattoihin ratakiskokannattimilla. Korkea teräsbetonisokkeli muodostaa osan maantasokerrosten ulkoseinistä. Vesikatot ovat tasakattoja, joissa vesikatteena on huopakatto. Huopakaton päälle on asennettu PVC-muovikate noin 12 vuotta sitten vesikattosaneerauksessa. Liikuntasalissa on puurunkoinen liimapuuristikoilla kannatettu, kuparipeltinen pulpettikatto-osio.

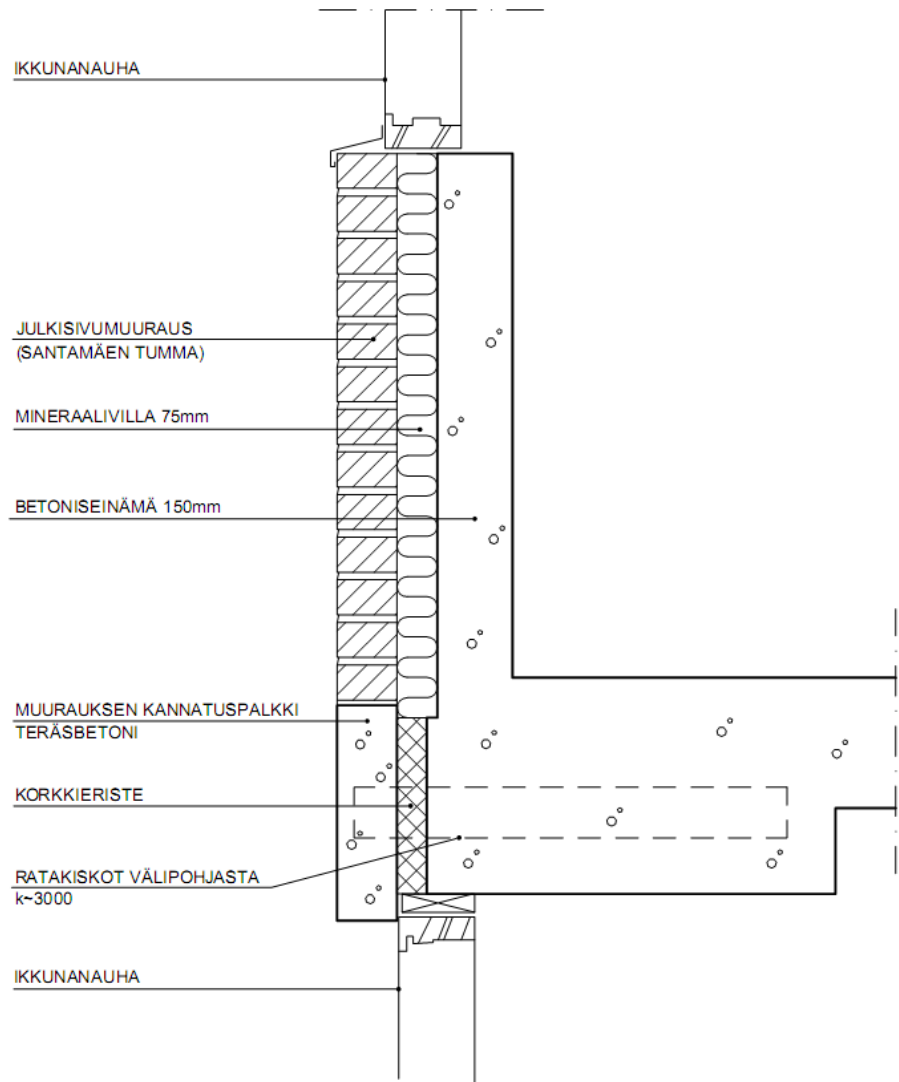
Rakennuksen tämänhetkinen kunto

Rakennuksessa on tehty pienimuotoisia korjauksia vuosien varrella, mutta merkittävää perusparannusta ei ole tehty. Rakennuksessa on todettu sisäilmaongelmia. Kuntotutkimuksessa löydettiin ulkoseinien osalta kosteusteknisiä puutteita, jotka ovat aiheuttaneet kosteusvaurioita ikkunoiden yläpuolisiin seinäosiin sekä ikkunaväleihin ja ikkunoihin. Vesikaton kallistukset eivät toimi ja katossa on ollut useita vuotokohtia.

2.4.2 *Esimerkkirakennuksen alkuperäiset rakenteet*

Ulkoseinät

Esimerkkirakennuksen alkuperäiset ulkoseinät on paikalla rakennettuja kivi-rakenteisia seiniä. Ulkoseinissä (US01) rakennekerrosten nimellispaksuudet ovat: sisäkuori 150 mm betoni, lämmöneristekerros 75 mm mineraalivilla ja ulkokuori 120 mm tiiliverhous. Esimerkkikohteessa on tiiliverhottua ulkoseinää lämmintä sisätilaa vastaan 1630 m². Julkisivuissa on tiiliverhousta kannattamassa ikkunoiden yläpuolella 430 mm korkeat ja 120 mm leveät teräsbetonipalkit, jotka on tuettu välipohjalaattoihin ratakiskokannattimilla. Lämmöneristeenä teräsbetonipalkin kohdalla on 50 mm korkkieriste. Teräsbetonipalkkia julkisivuissa on 683 m². Ulkoseinän rakennekerrokset on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Ulkoseinän rakennekerrokset.

Pääongelmat julkisivuissa:

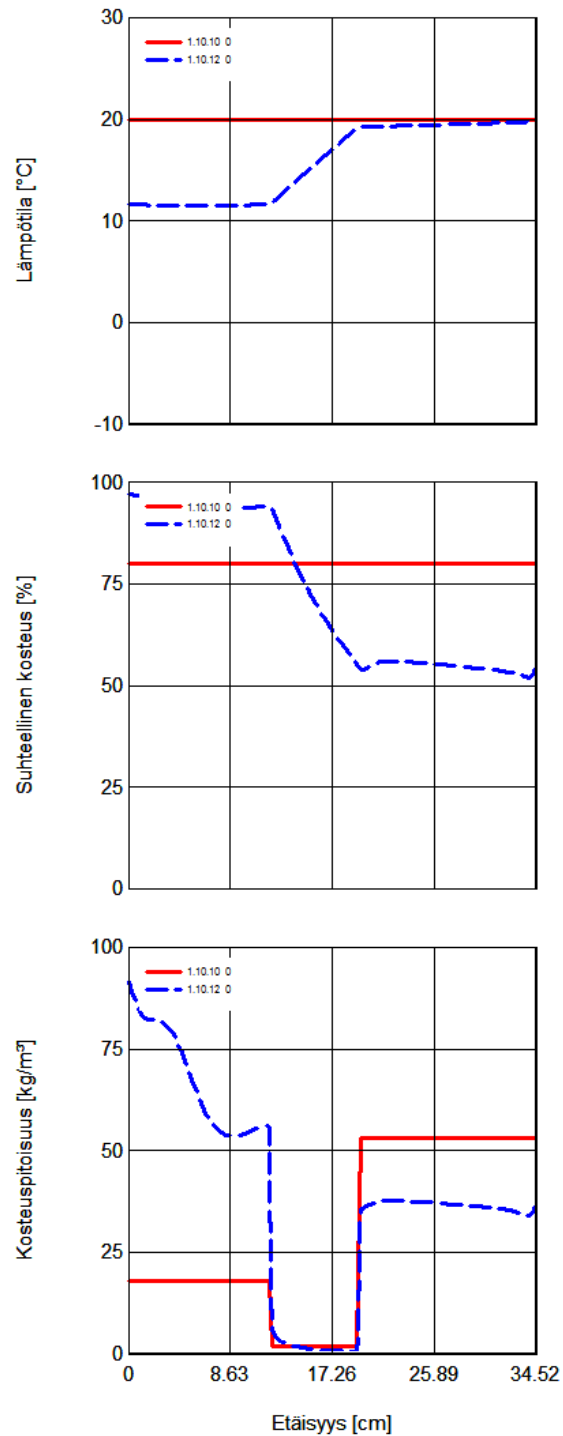
- Ulkoseinärakenne on tuulettumatonta tiilimuurausta (riskirakenne)
- Lämmöneristeenä on vain 75 mm mineraalivillaa
- Sadevesi imeytyy tiilimuurauksen läpi lämmöneristeeseen mahdollistaen hyvät olosuhteet mikrobikasvustolle
- Muurausta kannattava betonipalkki on osittain erittäin huonossa kunnossa.
- Betonipalkki on tuettu noin kolmen metrin välein ratakiskokannatuksella välipohjaan, joten rakenteessa on suoria kylmäsiltoja erittäin paljon.
- Ulkoseinän huono lämmöneristävyys.

Taulukossa 9 on esitetty alkuperäisen ulkoseinärakenteen U-arvon laskenta.

Taulukko 9. Alkuperäisen ulkoseinärakenteen U-arvo.

| US01, alkuperäinen rakenne | d [m] | λ_n [W/mK] | R_i [m ² K/W] |
|---|-------|-------------------------|----------------------------|
| Rse | | | 0,04 |
| Tiiliverhous | 0,120 | 0,6 | 0,20 |
| Mineraalivilla Isover KL 33 | 0,075 | 0,055 | 1,36 |
| Betoni | 0,150 | 1,7 | 0,09 |
| Rsi | | | 0,13 |
| | | | |
| | | | |
| Rakennusosan kokonaislämmönvastus | | R_T | 1,82 |
| U-arvo ilman korjaustekijöitä | | U | 0,55 |
| | | | |
| Ilmarakojen korjaustekijä | | ΔU_g | |
| Ilmanläpäisevyyden korjaustekijä | | ΔU_a | |
| Mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijä | | ΔU_f | 0,005 |
| RIL 225 korjaustekijät yhteensä | | $\Sigma \Delta U$ | 0,009 |
| Rakenneosan U-arvo | | U_c | 0,55 |

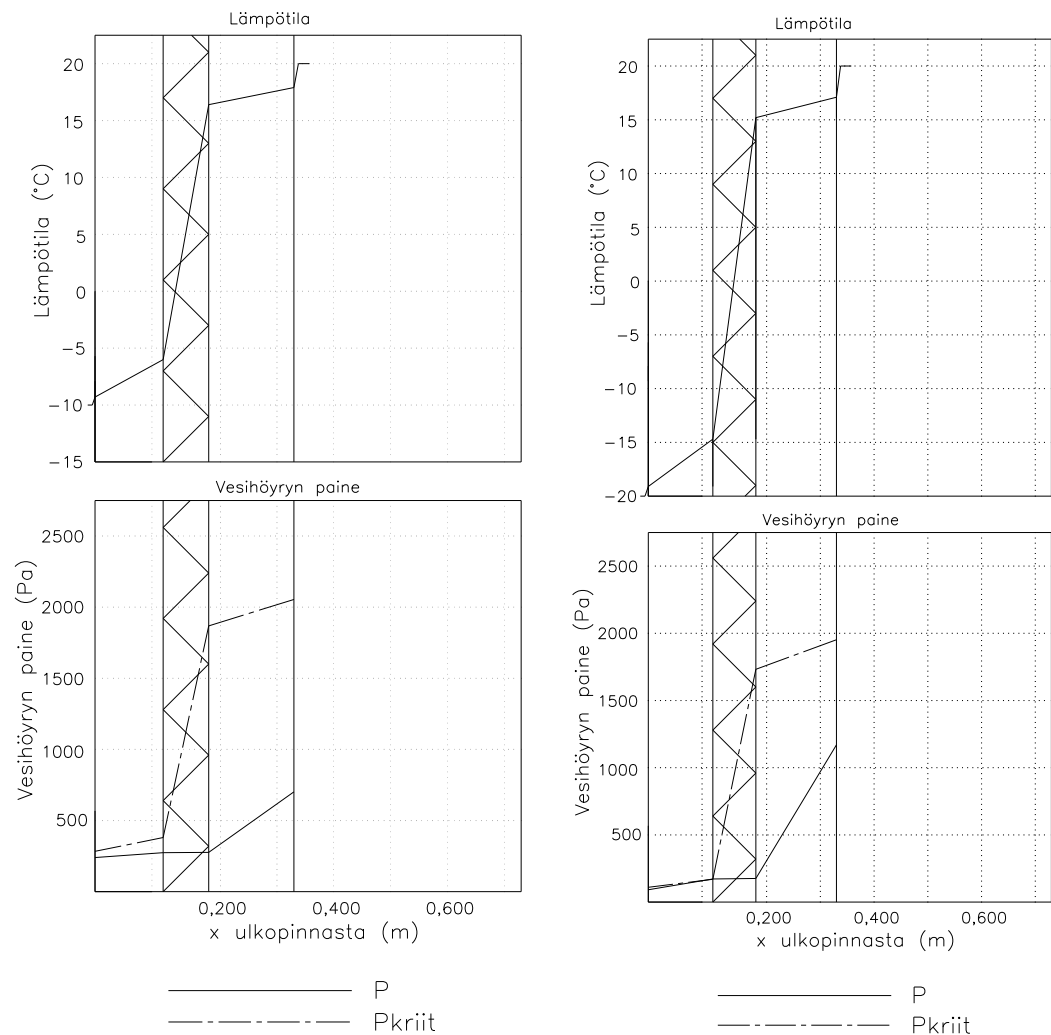
Kuvassa 5 on esitetty alkuperäisen seinärakenteen kosteusteknistä toimintaa Espoon sääoloissa laskettuna kahden vuoden aikajänteellä. Tuloksien laskennassa epästationääritilassa on käytetty WUFI Light 5.0 -kosteudenhallintaohjelmaa.



Kuva 5. Alkuperäisen seinärakenteen rakennekerrosten suhteellinen kosteus ja kosteuspitoisuus kahden vuoden laskentajaksolla.

Kuvassa 6 on esitetty alkuperäisen ulkoseinärakenteen lämpötilajakaumat ja vesihöyryn osapaineet, kun sisäilman lämpötila on +20 °C ja suhteellinen kosteus 50 %. Ulkoilman lämpötila vasemman puoleisessa kuvassa -10 °C

ja suhteellinen kosteus 90 %, oikean puoleisessa kuvassa -20 °C ja suhteellinen kosteus 90 %.



Kuva 6. Alkuperäisen seinärakenteen lämpötilajakaumat ja vesihöyryn osapaineet.

Ikkunat

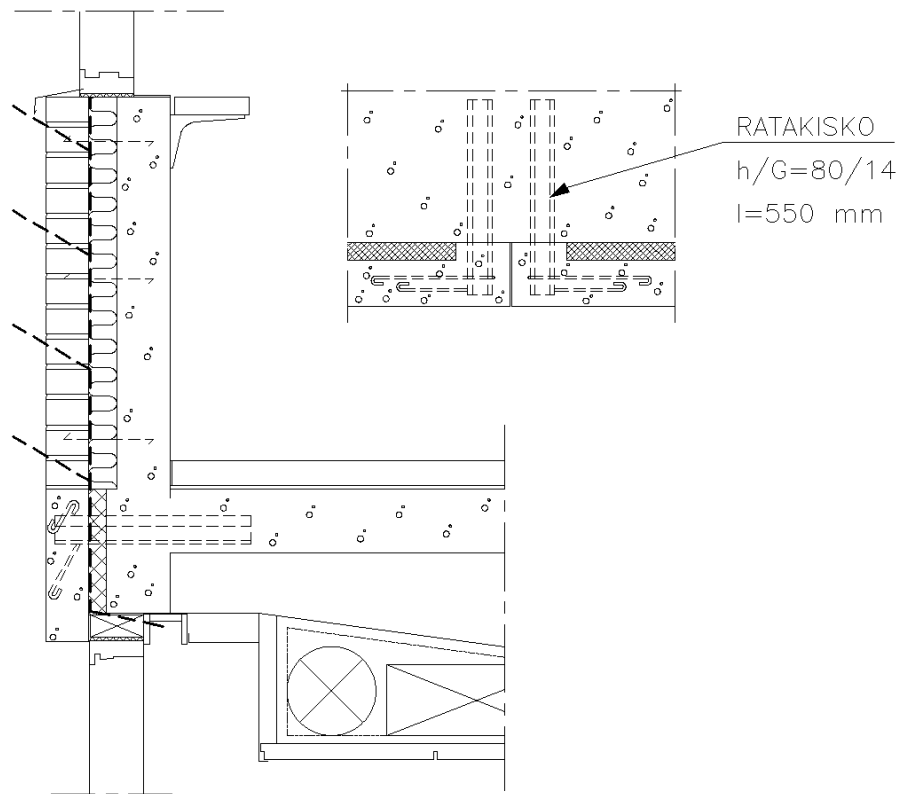
Ikkunat ovat alkuperäisiä sisäänaukeavia kaksipuitteisia kaksilasisia Ikkunoi- ta. Ikkunoiden ulkopuitteet ovat paikoitellen erittäin huonossa kunnossa. Ikkunoiden ulkopuitteissa oli säärasituksen aiheuttamia halkeamia sekä laho- vaurioita. Paikoitellen ikkunoiden sisäpinnoissa on vesivuodoista aiheutuneita veden valumajälkiä. Tiilijulkisivun läpi imeytyy viistosateella seinäraken- teeseen vettä, joka kulkeutuu eristetilaan ja sieltä edelleen ikkunan yläkarmi- rakenteisiin. Ikkunoiden välissä on peitelaudat, jotka on pinnoitettu kuparipel- lillä. Peitelaudat ja karmit ovat paikoitellen lahonneet. Rakenteen läpi virtaa-

va ilma heikentää sisäilman laatua, koska ikkunarakenteissa on havaittavaa mikrobikasvustoa. Ikkunoiden tiivisteet ja ulkopuolen kittaukset ovat huonossa kunnossa. Ikkunat ovat paikoitellen vuotaneet sisä- ja ulkopuitteen väliin vettä.

Julkisivun tiiliverhousta kannattaviin teräsbetonipalkkeihin Ikkunoiden yläpuolella on tehty lämpökatko 50 mm paksusta korkkilevystä. Vuotovesi valuu korkkilevyn kautta apukarmille ja siitä edelleen sisäpuolelle. Kyseisellä kohdalla karmeissa ja ikkunoiden väleissä on lahovaurioita. Tiiliverhousta kannattavien teräsbetonipalkkien takana olevat korkkilevyt ovat huonossa kunnossa. Korkkieriste on kauttaaltaan märkää ja siellä on todettu mikrobikasvustoa. Mikrobikasvusto aiheuttaa ilmavuotoreittien kautta sisäilmaongelmia rakennukseen.

Ikkunat ovat kaksilasisia, joten ikkunat ovat energiataloudellisesti huonoja. Osaan ikkunoista sisäpuitteen ulkopuolelle on lisätty kolmas lasi. Kohteessa olevien ikkunoiden U-arvo on noin kolme.

Auloissa olevat metallikarmiset kiinteät ikkunat ovat huonossa kunnossa. Ikkunoiden tiivistyskittaukset ovat kuoleentuneet ja ikkunoissa on havaittavissa vuotojälkiä. Metallisissa karmirakenteissa on havaittavissa korroosion aiheuttamia vaurioita ja lasissa on ruosteisen veden valumajälkiä.



Kuva 7. Vesi menee viistosateella julkisivutiilestä läpi, jolloin vesi menee eristetilaan ja valuu sieltä edelleen karmirakenteen yläosan kautta sisälle. Kuvaan on havainnollistettu veden vuoreitti.

Pääongelmat ikkunoissa:

- Ikkunat ovat kauttaaltaan huonokuntoiset ja epätiivit
- Lämmöneristekerroksen ja karmirakenteiden epäpuhtaudet pääsevät sisätiloihin ikkunarakenteiden epätiiviskohdista
- Karmirakenteiden kautta sadevesiä pääsee vuotamaan rakennuksen sisälle
- Ikkunoihin liittyvät pellitykset ovat paikoin huonossa kunnossa
- Ikkunoiden huono lämmöneristävyys sekä sisälle että ulospäin.

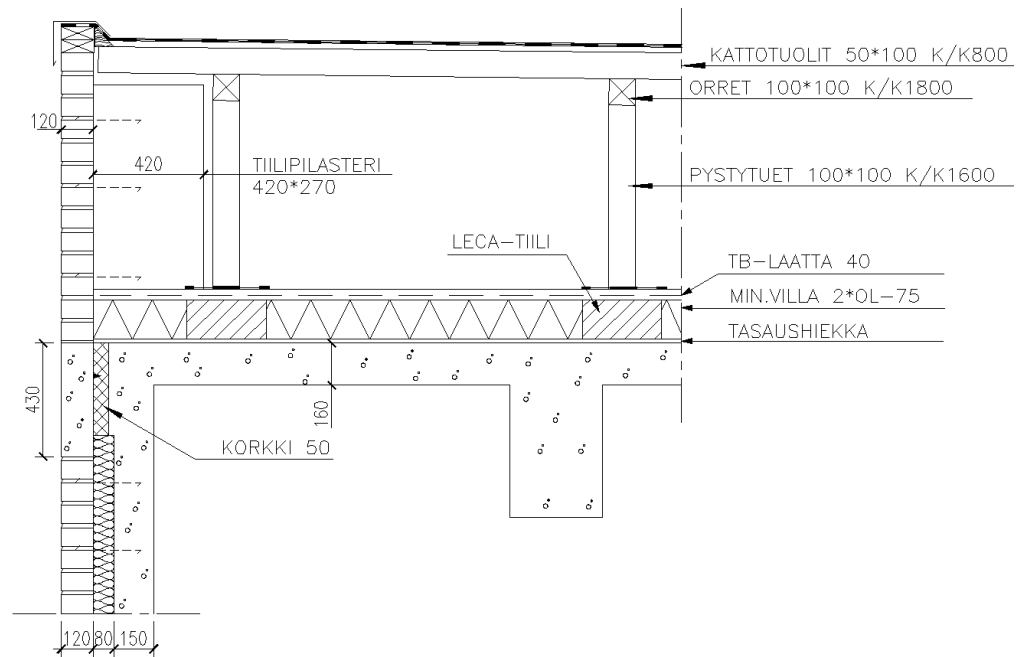
Yläpohja

Rakennuksen vesikatto on tyypiltään tasakatto. Liikuntasalin kattona on pulpettimainen jyrkähkö kuparikatto.

Tasakattoalueen yläpohjan kantavana rakenteena on paikalla valettu teräsbetonilaatta ja palkisto, jonka päälle on rakennettu puiset kattokannattajat pi-

lari-palkkityyppisesti. Vesikatteen alusrakenteena on umpilaudoitu, jonka päällä on vanha huopakate. Huopakatteen päälle on asennettu PVC-muovikate. Ilmanvaihtokonehuoneiden vaakarakenteena on siporex-lankut, joiden päällä lämmöneriste ja vesikate.

Liikuntasalin pulpettikaton kantavana rakenteena ovat massiiviset puiset ristikit ja niitä täydentävät sekundäärikannattimet. Liikuntasalin katon katteena on konesaumattu kuparipeltikate.



Kuva 8. Rakennuksen yläpohja ja vesikatto.

Pääongelmat yläpohjassa:

- Räystäskorotus on liian matala, jolloin vesi pääsee korotuksen yli voimakkaalla sateella ja etenkin talvella
- yläpohjan lämmöneristys on heikko.

Taulukossa 10 on esitetty alkuperäisen yläpohjarakenteen U-arvon laskenta.

Taulukko 10. Alkuperäisen yläpohjarakenteen U-arvo.

| US01, alkuperäinen yläpohja | d [m] | λ_n [W/mK] | R_i [m ² K/W] |
|---|-------|-------------------------|----------------------------|
| Rse | | | 0,10 |
| Bitumikermi | | | |
| Raakaponttilaudoitus | | | |
| Kattotuolit | | | |
| Tuuletettu ilmatila | | | 0,20 |
| Betoni | 0,040 | 1,7 | 0,02 |
| Mineraalivilla | 0,150 | 0,055 | 2,73 |
| Kantava betonilaatta | 0,160 | 1,7 | 0,09 |
| Rsi | | | 0,10 |
| | | | |
| Rakennusosan kokonaislämmönvastus | | R_T | 3,24 |
| U-arvo ilman korjaustekijöitä | | U | 0,31 |
| | | | |
| Ilmarakojen korjaustekijä | | ΔU_g | 0,000 |
| Ilmanläpäisevyyden korjaustekijä | | ΔU_a | 0,000 |
| Mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijä | | ΔU_f | 0,000 |
| RIL 225 korjaustekijät yhteensä | | $\Sigma \Delta U$ | 0,000 |
| Rakenneosan U-arvo | | U_c | 0,31 |

2.5 Esimerkkikohteen energiatehokkaan korjauksen ratkaisut

Tässä opinnäytetyössä olevan esimerkkikohteen julkisivukorjaustavan valinnassa otetaan huomioon rakennuksen alkuperäinen arkkitehtuuri ja rakennuksen aikakauden, 1960-luvun lopun, tyyppilliset piirteet. Rakennukseen ei kohdistu suojelumääräyksiä, mutta Helsingin rakennusvalvontavirasto edellyttää, että muutoksilla ei tuhota alkuperäistä ilmettä ja henkeä. Arkkitehtonisen ilmeen muutoksille pitää hakea kaupunkikuvaneuvottelukunnan lausunto.

Tässä luvussa esitetään energiatehokkaiden korjausvaihtoehtojen rakennustyyppisiä ulkoseinille, yläpohjalle ja ikkunoille. Vaihtoehtoiset rakenteet on valittu Suomen Rakentamismääräyskokoelman vuoden 2010 vertailuarvovaatimusten mukaan sekä RIL 249-2009 matalaenergiatalon suunnitteluarvojen mukaan. Esimerkkirakenteille laskettiin tarvittava lämmöneristepaksuus, jotta RakMK 2010 vaatimukset täyttyivät sekä RIL 249-2009 suunnitteluarvoja käyttämällä. Korjausvaihtoehtojen rakenteiden lämmönläpäisyker-

toimet on laskettu RIL 225-2004 -ohjeen mukaan. Korjausvaihtoehtojen esimerkkirakenteille on tehty kosteusteknisen toimivuuden tarkastelu WUFI Light 5.0 -ohjelmalla.

Matalaenergia- ja passiivitalon U-arvot

Kerrostalon rakennusvaipan ja ilmanvaihdon teknisiä ohjearvoja on esitetty seuraavassa taulukossa 11. Ne on määritelty tilojen energiatarveluokkien perusteella. Lämmönläpäisykertoimet (U-arvot) energiatarveluokissa M-50 ja P-25 on arvioitu toteutettujen rakennusten kokemusten perusteella ja energiankulutuksista tietokoneella tehdyillä laskelmilla. Matalaenergia- ja passiivitaloissa nämä ovat ohjearvoja ja lopulliset U-arvot määritetään tapauskohtaisilla energiankulutuslaskelmilla. /14. s. 33 – 34./

Taulukko 11. Kerrostalon rakennusvaipan ja ilmanvaihdon teknisiä ohjearvoja.

| Tekninen tekijä | Normitalo RakMK C3- määräys 2010 | Matalaener- giatalo M-50 | Passiivitalo P-25 |
|--|--|-----------------------------|----------------------|
| U-arvot, W/m ² K | | | |
| -alapohja maanvastainen | 0,16 | 0,12 | 0,10 |
| -alapohja ryömintätilaan | 0,17 | 0,10 | 0,10 |
| -alapohja ulkoilmaan | 0,09 | 0,09 | 0,08 |
| -ulkoseinä | 0,17 | 0,14 | 0,12 |
| -yläpohja | 0,09 | 0,08 | 0,08 |
| -ikkunat | 1,0 | 0,9 | 0,8 |
| -ovet | 1,0 | 0,6 | 0,5 |
| Vaipan ilmanvuotoluku n ₅₀ , 1/h | < 2,0 | < 0,8 | < 0,6 |
| Lämmöntalteenoton vuo- sihyötysuhde % | > 45 | > 65 | > 75 |

2.5.1 *Ulkoseinät*

Ulkoseinän lisäeristys voidaan tehdä purkamalla vanha julkisivumuuraus sekä muurauksen kannatuspalkit. Vanhat lämmöneristeet, sekä mineraalivillaneristeet että kannatuspalkkien takana olevat korkkieristeet puretaan. Kannatuspalkkien tuentana välipohjiin olevat rataakiskot katkaistaan. Purkamisen jälkeinen työ on menetelmiltään uudisrakentamisen kaltainen.

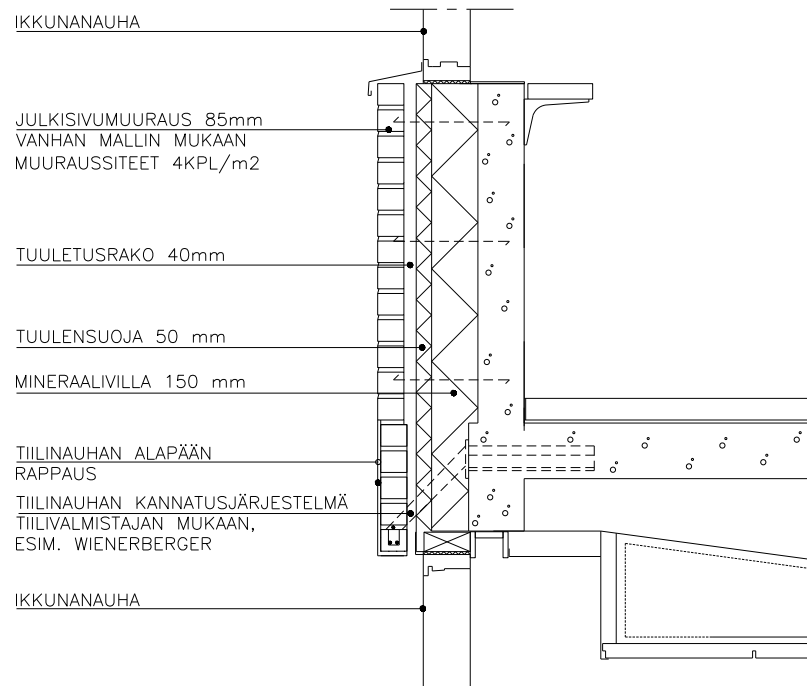
Uusi ulkoseinärakenne tehdään tuulettuvaksi, jolloin tiiliverhoukseen tunkeutuva sadevesi pääsee kuivumaan tuuletusvälin kautta. Kerroksittain kannatettu tiiliverhous kannatetaan teräskonsoleilla, jotka tuetaan välipohjiin.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan energiatehokkaan korjauksen kannalta kahta vaihtoehtoa seuraavasti:

- US01a: RakMK C3 2010 vaatimukset täyttävä ulkoseinärakenne
- US01b: RIL 249-2009 suunnitteluarvoja käyttämällä suunniteltu ulkoseinärakenne.

Esimerkki US01a

Kuvassa 9 on esitetty uusilla lämmöneristeillä, mineraalivillalla sekä tuulensuojamineraalivillalla, eristetty seinärakenne. Seinärakenne täyttää vuoden 2010 lämmöneristysvaatimukset. Uusi tuulettuva seinärakenne on suunniteltu 85 mm leveällä poltetulla tiiliverhouksella, jossa käytetään 40 mm tuuletusväliä tiilimuurauksen ja tuulensuojamineraalivillan välissä. Vanha tiilinauhaa kannattava teräsbetonipalkki on korvattu tiilinauhan kannatusjärjestelmällä. Vanhassa julkisivussa ollut palkkirakenne on uudessa seinärakenteessa korvattu tiilimuurauksen alapään rappauksella, jolloin julkisivu on saatu pysymään ilmeeltään samanlaisena kuin vanhassa seinässä.



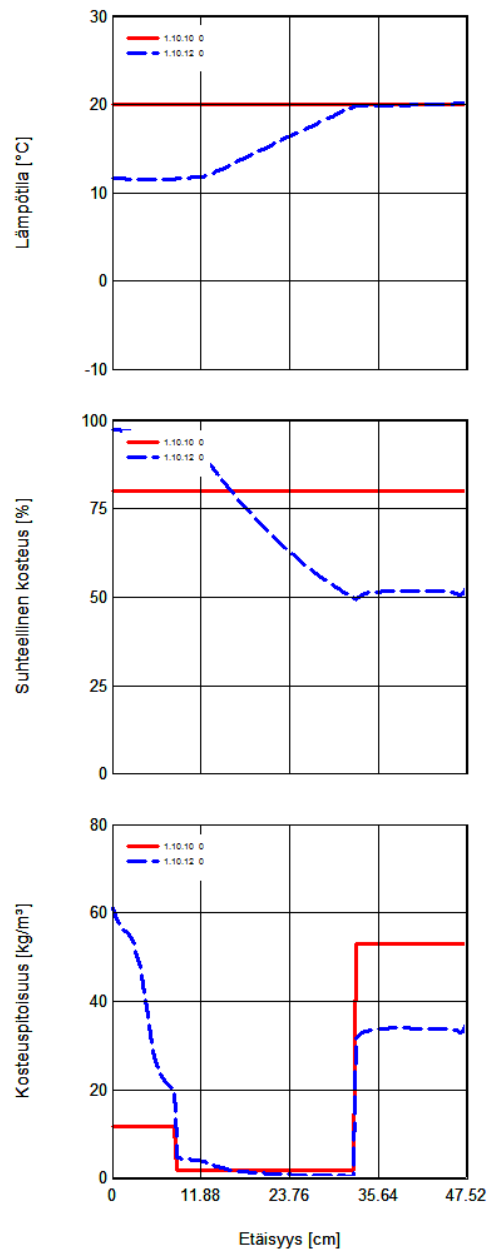
Kuva 9. US01a: RakMK C3 vuoden 2010 vaatimukset täyttävä ulkoseinärakenne.

Taulukossa 12 on esitetty U-arvon laskenta, jolla on saavutettu vuoden 2010 määräysten mukainen lämmönläpäisykertoimen vertailuarvo.

Taulukko 12. Vuoden 2010 lämmöneristysmääräykset täyttävän seinärakenteen U-arvolaskelma.

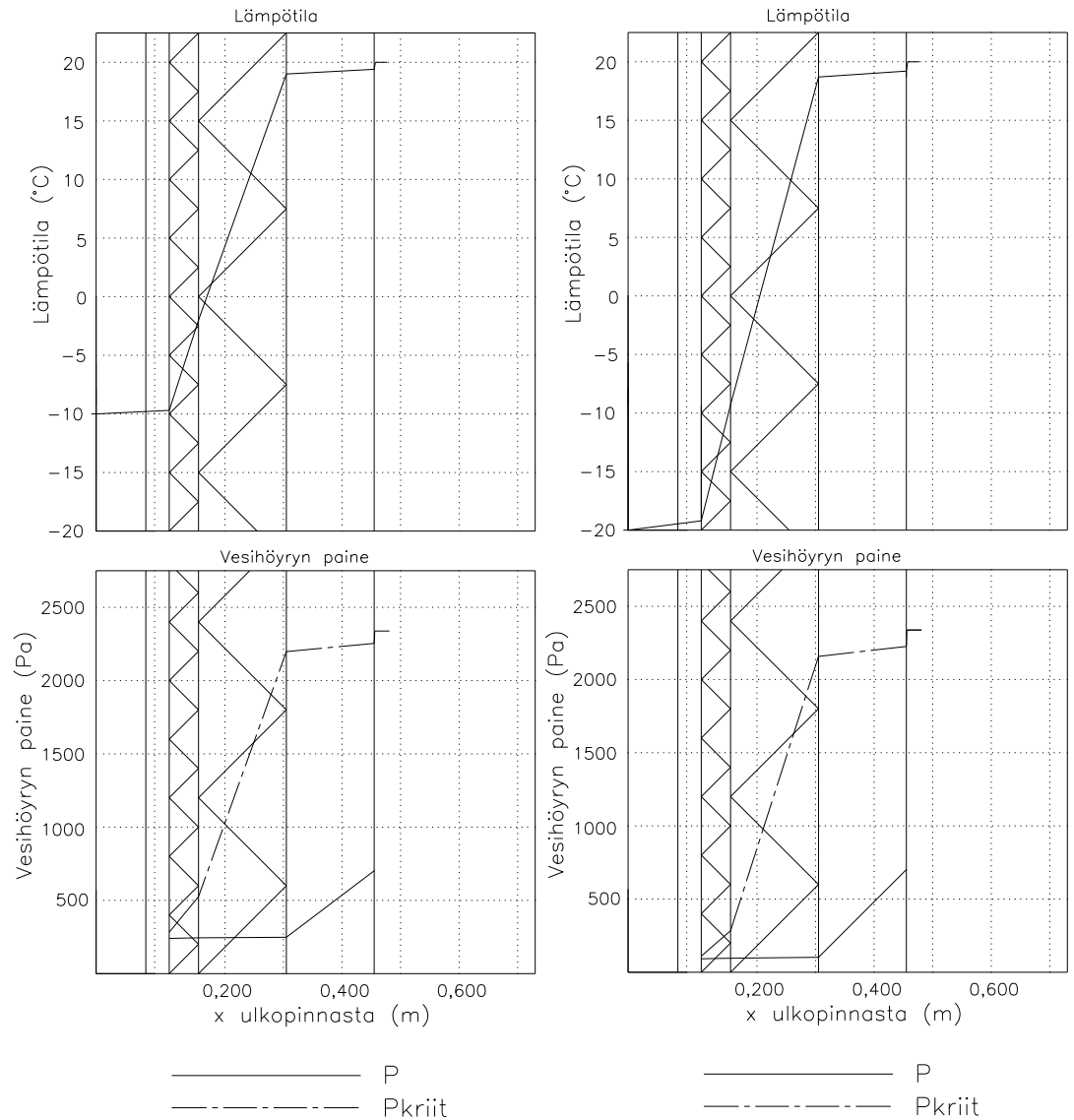
| US01a 2010 VERTAILUARVO | d [m] | λ_{design} [W/mK] | R_i [m ² K/W] |
|---|-------|----------------------------------|----------------------------|
| R _{se} | | | 0,13 |
| Tiiliverhous | 0,085 | | |
| Ilmarako | 0,040 | | |
| Tuulensuoja Isover RKL-FACADE | 0,050 | 0,031 | 1,61 |
| Mineraalivilla Isover KL 33 | 0,150 | 0,033 | 4,55 |
| Betoni | 0,150 | 1,7 | 0,09 |
| R _{si} | | | 0,13 |
| Rakennusosan kokonaislämmönvastus | | R _T | 6,51 |
| U-arvo ilman korjaustekijöitä | | U | 0,15 |
| Ilmarakojen korjaustekijä | | ΔU_g | 0,009 |
| Ilmanläpäisevyyden korjaustekijä | | ΔU_a | 0,004 |
| Mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijä | | ΔU_f | 0,005 |
| RIL-225 korjaustekijät yhteensä | | $\Sigma \Delta U$ | 0,017 |
| Rakenneosan U-arvo | | U_c | 0,17 |

Kuvassa 10 on esitetty US01a-seinärakenteen kosteusteknistä toimintaa Espoon sääoloissa laskettuna kahden vuoden aikajänteellä. Tuloksien laskennassa epästationääritilassa on käytetty WUFI Light 5.0 -kosteudenhallintaohjelmaa.



Kuva 10. US01a-seinärakenteen rakennekerrosten suhteellinen kosteus ja kosteuspitoisuus kahden vuoden laskentajaksolla.

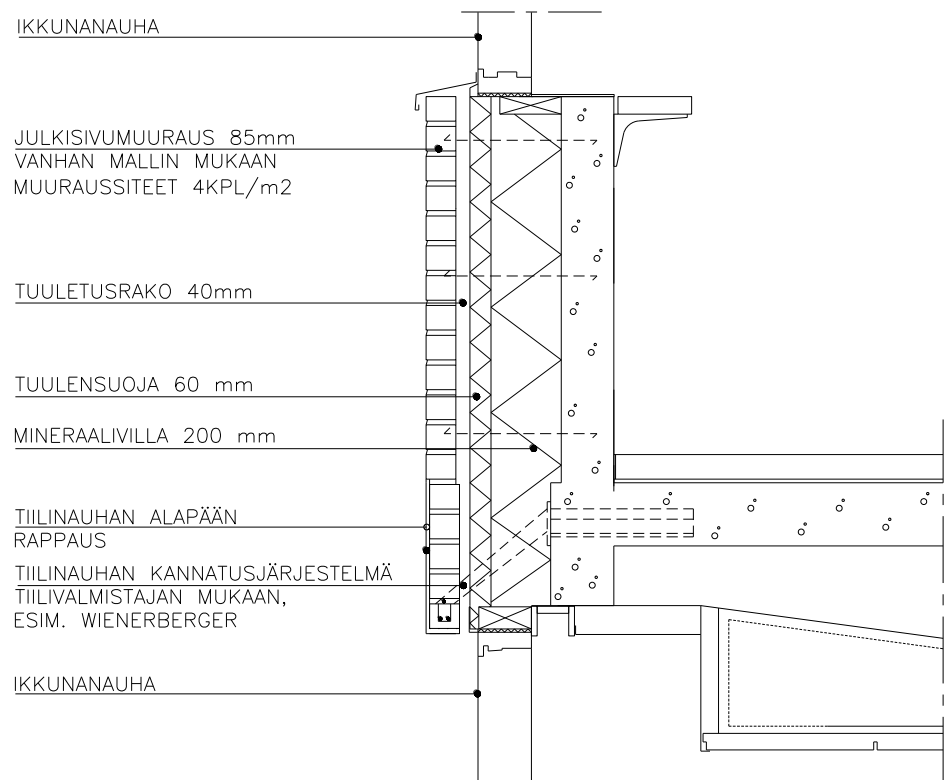
Kuvassa 11 on vuoden 2010 lämmöneristysmääräyksillä olevan seinärakenteen lämpötilajakaumat ja vesihöyryn osapaineet, kun sisäilman lämpötila on +20 °C ja suhteellinen kosteus 30 %. Ulkoilman lämpötila vasemman puoleisessa kuvassa -10 °C ja suhteellinen kosteus 90 %, oikean puoleisessa kuvassa -20 °C ja suhteellinen kosteus 90 %.



Kuva 11. Vuoden 2010 lämmöneristysmääräyksillä olevan seinärakenteen lämpötilajakaumat ja vesihöyryn osapaineet.

Esimerkki US01b

Kuvassa 12 on esitetty uusilla lämmöneristeillä, mineraalivillalla sekä tuulensuojamineraalivillalla eristetty seinärakenne. Käytetty seinärakenteen U-arvo täyttää RIL 249-2009 asettamat matalaenergiatalon M-50 ohjearvot. Uusi tuulettuva seinärakenne on suunniteltu 85 mm leveällä poltetulla tiiliverhouksella, jossa käytetään 40 mm tuuletusväliä tiilimuurauksen ja tuulensuojamineraalivillan välissä. Vanha tiilinauhaa kannattava teräsbetonipalkki on korvattu tiilinauhan kannatusjärjestelmällä. Vanhassa julkisivussa ollut palkkirakenne on uudessa seinärakenteessa korvattu tiilimuurauksen alapään rappausella ulkonäön vuoksi.



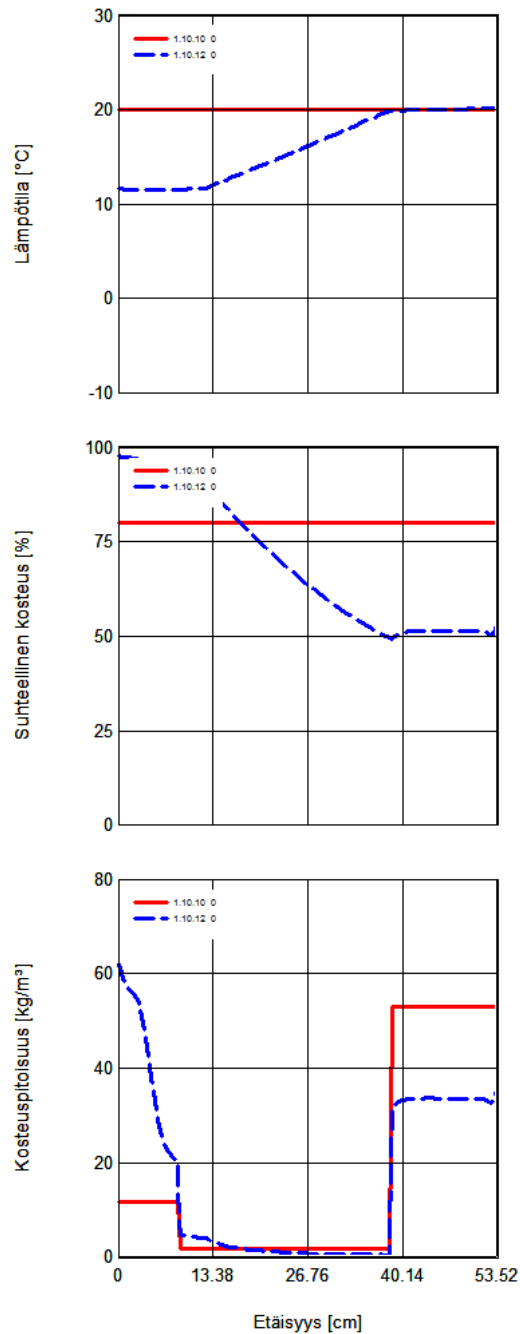
Kuva 12. US01b: RIL 249-2009 asettamat matalaenergiatalon M-50 ohjearvot täyttävä ulkoseinärakenne.

Taulukossa 13 on esitetty U-arvon laskenta, jolla on saavutettu RIL 249-2009 asettamat matalaenergiatalon M-50 ohjearvot täyttävä ulkoseinärakenne.

Taulukko 13. RIL 249-2009 asettamat matalaenergiatalon M-50 ohjearvot täyttävä ulkoseinärakenne.

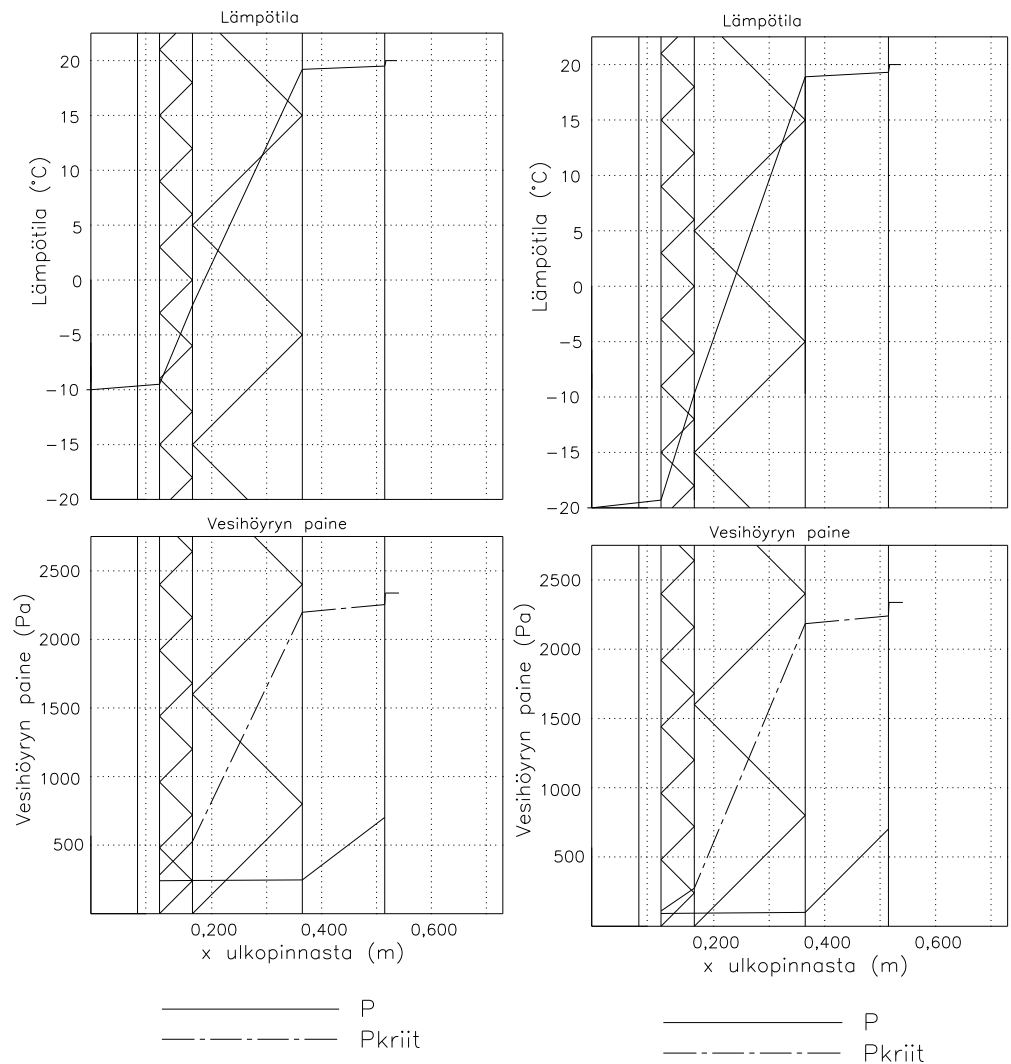
| US01b MATALAENERGIATALO | d [m] | λ_{design} [W/mK] | R_i [m ² K/W] |
|---|-------|----------------------------------|----------------------------|
| Rse | | | 0,13 |
| Tiiliverhous | 0,085 | | |
| Ilmarako | 0,040 | | |
| Tuulensuoja Isover RKL-A | 0,060 | 0,031 | 1,94 |
| Mineraalivilla Isover KL 35 | 0,200 | 0,035 | 5,71 |
| Betoni | 0,150 | 1,7 | 0,09 |
| Rsi | | | 0,13 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| Rakennusosan kokonaislämmönvastus | | R_T | 8,00 |
| U-arvo ilman korjaustekijöitä | | U | 0,13 |
| | | | |
| Ilmarakojen korjaustekijä | | ΔU_g | 0,009 |
| Ilmanläpäisevyyden korjaustekijä | | ΔU_a | 0,004 |
| Mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijä | | ΔU_f | 0,004 |
| RIL-225 korjaustekijät yhteensä | | $\Sigma \Delta U$ | 0,017 |
| Rakenneosan U-arvo | | U_c | 0,14 |

Kuvassa 13 on esitetty ulkoseinärakenteen US01b kosteusteknistä toimintaa Espoon sääoloissa laskettuna kahden vuoden aikajänteellä. Tulosten laskennassa epästationääritilassa on käytetty WUFI Light 5.0 -kosteudenhallintaohjelmaa.



Kuva 13. US01b-seinärakenteen rakennekerrosten suhteellinen kosteus ja kosteuspitoisuus kahden vuoden laskentajaksolla.

Kuvassa 14 on RIL 249-2009 asettamat matalaenergiatalon M-50 ohjearvot täyttävän seinärakenteen lämpötilajakaumat ja vesihöyryn osapaineet, kun sisäilman lämpötila on +20 °C ja suhteellinen kosteus 30 %. Ulkoilman lämpötila vasemman puoleisessa kuvassa -10 °C ja suhteellinen kosteus 90 %, oikean puoleisessa kuvassa -20 °C ja suhteellinen kosteus 90 %.



Kuva 14. RIL 249-2009 asettamat matalaenergiatalon M-50 ohjearvot täyttävän seinärakenteen lämpötilajakaumat ja vesihöyryn osapaineet.

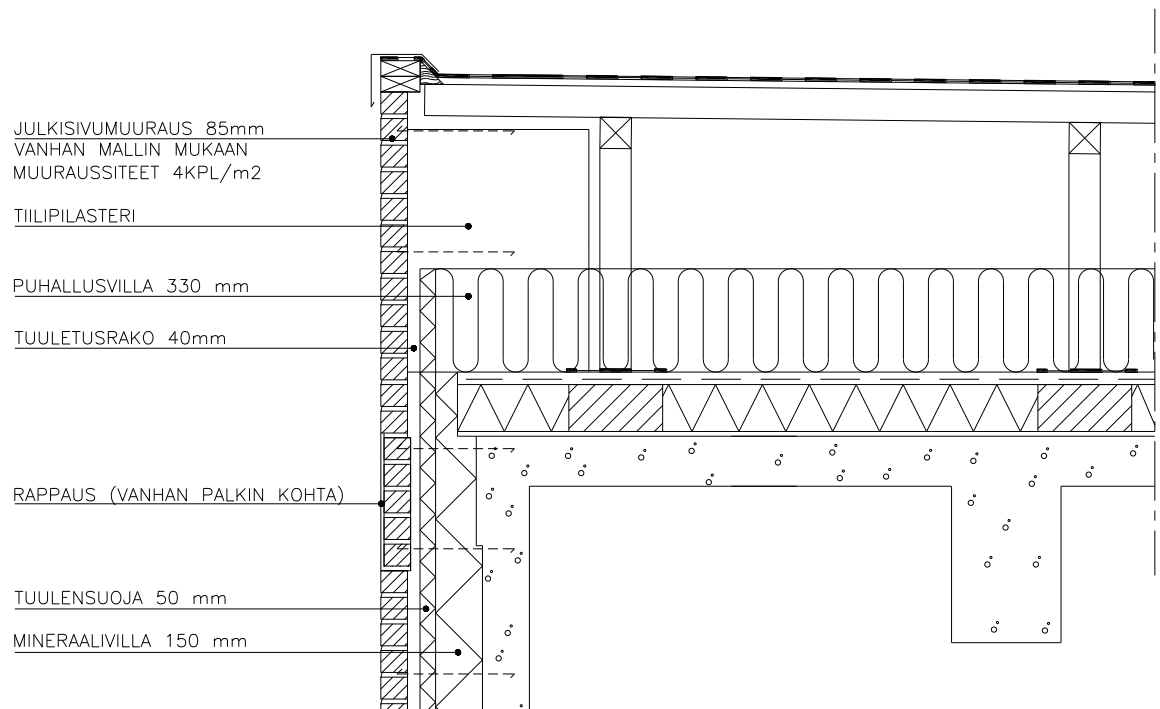
2.5.2 Yläpohja

Yläpohjan lisäeristäminen voidaan tehdä puhallusvillalla suoraan vanhan yläpohjan päälle. Esimerkkikohteessa puhallusvillan asentaminen onnistuu hyvin, koska yläontelossa on riittävästi korkeutta. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan energiatehokkaan korjauksen kannalta kahta vaihtoehtoa yläpohjan lisälämmöneristämiseksi seuraavasti:

- YP01a: RakMK C3 2010 vaatimukset täyttävä yläpohjarakenne
- YP01b: RIL 249-2009 suunnitteluarvoja käyttämällä suunniteltu yläpohjarakenne.

Esimerkki YP01a

Yläpohjan lisäeristäminen tehdään puhallusvillalla, jossa yläpohjan yläonteloon lisätään 330 mm puhallusvillaa seuraavan kuvan mukaisesti.



Kuva 15. YP01a: RakMK C3 vuoden 2010 vaatimukset täyttävä yläpohjarakenne.

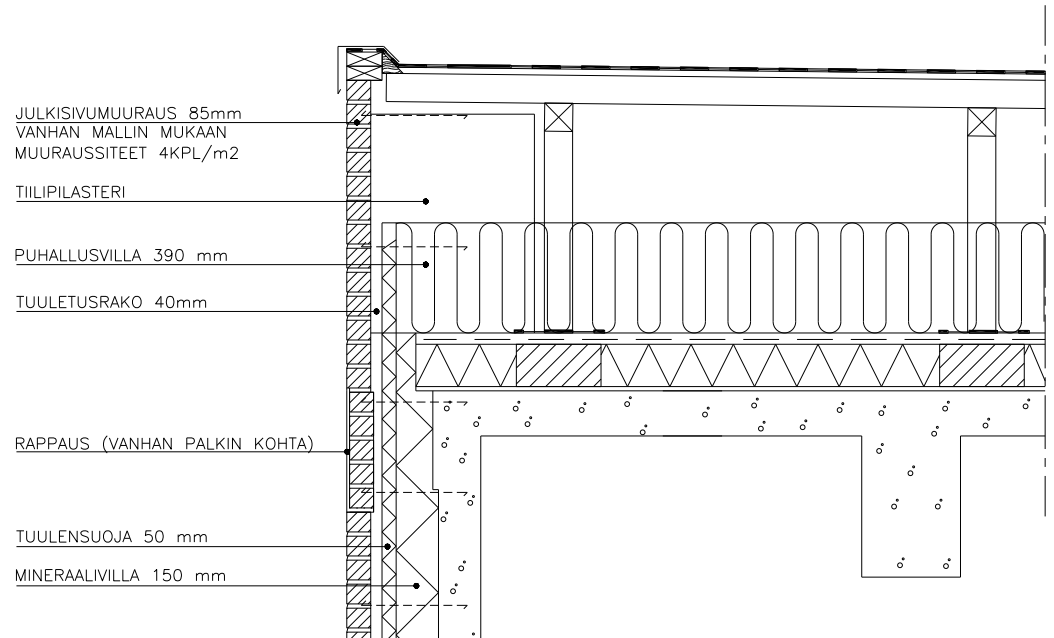
Taulukossa 14 on esitetty U-arvon laskenta, jolla on saavutettu yläpohjalle vuoden 2010 määräysten mukainen lämmönläpäisykerroimen vertailuarvo.

Taulukko 14. Vuoden 2010 lämmöneristysmääräykset täyttävän yläpohjarakenteen U-arvolaskelma.

| YP01a, 2010 VERTAILUARVO | d [m] | λ_n [W/mK] | R_i [m ² K/W] |
|---|-------|-------------------------|----------------------------|
| Rse | | | 0,10 |
| Bitumikermi | | | |
| Raakaponttilaudoitus | | | |
| Kattotuolit | | | |
| Tuuletettu ilmatila | | | 0,20 |
| Mineraalivilla | 0,330 | 0,041 | 8,05 |
| Betoni | 0,040 | 1,7 | 0,02 |
| Mineraalivilla | 0,150 | 0,055 | 2,73 |
| Kantava betonilaatta | 0,160 | 1,7 | 0,09 |
| Rsi | | | 0,10 |
| | | | |
| Rakennusosan kokonaislämmönvastus | | R_T | 11,29 |
| U-arvo ilman korjaustekijöitä | | U | 0,09 |
| | | | |
| Ilmarakojen korjaustekijä | | ΔU_g | 0,000 |
| Ilmanläpäisevyyden korjaustekijä | | ΔU_a | 0,005 |
| Mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijä | | ΔU_f | 0,000 |
| RIL 225 korjaustekijät yhteensä | | $\Sigma \Delta U$ | 0,005 |
| Rakenneosan U-arvo | | U_c | 0,09 |

Esimerkki YP01b

Yläpohjan lisäeristäminen tehdään puhallusvillalla, jossa yläpohjan yläonteloon lisätään 390 mm puhallusvillaa seuraavan kuvan mukaisesti.



Kuva 16. YP01b: RIL 249-2009 asettamat matalaenergiatalon M-50 ohjeavot täytävä yläpohjarakenne.

Taulukossa 15 on esitetty U-arvon laskenta, jolla on saavutettu RIL 249-2009 asettamat matalaenergiatalon M-50 ohjearvot täyttävä yläpohjarakenne.

Taulukko 15. RIL 249-2009 asettamat matalaenergiatalon M-50 ohjearvot täyttävä yläpohjarakenne.

| YP01b, MATAEAENERGIA | d [m] | λ_n [W/mK] | R_i [m ² K/W] |
|---|-------|-------------------------|----------------------------|
| Rse | | | 0,10 |
| Bitumikermi | | | |
| Raakaponttilaudoitus | | | |
| Kattotuolit | | | |
| Tuuletettu ilmatila | | | 0,20 |
| Mineraalivilla | 0,390 | 0,041 | 9,51 |
| Betoni | 0,040 | 1,7 | 0,02 |
| Mineraalivilla | 0,150 | 0,055 | 2,73 |
| Kantava betonilaatta | 0,160 | 1,7 | 0,09 |
| Rsi | | | 0,10 |
| | | | |
| Rakennusosan kokonaislämmönvastus | | R_T | 12,76 |
| U-arvo ilman korjaustekijöitä | | U | 0,08 |
| | | | |
| Ilmarakojen korjaustekijä | | ΔU_g | 0,000 |
| Ilmanläpäisevyyden korjaustekijä | | ΔU_a | 0,006 |
| Mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijä | | ΔU_f | 0,000 |
| RIL 225 korjaustekijät yhteensä | | $\Sigma \Delta U$ | 0,006 |
| Rakenneosan U-arvo | | U_c | 0,08 |

2.5.3 Ikkunat

Ikkunoiden energialuokitus

Ikkunoiden energialuokitus (E-arvo) perustuu luokitteluun laskennallisen vuotuisen energiankulutuksen perusteella. Eri ikkunoiden luokitusarvot saadaan kertomalla lämpötekniset ominaisuudet vakioilla A, B ja C ja laskemalla tulot yhteen. Tämä E-arvo saadaan kaavasta 1 /25, s. 30 – 38./:

$$E = A * U + B * g + C * L \quad (1)$$

jossa

| | |
|---------|---|
| E | Vuotuinen energiankulutus (kWh/m ² /a) |
| U | Lämmönläpäisykerroin (W/m ² K) |
| g | Ikkunan auringonsäteilyn kokonaisläpäisyuhde (-) |
| L | Ilmanläpäisevyys (m ³ /m ² h) |
| A, B, C | Ilmastosta, sijainnista ja rakennuksesta riippuvia kertoimia. |

Kertoimien A, B ja C arvot eri paikkakunnilla:

| Rakennuksen sijainti | A | B | C |
|----------------------|-----|------|----|
| Helsinki | 125 | -170 | 45 |
| Jyväskylä | 140 | -160 | 50 |
| Sodankylä | 175 | -185 | 60 |

Taulukossa 16 on esitetty ikkunoiden energialuokkien luokkajako. Luokkien välinen ero on 20 kWh/m²a. Luokassa A ei ole alarajaa eikä luokassa G ole ylärajaa, joten luokkaan G kuuluvat käytännössä yhdellä ja kahdella tavallisella lasilla varustetut ikkunat.

Taulukko 16. Ikkunoiden energialuokat vuotuisen energiankulutuksen perusteella. /25, s. 38/

| Luokka | A | B | C | D | E | F | G |
|-------------------------------|------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| E-arvo (kWh/m ² a) | E≤85 | 85<E≤105 | 105<E≤125 | 125<E≤145 | 145<E≤165 | 165<E≤185 | E>185 |

Tässä opinnäytetyössä olevassa esimerkkitilanteessa vertaillaan neljää erilaista ikkunoiden korjausvaihtoehtoa, jotka ovat:

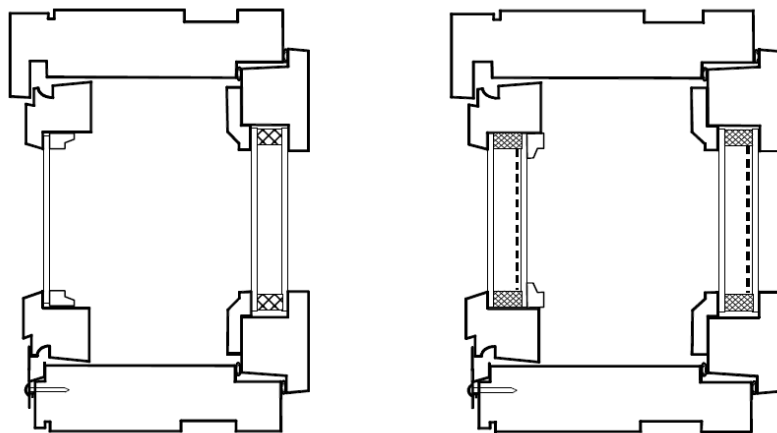
- Vaihtoehto A: Vanhat ikkunat kunnostetaan (Energialuokan G ikkuna, jonka U-arvo on noin $3 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Vaihtoehto B: RakMK C3 vuoden 2010 määräykset täyttävä ikkuna. (Energialuokan A ikkuna, jonka U-arvo on $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Vaihtoehto C: RIL 249-2009 asettamat matalaenergiatalon M-50 ohjearvot täyttävä matalaenergiainkuna (Energialuokan A ikkuna, jonka U-arvo on $0,76 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Vaihtoehto D: MSE-tyyppinen ikkuna (Energialuokan C ikkuna, jonka U-arvo on $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Vaihtoehdon B ikkuna on sisäänaukeava MSE-tyypin kaksipuitteinen ja kolmilasinen puu-alumiini-ikkuna, jonka sisäpuiteessa on eristyslaselementti. Ikkunan karmin uloin pinta ja ulkopuite ovat alumiinia. Ikkunan valmistajalta saadun tiedon mukaan MSE-ikkunan U-arvo on $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja ikkunan energialuokka on A. /26./

Vaihtoehdon C ikkuna on sisäänaukeava MS2E-tyypin kaksipuitteinen ja nelilasininen puuikkuna, jonka molemmissa puitteissa on selektiivinen eristyslaselementti. Ikkunan ulkopuitemateriaali on komposiittia. Ikkunan valmistajalta saadun tiedon mukaan MS2E-ikkunan U-arvo $0,76 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja ikkunan energialuokka on A. /27./

Vaihtoehdon D MSE-ikkuna on kaksipuitteinen kolmilasinen puualumiini-ikkuna, jonka sisäpuiteessa on argontäytteinen selektiivipintainen eristyslaselementti. Ulkopuite on yksilasinen. Ikkunan U-arvo on $1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Kuvassa 17 on esitetty periaatekuva MSE- ja MS2E-ikkunasta.



Kuva 17. MSE- ja MS2E-ikkunoiden periaateleikkauskuvat.

3 MÄÄRÄYKSET JA OHJEET

3.1 Rakennusten energiatehokkuusmääräykset

Tällä hetkellä korjausrakentamisessa noudatetaan uudistuotannon määräyksiä soveltuvin osin, koska korjausrakentamista koskevia rakentamismääräyksiä ei vielä ole olemassa. Kehitteillä on kuitenkin myös korjausrakentamisen energiatehokkuuteen kohdistuva määräys "Rakennuksen energiatehokkuus korjausrakentamisessa" (H1). Koska korjausrakentamiseen kohdistuvat määräykset ja ohjeet tulevat uuden H1-määräyksen jälkeenkin olemaan vähäisiä, on TEM:n energiatehokkuussuosituksilla ehkä suurempi rooli korjausrakentamisessa kuin uudistuotannossa. /3, s. 7./

Vuoden 2008 alusta astui voimaan asetus uusien rakennusten energiatodistuksista, joka laajeni vuoden 2009 alusta koskemaan myös vanhoja rakennuksia. Energiatodistuksen avulla voidaan vertailla rakennusten energiatehokkuutta.

Energiankulutusta arvioidaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 (Rakennuksen energiankulutus ja lämmitystehontarpeen laskenta) mukaisesti. Määräyksissä lasketaan erikseen tilojen lämpöväiöenergia, käyttöveden lämmitystarve, lämmitysjärjestelmien lämpöväiöenergiat, lämpökuormat, laitesähkönkulutus ja jäähdytysenergian tarve. Energiankulutusten pohjalta lasketaan bruttoalaan suhteutettu energiatehokkuusluku. Energiatehokkuusluvun perusteella määräytyy rakennuksen energialuokka asteikolla A-G.

Uudet energiamääräykset

Ympäristöministeriön asettamat uudet energiamääräykset tulivat voimaan vuoden 2010 alusta. Uusien määräysten myötä uusien talojen energiamääräykset tiukentuivat noin 30 - 40 prosenttia aikaisemmista vaatimuksista. Uudisrakennuksissa määräysten tiukennuksen johdosta voidaan alkaa puhua matalaenergiatalojen rakentamisesta.

Seuraavassa taulukossa on selvitetty lämmönläpäisevyyden tiukentumista Suomen rakentamismääräyskokoelmassa RakMK C3 vuodesta 1976 lähtien:

Taulukko 17. Lämmöneristysvaatimusten muuttuminen RakMK C3:ssa.

| Tekninen tekijä | Suomen rakentamismääräyskokoelma C3 | | | | | |
|---|-------------------------------------|------|------|------|------|------|
| | 1976 | 1978 | 1985 | 2003 | 2007 | 2010 |
| Rakennusosien U-arvot | | | | | | |
| Ulkoseinä | 0,4 | 0,29 | 0,28 | 0,25 | 0,24 | 0,17 |
| Yläpohja | 0,35 | 0,23 | 0,22 | 0,16 | 0,15 | 0,09 |
| Alapohja, maanvastainen | 0,40 | 0,40 | 0,36 | 0,25 | 0,24 | 0,16 |
| Ikkunat | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 1,4 | 1,4 | 1,0 |
| Ovet | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 1,4 | 1,4 | 1,0 |
| Muut tekniset tekijät | | | | | | |
| n_{50} -luku | 6 | 6 | 6 | 4 | 4 | 2 |
| LTO:n vuosihyötysuhde | 0 | 0 | 0 | 30% | 30% | 45% |
| Vaipan lämpöhäviöiden jousto | 0 | 0 | 0 | 10% | 20% | 30% |
| Lämmitysenergian enimmäistarve ilman käyttöveden lämmitystä (kWh/hyöty-m ² /v) | | | | | 75 | 65 |

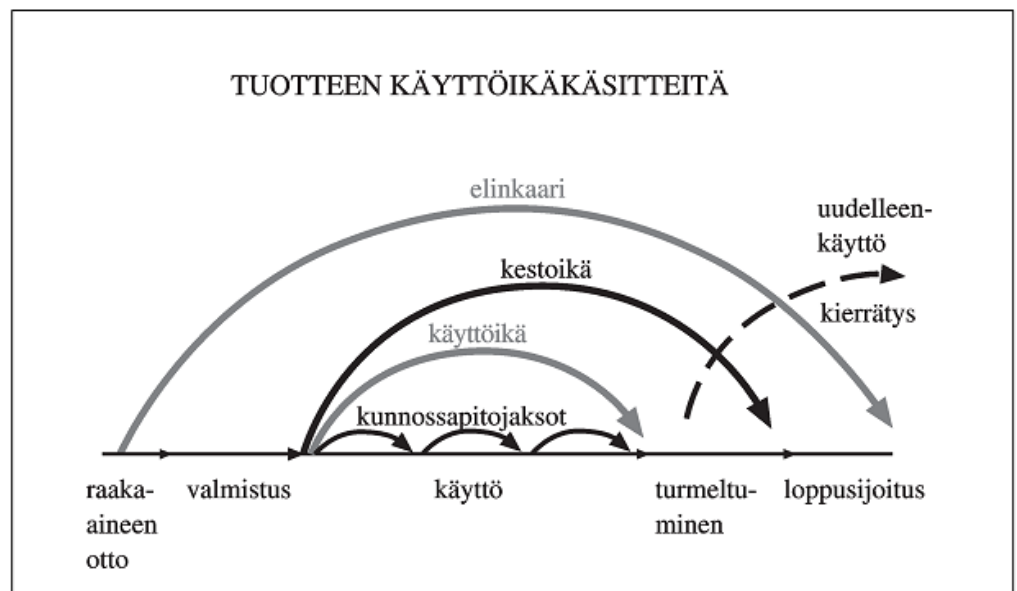
Uusissa energiamääräyksissä ikkunapinta-ala saa olla enintään 15 %, eli sama kuin tällä hetkellä.

Seuraava, 20 prosentin kiristys on luvassa vuonna 2012. Silloin tavoitellaan energiatehokkuudessa jo lähes täysin ilman ostoenergiaa lämpiävien passiivitalojen tasoa.

4 ELINKAARITARKASTELUT JA ELINKAARIKUSTANNUKSET

Rakennusosan elinkaari ja käyttöikä

Rakennuksen elinkaari alkaa, kun rakennuksessa käytettävä raaka-aine otetaan käyttöön ja päättyy, kun raaka-aine viedään uudelleenkäyttöön, kierrätykseen tai loppusijoituspaikkaan. Elinkaaren lisäksi puhutaan myös kestoikästä ja käyttöiästä. Käyttöikä on rakennuksen hyötykäytön kannalta tärkein ominaisuus. Rakennusosilla on omat käyttöikänsä, jotka saavutetaan vain huoltamalla rakennusosia oikein ja huolehtimalla rakennusosien tarvitsemat kunnossapitotoimet ajallaan. Käyttöikä voi päättyä myös ennen aikojaan, jos rakennuksen käyttötarkoitus muuttuu ennen rakennusosien käyttöiän päättymistä. Tilanne on hyvin tavallinen muutosrakentamisessa, jossa rakennusosia ja taloteknisiä järjestelmiä joudutaan poistamaan ja rakentamaan uudelleen, vaikka niillä olisi vielä käyttöikää jäljellä. /1, s. 22./ Kestoiäkään esimerkiksi rakenteissa vaikuttaa oleellisesti materiaaliominaisuudet ja materiaalivalinnat.



Kuva 18. Rakennusosan tai tuotteen käyttöikäkäsitteitä /7, s. 31./

Elinkaariajattelu korjausrakentamisessa

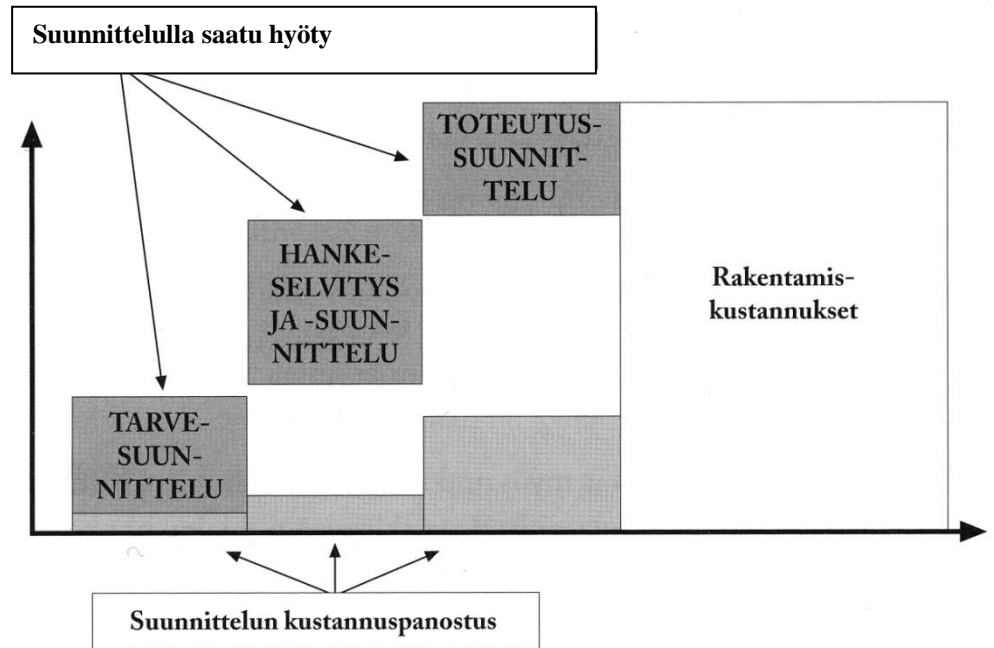
Suomen rakennuskanta uudistuu nykyisellä rakennustahdilla käytännössä kerran vuosisadassa. Tämän vuoksi vanhaan rakennuskantaan kohdistettavilla toimenpiteillä on merkittävästi suurempi vaikutus energiansäästöön ja sitä kautta kasvihuonekaasupäästöihin kuin uuteen rakennuskantaan kohdistettavilla toimilla.

Rakennuksen korjauksella tai perusparantamisella halutaan yleensä mahdollisimman pitkäaikainen soveltuvuus loppukäyttäjälleen. Hyvän ja energiatehokkaan sekä käyttäjän tarpeet tyydyttävän rakennuksen käyttö tulisi toteutua mahdollisimman edullisin kokonaiskustannuksin. Korjausrakentamisella rakennuksen elinkaaritalousuutta voidaan parantaa siten, että rakennuksen ja rakennusosien käyttöikä kasvaa, sen energiankulutus vähenee ja rakennuksen ylläpito on taloudellista. Rakennuksen muuttaminen eri käyttötarkoitukseen on helppoa.

Elinkaariajattelu tarveselvitys- ja hankesuunnitteluvaiheessa

Tarve- ja hankesuunnitteluvaiheessa määrätään pääosin rakennuksen elinkaaren pituus. Lisäksi tarve- ja hankesuunnittelu luovat perustan koko rakennuksen toimivuudelle ja elinkaarikustannuksille sekä rakennuksen energiatalous lyödään silloin lukkoon. Rakennuksen elinkaarikustannuksista energia muodostaa noin 80 prosenttia, joten rakennuksen energiatalouden suunnittelu on tehokkain tapa vaikuttaa elinkaarikustannuksiin. Elinkaaritalouteen vaikutetaan ratkaisevasti huolellisella tarve- ja hankesuunnittelulla sekä panostamalla siihen riittävästi. /1, s. 19 - 23./

Seuraavassa periaatepiirroksessa on esitetty tarve- ja hankesuunnitteluvaiheen kustannusten osuuden merkitys elinkaarikustannuksiin. Piirroksesta nähdään, että tarve- ja hankesuunnitteluvaiheen kustannuspanos on pieni verrattuna toteutussuunnittelun kustannuspanokseen. Elinkaarikustannusten osalta huomattavasti parempaan lopputulokseen päästään lisäämällä panostusta tarve- ja hankesuunnitteluun.



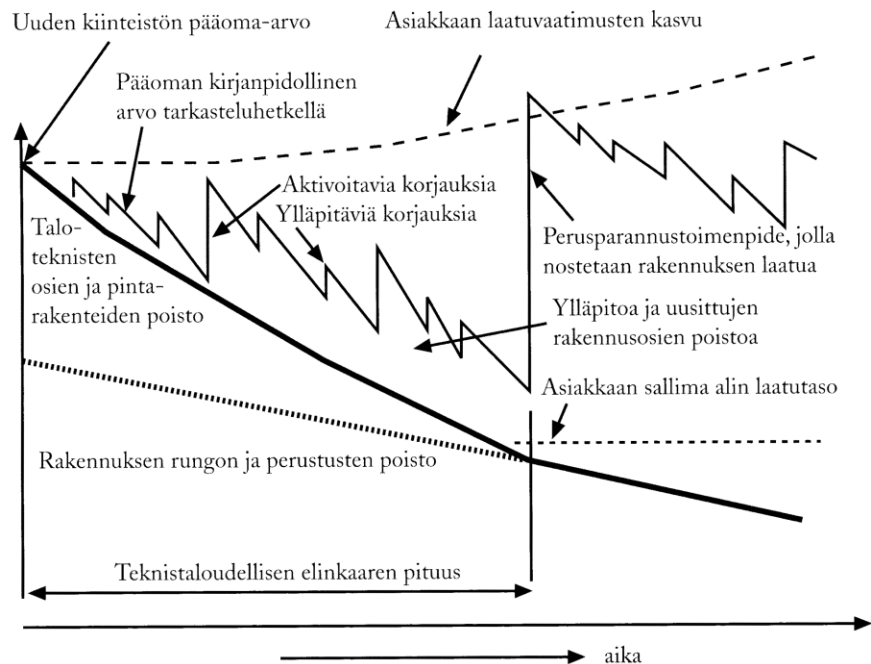
Kuva 19. Tarve- ja hankesuunnittelun merkitys elinkaarikustannuksiin /1, s. 26./

Teknitaloudellisen elinkaaren pituus

Suunnittelun alkaessa tulisi olla tiedossa rakennuksen toiminnallinen ja taloudellinen käyttöikä. Asuinrakennusten käyttöikä ajatellaan yleensä hyvin pitkälle tulevaisuuteen, mutta muiden kuin asuinrakennusten käyttöikäsuunnittelu on vaikeampaa. Muiden kuin asuinrakennusten, kuten esimerkiksi tuotanto-, liike-, ja opetusrakennusten tarpeellisuus vaihtelee paikkakunnittain hyvinkin paljon, koska talouden suhdanteet vaihtelevat ja yhteiskunnan trendit muuttuvat. /1. s. 26 – 27./

Rakennuksen elinkaaren mittaiseen toimivuuteen vaikuttaa rakennusosia uusivat korjaustoimenpiteet ja säännöllinen huoltotoiminta. Teknitaloudellisen elinkaaren pituuteen vaikuttavat kiinteistöhoito ja kunnossapidon laatu, mutta ennen kaikkea rakentamisen laatu ja käytetyt materiaalivalinnat. Seuraava kuva (kuva 20) havainnollistaa, miten rakennuksen staattiset ja dynaamiset osat vanhenevat eri aikaan. Rakennuksen staattisia osia ovat perustus- ja runkorakenteet, joiden elinkaari on hyvinkin pitkä, mikäli niissä ei ole tehty rakentamisen aikana rakennusvirheitä. Dynaamisia osia ovat pintarakenteet ja talotekniikka, joiden uusimisajankohdat ajoitetaan niiden elinkaarien päättymisvaiheisiin. /1. s. 27 – 28./

Kiinteistön taloudellinen pitoaika määräytyy laskennallisesti ja se on eri kuin rakennuksen fyysinen kestoikä.



Kuva 20. Rakennuksen teknitaloudellisen elinkaaren pituus /1, s. 28./

Kuvasta 20 ilmenee lisäksi huollon, ylläpitokorjauksen sekä harvoin toistuvien peruskorjauksen vaikutus rakennuksen laadun säilyttämiseen. Perusparannustoimenpiteillä, joilla nostetaan rakennuksen laatua, on huomioitava myös rakennuksen käyttäjän tai asiakkaan laatuvaatimusten kasvu, jota yläreunassa oleva katkoviiva havainnollistaa. /1, s. 27 – 28./

Rahatalouden elinkaarilaskennan periaatteet

Energiatehokkuuden eri vaihtoehtojen elinkaarikustannusten vertailussa käytetään vertailun perustapauksena laskenta-ajankohdan normitaloa. Kun vertaillaan eri vaihtoehtoja, niiden kustannus- ja hyötyeroja verrataan normitaloon. Vertailussa lasketaan vain niitä kustannuseriä, jotka ovat riippuvaisia energiatehokkuudesta (esim. rakennusvaipan tai talotekniikan kustannuserät). Kun vertaillaan eri vaihtoehtojen elinkaarikustannuksia, otetaan huomioon energian yksikköhinta sekä ostonenergian liityntätehojen ja vuosimaksujen eroista syntyvät kustannuserot. Laskelmissa huomioidaan myös rakennuksen tulevaisuusarvon arvioitu ero vaihtoehtojen välillä. /14, s. 71./

Kun vertaillaan uudisrakennusten ja energiatehokkuuskorjausten vaihtoehtoja, rahallisissa elinkaarikustannuksissa otetaan huomioon erilaisia kustannuseriä sekä rakennuksen jäännösarvo ja laskentakorko. Kustannuseriä syntyy

- rakentamisesta (hankinta- ja rahoituskustannukset)
- huollosta
- kunnossapidosta, korjauksista ja uusimisesta
- lämmityksestä ja jäähdytysenergiasta
- käyttövedestä
- kiinteistöenergiasta
- purku- ja kierrätyskustannuksista. /14, s. 72 - 73./

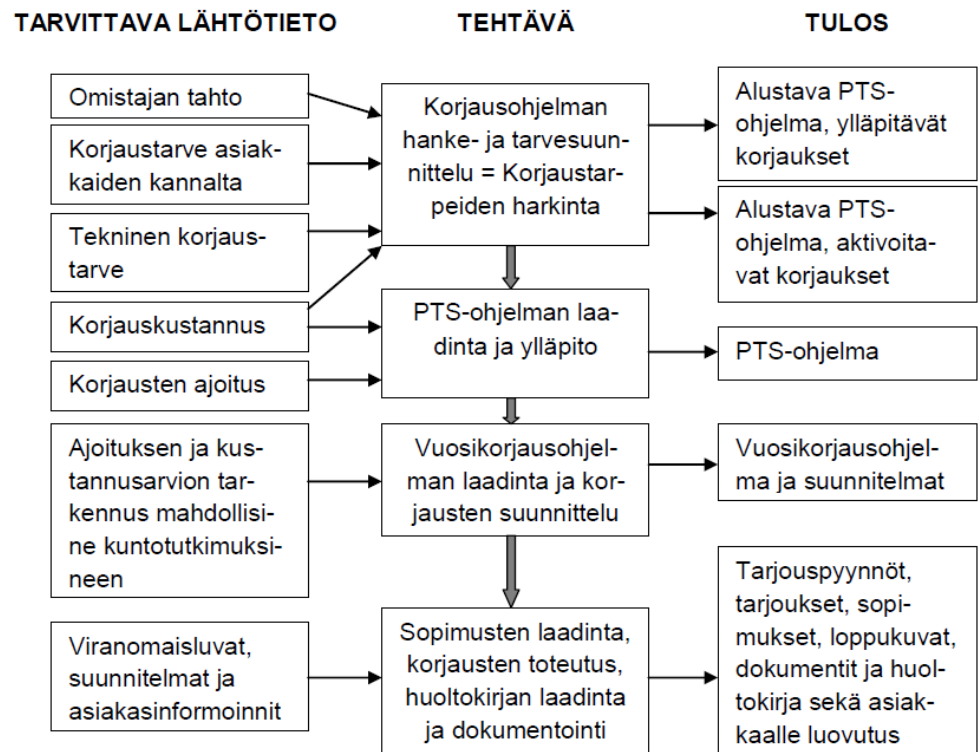
Kun halutaan vertailla energiakorjausten elinkaaritaloutta, vertaillaan vaihtoehtoisia korjauskonsepteja käyttämällä tavallisia elinkaaritalouden laskentamenetelmiä. Jos halutaan selvittää yleiseen peruskorjaukseen liittyvän energiakorjauksen kustannukset, laskelmissa huomioidaan vain energiakorjauksen aiheuttamat lisäkustannukset. Usein tämä parantaa energiakorjauksen taloudellisuutta ratkaisevasti. Mikäli puhutaan energiatehokkaasta korjausrakentamisesta, edullisuus edellyttää yhteensopivuutta perusteelliseen ja tuntuun korjausrakentamiseen. Tällöin joka tapauksessa asennetaan uusi talotekniikka sekä uusitaan ikkunat ja julkisivupinnat. /14, s. 78./

Korjausrakentaminen ja elinkaaritalous

Rakennus uusiutuu käyttöiän aikana, kun rakennusosia uusitaan, tehdään vuosikorjauksia, harvemmin toteutettavia laajempia peruskorjauksia tai perusparannuksia. Perusparannuksilla on yleensä tavoitteena nostaa laatutasoa tai saada rakennukselle parempi soveltuvuus käyttötarkoitukseensa tai muuttaa kokonaan rakennuksen käyttötarkoitus.

Tarpeelliset korjaukset on tehtävä ajallaan lykkäämättä niitä vuosia eteenpäin, koska näin vältetään niin sanotun korjausvelan muodostuminen rakennukseen. Korjausvelka nopeuttaa rakennuksen rappeutumista, joka ei ole elinkaaritalouden ja rakennuksen käytettävyyden kannalta perusteltua. Kun kunnossapitokorjaukset tehdään suunnitelmallisesti ja ajallaan, niin kunkin rakennusosan käyttöikä saavutetaan. Rakennuksen käyttöikä ja elinkaaritalouteen voidaan tehokkaasti vaikuttaa toimivalla korjausrakentamisen ohjauksella. Ohjausta varten kiinteistönomistajan on rakennettava toimintamal-

li, koska korjausten laajuuden ja laadun määrittäminen voi olla hyvinkin vaikea ja monivaiheinen prosessi. Kuvassa 21 on toimintamalli korjausrakentamisen prosessikuvauksesta, jossa esitetään tehtävät, vastuut ja aikataulut. /1, s. 31./



Kuva 21. Korjausrakentamisen prosessikuvaus.

Elinkaaritarkastelut

Rakennuksen elinkaarisuunnittelu on yleensä hyödyllisintä tehdä niin, että tarkastellaan esimerkiksi rakennusosia, materiaaleja ja teknisiä järjestelmiä koko rakennuksen sijaan. Tällöin elinkaarikustannusten laskenta kohdistetaan niihin kustannuksiin, jotka poikkeavat toisistaan eri vaihtoehtojen välillä. /30, s. 90./ Elinkaaritarkastelu voidaan tehdä seuraavalla tavalla:

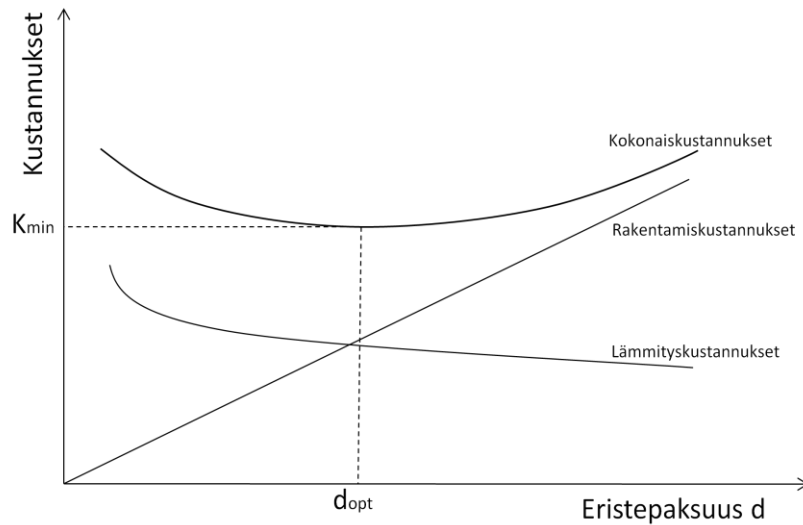
1. Valitaan tarkastelun kohteeksi muutama vaihtoehtoinen ratkaisumalli, jotka täyttävät laadulliset ja toiminnalliset vaatimukset sekä ovat toteuttamiskelpoisia.
2. Arvioidaan rakennuksen elinkaari, esim. 50 vuotta.
3. Arvioidaan vaihtoehtojen rakennuskustannukset.

4. Arvioidaan vaihtoehdoille kunnossapitajaksot sekä -kustannukset elinkaaren ajaksi.
5. Arvioidaan vaihtoehdoille vuosikustannukset (esim. lämpö, huolto, sähkö).
6. Arvioidaan laskennallinen korkoprosentti sekä diskontataan kunnossapito- ja vuosikustannukset rakentamishetkeen. Vertailulaskelmat tehdään esim. kolmea erilaista korkoprosenttia käyttämällä, koska se vaikuttaa aika voimakkaasti siihen, millaisiksi vaihtoehtojen väliset kustannuserot muodostuvat.
7. Lasketaan vaihtoehtojen investointikustannukset ja diskontatut kunnossapito- ja vuosikustannukset yhteen; näin saadaan eri vaihtoehdoille elinkaarikustannukset.
8. Arvioidaan eri vaihtoehtojen laadullisia ominaisuuksia. Tämän jälkeen valitaan suunnitteluratkaisuksi se vaihtoehto, jolla on paras laatu/hintasuhte. /30, s. 90./

Ulkoseinien ja yläpohjan lämmöneristeen paksuus

Elinkaarikustannuksia voidaan käyttää valintaperusteena lämmöneristeen paksuuden valinnassa siten, että ulkovaipparakenteiden muut materiaalikerrokset ja niiden paksuudet valitaan ensin, ja ne myös pidetään vakioina. Kun eristekerros valitaan paksuksi, lämmityskustannukset pysyvät alhaisina, mutta rakennuskustannukset nousevat. Itse eristekerroksen käyttöikä (kunnostusjakson pituus) voidaan arvioida yhtä pitkäksi kuin koko rakenteen ja rakennuksen käyttöikä. Tämä tarkoittaa sitä, ettei kunnossapitokustannuksia synny käyttöiän aikana lainkaan. /30, s. 92./

Elinkaarikustannusten minimi voidaan määrittää laskelmilla, jotka koostuvat rakennuksen rakentamis- ja vuosikustannuksista. Tätä voidaan havainnollistaa kuvan 22 avulla. Tarkastelun kohteeksi otetaan ulkovaipan yksi neliömetri, sen kustannukset ja sen kautta siirtyvä lämpöenergia. Elinkaarikustannusten minimiä vastaava optimaalinen eristepaksuus d_{opt} on laskettavissa yksinkertaisilla laskelmilla.

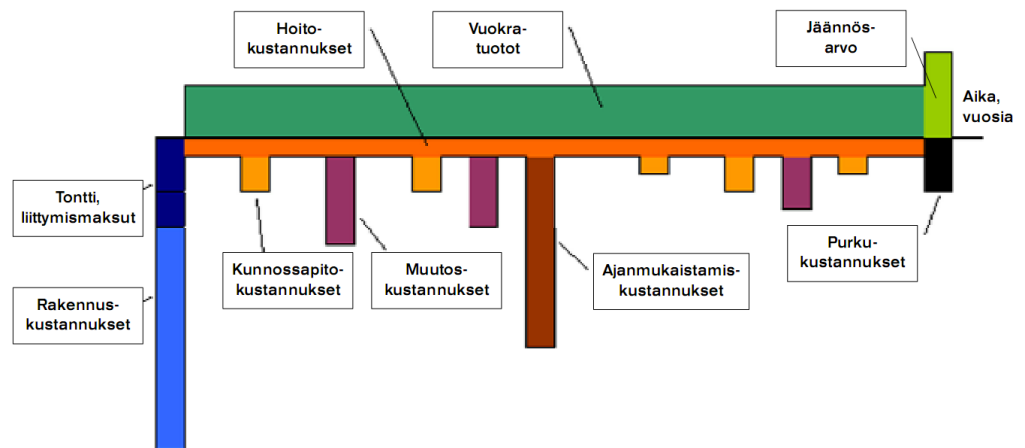


Kuva 22. Ulkoseinän eristepaksuuden d vaikutus elinkaarikustannuksiin /30, s. 90./

4.1 Elinkaarikustannukset

Elinkaarikustannus (*Life Cycle Cost*) tarkoittaa rakennuksen elinkaaren aikaisia kaikkia kustannuksia, joita muodostuu rakennuksen koko elinkaaren ajalta rakennuksen omistajalle. Rakennuksen elinkaarikustannukset muodostuvat rakennuskustannuksista, ylläpitokustannuksista, muutokorjauskustannuksista, perusparannuskustannuksista ja elinkaaren päättyessä purkukustannuksista. Rakennuskustannukset muodostuvat rakennustekniikan-, talotekniikan- ja hankepalvelujen kustannuksista. /8, s. 4./ Elinkaarikustannuslaskennassa Flanaganin ym. mukaan /28, s. 1/ kaikki ne kustannukset jotka tulevat investointipäätöksestä, ovat relevantteja laskelmia tehtäessä.

Rakennuksen pidosta aiheutuneet kustannukset katetaan vuokrilla, vastikkeilla ja muilla käyttökorvauksilla sekä jäännösarvolla rakennuksen tai sen osan myynnistä. Elinkaarikustannukset jakaantuvat hankintakustannuksiin, rahoituskustannuksiin, kiinteistön hallintokustannuksiin, käyttökustannuksiin, kunnossapitokustannuksiin, kiinteistökehityskustannuksiin sekä ympäristökustannuksiin. Kuvassa 22 on havainnollistettu elinkaarikustannuksia ja -tuottoja, kun rakennus pidetään purkamiseen saakka.



Kuva 23. Kiinteistön elinkaarikustannukset ja -tuotot rakentamisesta purkuvaiheeseen.

Kiinteistönhoito ja kunnossapito aiheuttavat kiinteistön ylläpitokustannukset. Kiinteistönhoitokustannuksiin kuuluvat isännöinti, rakennuksen ja ulkoalueiden huolto, siivous, energian ja veden kulutus, vuosikorjaukset, vakuutukset ja verot. Kunnossapitokustannukset muodostuvat sykleittäin toistuvista kunnostus- ja uusimistoimenpiteistä.

Koska esimerkkikohteessa on kysymyksessä julkinen rakennus, niin elinkaarikustannusten merkitys korostuu myöhemmin toteutettavissa tarjouskilpailuissa. Vuonna 2007 voimaan tulleen hankintalain mukaan urakkatarjouksista on hyväksyttävä hankintayksikön kannalta kokonaistaloudellisesti edullisin vaihtoehto tai hinnaltaan halvin vaihtoehto. Kokonaistaloudellisesti edullisemman vaihtoehdon vertailuperusteena voidaan käyttää mm. elinkaarikustannuksia. Muita vertailuperusteita voivat olla esimerkiksi ympäristöystävällisyys, laatu, tekniset ansiot, käyttökustannukset kuten esimerkiksi energiakustannukset. /4./

Rakennuksen elinkaarikustannuksia ja tuottotavoitteita voidaan laskea jo hankesuunnitteluvaiheessa LCC-laskelmissa. Kun rakennusta käytetään, niillä voidaan selvittää korjausten ja parannusten kannattavuutta.

LCC-laskelmia tarvitaan esimerkiksi silloin, kun:

- Rakennuksen hoitokustannukset ylittävät arvioidun tarpeen. LCC-laskelmat antavat selvennystä siihen, minkä kokoisia investointeja kan-

nattaa tehdä, jotta saavutettavat säästöt olisivat investointeja suuremmat.

- Rakennukseen halutaan sijoittaa esimerkiksi energiatehokkaita koneita tai järjestelmiä. LCC-laskelmilla todetaan, onko järjestelmien rakentaminen kannattavaa.
- Tarjolla on monta, toiminnallisesti hyväksyttävää vaihtoehtoa, joilla on erilaiset kustannukset. Esimerkkinä ikkunat, joilla on eri lämmönläpäisyarvot. LCC-laskelmilla todetaan, mikä vaihtoehtoista on taloudellisin.
- Rakennuksen toteutuneet menekit ylittävät tavoitemenekit. LCC-laskelmilla voidaan todeta, kannattaako esimerkiksi lämpöenergiamenekkiä pienentää lisälämmöneristyksellä. /19, s. 109./

LCC-laskelmat voidaan jakaa moneen osaan: ne muodostuvat rakennus-, hoito- ja kunnossapitokustannuksista sekä jäännösarvosta, rakennuksen käyttöiästä ja laskentakorosta.

Rakennuskustannusten arvioinnissa otetaan huomioon myös välilliset kustannukset, joita ovat esimerkiksi työmaa käyttö- ja yhteiskustannukset, kate ja rakennuttajan kustannukset. Rakennuskustannusten ja ylläpitokustannusten yhdistämisessä on ongelmana niiden erilainen syntyajankohta. Rakennuskustannus on kertaluonteinen, mutta rakennusosien kunnossapidosta aiheutuu kustannuksia koko rakennuksen elinkaaren ajan. Hoitokustannuksia käsitellään LCC-laskelmissa joka vuosi syntyvinä kustannuksina. Kun rakennusta ei haluta pitää enää yllä, sillä on kuitenkin olemassa ns. jäännösarvoa. Jäännösarvona voidaan pitää rakennuksen uudisrakennusarvoa, josta vähennetään ne korjauskustannukset, jotka aiheutuvat siitä, että rakennus korjataan uudisrakennuksen veroiseksi. Uusittavilla rakennusosilla tai järjestelmillä ei ole korjausvaiheessa jäännösarvoa. Jotta em. kustannukset saadaan keskenään vertailukelpoisiksi, käytetään perinteisiä investointilaskentamenetelmiä. /19, s. 109./

Kun LCC-laskelmia tehdään, joudutaan tekemään myös useita oletuksia. Ensimmäinen merkittävä oletus koskee rakennuksen käyttöikä, ts. päätetään ajanjakso, jona kustannuksia syntyy. Jos rakennukselle tehdään peruskorjaus, aloitetaan käyttöiän laskeminen uudelleen. Toinen merkittävä oletus tehdään, kun valitaan laskelmissa käytettävä korkokanta. Laskentakorko kuvaa tuottovaatimusta sijoitetulle pääomalle, ja sen avulla erisuuruisia pääomia vaativat investoinnit saadaan keskenään vertailukelpoisiksi. Julkishal-

linnossa käytetään yleisesti kuuden prosentin tuottovaatimusta sijoitetulle pääomalle. Mitä suurempi laskentakorko on, sitä suurempi on rakennuskustannusten osuus elinkaarikustannuksista. Myös inflaation vaikutus on otettava huomioon niissä tapauksissa, missä jonkin laskelman osan hinnan kehitys poikkeaa yleisestä inflaatiosta. /19. s. 110./

LCC-laskelmissa ei oteta huomioon arvoja, joita ei pystytä mittaamaan rahalla. Niiden käyttökelpoisuus perustuukin lähinnä siihen, että niillä voidaan osoittaa eri vaihtoehtojen kustannusvaikutukset. Tämän jälkeen voidaan tehdä valintoja eri vaihtoehtojen välillä esimerkiksi arvoanalyysimenetelmillä. /19. s. 110./

Elinkaarimalli

Uudet toteutusmallit korjaus- ja uudisrakentamisessa pakottavat rakentajia ja urakoitsijoita ottamaan rakentamisvaiheen kustannuksien lisäksi huomioon myös käytönaikaisia kustannuksia. Tällaisissa niin sanotuissa elinkaaritoteutusmalleissa urakoitsija vastaa käytönaikaisista kustannuksista ainakin osittain.

Ensimmäinen elinkaarihanke koskien toimitilarakentamista Suomessa oli Espoon Kuninkaantien lukion sekä sen yhteydessä toimivan uimahallin ja liikuntahallin rakentaminen sekä niihin liittyvät palvelut. Kyseiset rakennukset valmistuivat kesällä 2003. Elinkaarisopimus edellä mainittuun kohteeseen on laadittu siten, että sopimuksessa on kuvattu tietyt olosuhteet, joiden on täyttyvä palvelutason tullessa toteutetuksi. Sopimuksessa kuvattuja olosuhteita ovat mm. lämpötilan, valaistuksen sekä viemäroinnin toimivuus ja käytettävyys. Mikäli olosuhteissa havaitaan puutteita, ei kyseisen päivän osalta makseta laskentamallin mukaista päivävuokraa.

4.2 Elinkaarikustannusten laskenta

Elinkaarikustannuslaskennan teoriassa lasketaan periaatteessa vain korkoa korolle. Sen haasteet tulevat esiin siinä vaiheessa, kun elinkaarikustannuksia aletaan laskea käytännössä. Elinkaarikustannuslaskennassa mallinnetaan investointikohteen tuleva pitoaika, investointikohteen elinkaaren käytönaikaiset kustannukset sekä millainen hyöty investointikohteesta saadaan ja kuinka usein. /8, s. 3./

Korjausrakentamisen hankesuunnitteluvaiheessa tarkastellaan korjattavan kiinteistön tulevaa elinkaarta. Kun rakenteisiin tehdään korjauksia, niin silloin tarkastellaan korjauksella saatavaa käyttöikä ja eri korjausvaihtoehtojen elinkaarikustannuksia suunnitteluratkaisujen tueksi. Elinkaarikustannuksilla voidaan todeta vaihtoehtojen ja hinnaltaan toisistaan poikkeavien suunnitteluratkaisujen taloudellisuus pitkällä aikavälillä. Samalla voidaan osoittaa, maksaako rakentamisvaiheessa hinnaltaan kalliimpi suunnitteluratkaisu itseään takaisin ja millä aikavälillä tällainen lisäinvestointi on kannattavaa.

Ongelmana elinkaarilaskennan käytön vähäisyydelle rakentamisen päätöksenteossa on rakennuksen rakentamisvaiheen tai korjausvaiheen ja rakennuksen käyttövaiheen toisistaan erillään olevat budjetit. Erillään olevista budjeteista vastaavat yleensä myös eri henkilöt. Suurin intressi rakennuksen elinkaaritaloudellisuudelle on kuitenkin rakennuksen omistajalla. Omistajan intresseihin vaikuttavat muun muassa kuinka kauan rakennusta aiotaan omistuksessa pitää ja millainen kulurakenne rakennuksella on sen pitoajalla sekä miten rakenne palvelee käyttäjiään. /8, s. 3./

Myyryläisen mukaan /20, s. 151 – 152/ kustannukset voidaan karkeasti jakaa *pääoma-, kunnossapito- ja kiinteistöhoitokustannuksiin*. **Pääomakustannuksia** laskettaessa otetaan huomioon rakennuskustannukset ja teknistä taloudellinen käyttöikä. Laskuissa käytetään korkona rakennusinvestoinnin pääoman korkoa ja haluttaessa myös tuottokorkoa. Pääomakustannukset ovat yleensä suuremmat kuin kiinteistöhoitoon kustannukset.

Myyryläinen määrittelee poiston korvaukseksi ”pääomahyödykkeen kulumisesta ja vanhenemisesta.” Poistuva pääoma korvataan uusilla rakennusosilla, joten rakennus uusiutuu vähitellen. Poiston oikeanlainen määrittely on tarpeellista etenkin silloin, kun määritellään rakennuksen pääomavuokraa. Poistoja määriteltäessä käytetään seuraavia kolmea kirjanpidollista laskentamenetelmää. Ne kaikki perustuvat nimellisarvoihin, eivät siis todellisiin arvoihin:

Kun käytetään **tasapoistoa**, kulumisen ja vanhenemisen ajatellaan jakautuvan tasaisesti koko taloudelliselle pitoajalle. Jos pitoajaksi arvioidaan esimerkiksi 40 vuotta, poisto olisi tällöin vuodessa $1/40$ hankintahinnasta eli 2,5 % joka vuosi. /20, s. 152./

Prosenttipoistoa käytetään tavallisimmin silloin, kun lasketaan koneiden ja liikennevälineiden poistoja. Silloin arvioidaan vuotuinen arvon vähentyminen aina vuoden lopussa olevalle poistamattomalle jäännösarvolle eli miten paljon arvo vähenee joka vuosi prosentteina poistamattomasta jäännösarvosta. Ensimmäisenä vuonna vuotuinen arvon vähentyminen lasketaan hankintahinnasta.

Niinpä kiinteistöjen poistoja laskettaessa prosenttipoisto ei ole olennainen, vaan yleisesti käytetään **annuiteettipoistoa**. Siinä pääomakustannus korkoineen arvioidaan vakioksi. Tällä menetelmällä saadaan poistokustannus vakioksi koko rakennuksen elinkaaren ajaksi. Toisaalta tässä menetelmässä ei oteta huomioon kustannusten muuttumista, sillä hankintakustannus oletetaan aina samaksi, vaikka todellisuudessa kustannustaso muuttuu kaiken aikaa. /20, s. 153./

Myyryläinen esittelee myös **todellisen poiston** periaatteet. Siinä ensinnäkin selvitetään kunakin vuonna esimerkiksi rakennuksen todellinen hankintakustannus (jälleenhankinta-arvo). Toiseksi poisto lasketaan jälleenhankintakustannuksesta – ei siis hankintakustannuksesta. Tämä vastaa senhetkistä rakennuksen osan uusimiskustannusta. Käytännössä laskenta toteutetaan niin, että se tehdään koko rakennusta koskien ja yhtä suurena koko rakennuksen elinkaaren ajan. Tässä menetelmässä pääomavuokra pidetään tasanaisena, ja se muuttuu ainoastaan silloin, kun jälleenhankintakustannus ja laskentakorko muuttuvat. /20, s. 153./

Kunnossapitokustannus lasketaan keskimääräisenä arvona, joka perustuu kokemukseen ja se määritellään laatuvaatimusten mukaisesti 0 – 0,5 %:ksi vuodessa rakennusinvestoinneista. Kunnossapitokustannus muuttuu vuosittain sen mukaan, mikä on jälleenhankinta-arvo. /20, s. 151./ Laatu luokat valitaan laatuvaatimusten mukaisesti taulukosta 18:

Taulukko 18. Kunnossapitokustannus-% vuodessa rakennusinvestoinneista.

| % | laatu luokka |
|-----|-----------------|
| 0,1 | välttävä |
| 0,2 | tydyttävä |
| 0,3 | hyvä |
| 0,4 | laadukas |
| 0,5 | korkealaatuinen |

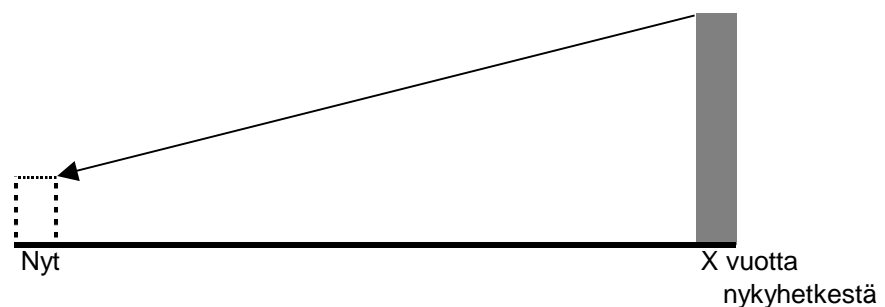
Kun rakennukselle lasketaan **kiinteistönhoitokustannus**, se lasketaan hankesuunnitteluvaiheessa käyttämällä normihinnoittelua. Esimerkiksi KH-kortistossa on julkaistu erilaisille rakennuksille normityömenekit. Energiämenekit puolestaan lasketaan RakMK D5-ohjeen mukaisesti tai käyttämällä laskentaohjelmistoja. Muut kiinteistönhoitokustannukset lasketaan erikseen. Tällaisia kustannuksia ovat esimerkiksi hallinto-, kiinteistövero-, vakuutus- ja jätehuoltokustannukset. /20, s. 151./

Tarkasteluajanjakson pituuden valinta

Elinkaarikustannuslaskennassa taloudellisten laskelmien perustaksi on järkevää valita ns. taloudellinen pitoaika. Taloudellisella pitoajalla tarkoitetaan aikaväliä rakennuksen valmistumisesta ensimmäiseen peruskorjaukseen. Taloudellinen pitoaika korjausrakentamisen yhteydessä tehtäville elinkaarikustannuslaskelmille on kahden peräkkäisen peruskorjauksen väli. Asuinrakennuksilla tämä aika on 30 - 40 vuotta, toimisto- ja liikerakennuksilla puolestaan 20 vuotta. Jos suunniteltavilla rakennusosilla on eripituiset elinkaarit, tehdään elinkaarikustannuslaskelmat pidemmälle tarkasteluajanjaksolle. /8, s. 6./

Rahan aika-arvo

Elinkaariajattelussa taloudelliset laskelmat tehdään tulevaisuutta varten. Laskelma tehdään valitulle tarkastelujaksolle ja siinä otetaan huomioon tarkastelujakson aikana syntyvät tuotot ja kustannukset. On kuitenkin muistettava, etteivät eri ajankohtina syntyvät tuotot ja kustannukset ole suoraan vertailukelpoisia keskenään. Jotta näitä voitaisiin verrata keskenään, suoritukset täytyy diskontata. Kuvassa 23 on havainnollistettu diskonttauksen periaatetta. /8, s. 7./



Kuva 24. Maksusuorituksen diskonttauksen periaate.

Diskonttaustekijä lasketaan kaavalla 2:

$$dis = 1 / \left(1 + \frac{r}{100}\right)^i \quad (2)$$

jossa

r korko (%)

i aikajänne nykyhetkestä kustannuksen toteutumavuoteen (vuotta)

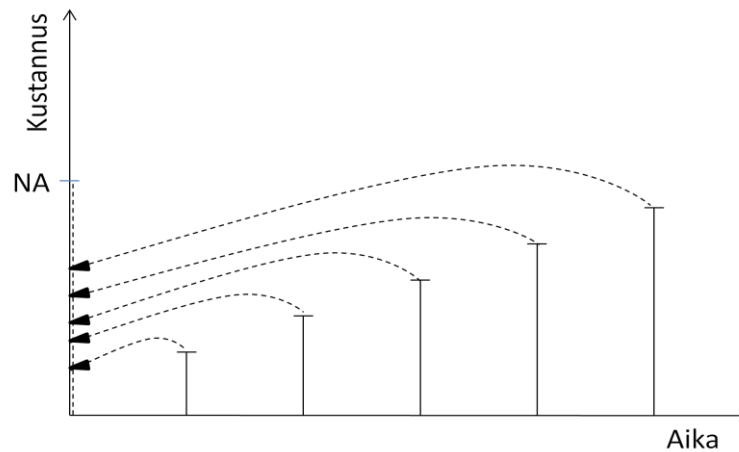
Laskentakoron valinta

Elinkaaritaloudellisissa laskelmissa käytetään laskentakorkoa joka voi perustua joko tuoton tai kustannuksen näkökulmaan. Kun otetaan huomioon tuotto, pääomalla voi olla vaihtoehtoisia sijoituskohteita. Kustannusnäkökulma puolestaan tarkoittaa sitä, että laskentakoron pitää olla vähintään lainan koron suuruinen. Tähän täytyy kuitenkin lisätä vielä sijoituskohteeseen liittyvän riskistä aiheutuva korkolisä. Kiinteistöissä riskiä aiheutuu esimerkiksi markkinoinnista ja rahoituksesta. /8, s. 8./

Elinkaaritaloudellisissa laskelmissa käytetään perinteisiä **investointilaskentamenetelmiä**, joita käytetään, kun halutaan tuottaa tietoa investoinnin vaikutuksista. Tällaisia menetelmiä ovat nykyarvomenetelmä ja annuiteettimenetelmä. /8, s. 8 - 9./

2.2.1 *Nykyarvomenetelmä*

Nykyarvomenetelmässä kaikki tuotot ja kustannukset sekä jäännösarvo diskontataan nykyhetkeen pitoajan ja laskentakoron perusteella. Nämä lasketaan yhteen investointikustannusten kanssa, jolloin saadaan tulokseksi kustannusten nykyarvo. Nykyarvoltaan pienin vaihtoehto on edullisin. /19, s. 110./



Kuva 25. Nykyarvomenetelmän periaate.

Investoinnin nykyarvo kertoo sen, miten paljon investoinnista jää nettotuottoja sen jälkeen kun tuottojen summasta on vähennetty investointikustannusten ja vuotuisten kustannusten summa. Ennen kuin lasketaan, tuotot ja kustannukset täytyy diskontata arviointihetkeen. /8, s. 9./ Nykyarvo lasketaan kaavalla 3:

$$K_{NA} = \Sigma [K_i * dis_i] = \Sigma [K_i * \frac{1}{(1+\frac{r}{100})^i}] \quad (3)$$

jossa

K_{NA} kustannuksen nykyarvo

K_i kustannus vuonna i

dis_i diskonttaustekijä vuonna i

r korko (%)

i aikajänne nykyhetkestä kustannuksen toteutumavuoteen (vuotta)

Rakennus- tai perusparannushankkeen kustannusten nykyarvo lasketaan kaavalla 4:

$$K_N = R_N + H_N + KP_N - J_N \quad (4)$$

jossa

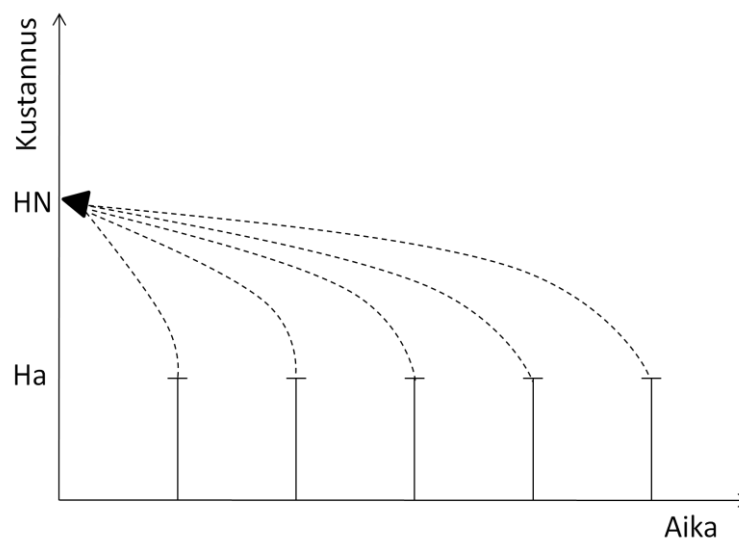
| | |
|--------|-------------------------------------|
| K_N | Kustannusten nykyarvo |
| R_N | Rakennuskustannusten nykyarvo |
| H_N | Hoitokustannusten nykyarvo |
| KP_N | Kunnossapitokustannusten nykyarvo |
| J_N | Jäännösarvon nykyarvo /19, s. 110./ |

Hoitokustannukset käsitellään tapahtuvan vuosittain saman suuruisina. **Hoitokustannusten nykyarvo** rakennuksen pitoajalle saadaan kertomalla vuosittaiset hoitokustannukset jaksollisten maksujen diskonttaustekijällä:

$$H_N = H_A \frac{(1+r/100)^n - 1}{\frac{r}{100} * (1+r/100)^n} = H_A \bar{d}_{nr} \quad (5)$$

jossa

| | |
|----------------|---|
| H_N | Hoitokustannusten nykyarvo |
| H_A | Vuosittainen hoitokustannus |
| r | Valittu korkokanta |
| n | Rakennuksen käyttöikä |
| \bar{d}_{nr} | Jaksollisten maksujen diskonttaustekijä |



Kuva 26. Jaksollisten suoritusten, kuten hoitokustannusten, diskonttaustekijä.

Kunnossapitokustannukset syntyvät tiettyjen ajanjaksojen välein, jotka eivät ole säännöllisiä. Kunnossapitokustannusten nykyarvo saadaan kertomalla syntyvä kunnossapitokustannus kunnossapitoajankohdan vastaavalla diskonttaustekijällä:

$$KP_N = \sum KP_i \frac{1}{(1+r)^i} = KP_i d_{ir} \quad (6)$$

jossa

KP_N Kunnossapitokustannusten nykyarvo

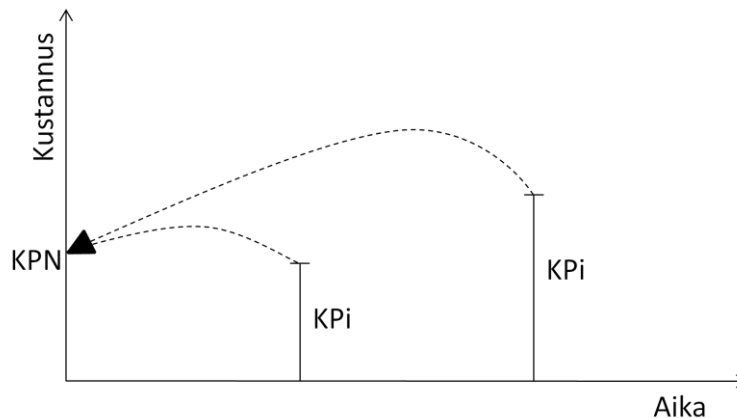
KP_i Kunnossapitokustannukset vuonna i

r Valittu korkokanta

i Vuosi, jolloin kunnossapitotoimenpiteitä tehdään

d_{ir} Diskonttaustekijä

Kaavalla saadaan laskettua myös jäännösarvon nykyarvo, kun kunnossapitokustannusten paikalle sijoitetaan jäännösarvo.



Kuva 27. Yhden suorituksen, kuten kunnossapitokustannuksen, diskonttaustekijä.

2.2.2 Annuiteettimenetelmä

Annuiteettimenetelmässä käytetään investointikustannusten vuosiosuutta eli annuiteettia. Annuiteettimenetelmässä tasataan kaikki kustannukset rakennuksen koko pitoajalle, ja ne tasataan yhtä suuriksi vuotuisuorituksiksi laskentakoron perusteella. Vaihtoehtoista on edullisin se, jonka vuotuiset kus-

tannukset ovat pienimmät. Tämä menetelmä on paras silloin, kun investointia seuraavat kustannukset, jotka toistuvat vuosittain tasasuurina. Niinpä esimerkiksi suurten jaksottaisten kunnossapitokustannusten tarkastelu tällä menetelmällä ei ole järkevää. Jos kysymyksessä on tilanne, jossa eri vaihtoehtojen pitoaika on sama, annuiteettimenetelmä antaa saman edullisuusjärjestyksen kuin nykyarvomenetelmä. /19. s. 111./

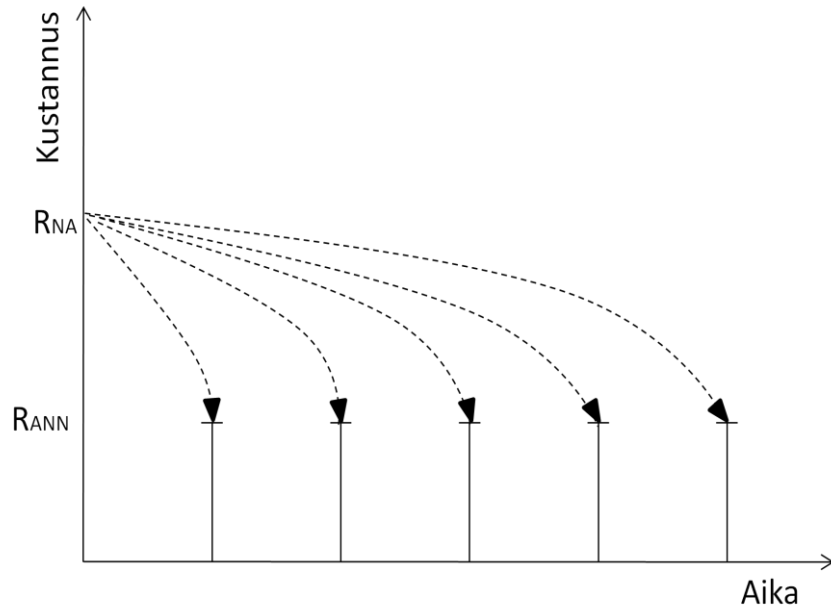
Investointivaihtoehdon annuiteetti ilmoittaa, miten paljon investoinnista jää vuosittain nettotuottoja sen jälkeen, kun vuosittaisista tuottoista on vähennetty vuosittaiset kustannukset ja annuiteetti. Se saadaan siten, että jaksotetaan investointikustannukset tasan tarkastelujakson vuosille ja otetaan huomioon korkovaikutukset. Rakennuskustannuksen saadaan tasattua koko rakennuksen pitoajalle vuosikustannuksiksi kertomalla rakennuskustannukset annuiteettitekijällä kaavan 7 mukaan: /8, s. 9./

Annuiteetti eli vuosikustannus lasketaan kaavalla:

$$R_{ANN} = R_{NA} * ann = R_{NA} * \frac{r}{100} * \left(1 + \frac{r}{100}\right)^n / \left[\left(1 + \frac{r}{100}\right)^n - 1\right] \quad (7)$$

jossa

| | |
|-----------|---|
| R_{ANN} | Rakennuskustannuksen annuiteetti eli vuosikustannus |
| R_{NA} | Rakennuskustannuksen nykyarvo |
| ann | Annuiteettitekijä vuoden ajanjaksolle |
| r | Korko (%) |
| n | Rakennuksen pitoaika (vuotta) |



Kuva 28. Annuiteettitekijä.

Herkkyystarkastelut

Elinkaaritaloudelliset laskelmat eivät ole täysin tarkkoja, koska niissä ennustetaan tulevaisuutta. Sen vuoksi laskelmalle tehdään herkkyysanalyysi. Sillä selvitetään puolestaan, miten herkkä laskelman lopputulos on laskennassa käytettyjen lähtötietojen muuttamiselle. Tällaisia herkkyystekijöitä ovat esimerkiksi kunnossapitajaksojen pituudet, energian hinta ja investointikohteen käyttöaste. Herkkyystarkastelussa etsitään lähtötietojen kriittiset arvot. Herkkyystarkastelussa muutetaan yhden oletusarvon arvoa, kun muut arvot pysyvät samaan aikaan vakioina. Näin etsitään lähtötietojen kriittiset arvot. Nämä arvot kertovat, milloin investointi on juuri ja juuri kannattava tai ne arvot, joilla investointivaihtojen kannattavuusjärjestys muuttuu. /8, s. 11; 19, s. 110./

Elinkaarikustannusten laskenta kiinteistö- ja rakennusalalla

Elinkaarikustannusten laskentaa käytetään kannattavuuslaskelmissa, joilla selvitetään kiinteistöinvestoinnin taloudellinen kannattavuus tai vaihtoehtoisten sijoitusten kannattavuusjärjestys. Elinkaarikustannuksia lasketaan myös esimerkiksi kiinteistökehittämisessä, kiinteistökaupassa ja kiinteistöjen ylläpidossa sekä parantamistoimenpiteiden kannattavuuden tutkimisessä. Sitä

käytetään myös silloin, kun mietitään, kannattaako kohde uusia vai kunnostaa. Kannattavuuslaskelmia voidaan kohdistaa tarpeiden mukaisesti: ne voidaan fokusoida kokonaiseen kiinteistökantaan, yksittäiseen rakennukseen tai rakennusosaan. /8, s. 12./

4.3 Elinkaarikustannukset oppilaitosrakennuksessa

Oppilaitoskiinteistössä rakennuksen ja käyttöveden lämmitys, vedenkulutus, kiinteistön korjaaminen sekä päivittäinen kunnossapito ja huolto vastaavat yhdessä keskimäärin noin 70% kiinteistöstä maksettavan vuokran määrästä. Juuri näihin edellä mainittuihin kustannuksiin voidaan elinkaariajattelulla vaikuttaa jopa hyvinkin tehokkaasti.

Peruskorjaus- ja perusparannushankkeissa elinkaariajattelu on pääasiassa sitä, että tarkastellaan, miten eri ratkaisuvaihtoehdoilla voidaan vaikuttaa edellä mainittuihin kustannuksiin. Korjauskohteessa ei pidä katsoa pelkästään rakennushankkeen suunnittelu- ja toteutuskustannuksia, vaan tulee tarkastella, mitä vaikutuksia hankkeella on pidemmällä aikajänteellä. Välittömien kustannusvaikutusten lisäksi täytyy huomioida vaikutukset myös rakennuksen tekniseen käyttöikään ja tuleviin korjaustarpeisiin. /2./

4.4 Matalaenergiarakentamisen kustannusvaikutukset

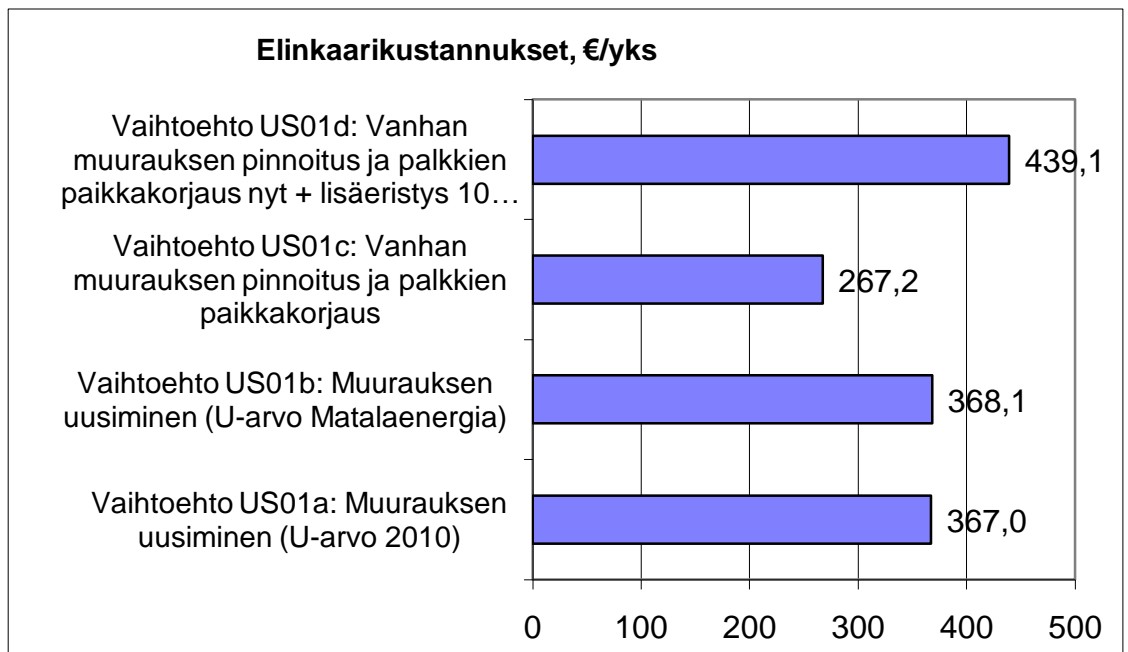
Ympäristöministeriön uudet energiamääräykset astuvat voimaan vuoden 2010 alusta. Määräykset tiukentavat talojen energiamääräyksiä 30 - 40 prosenttia nykyisestä tasosta, jonka arvioidaan nostavan rakentamiskustannuksia 2 - 6 prosenttia. Määräysten myötä Suomi siirtyy matalaenergiatalorakentamiseen. Suoraa sähkölämmitystä rajoitetaan, lisäksi kunnille annetaan valtuuksia vaatia kiinteistöjä liittymään kaukolämpöön. Vain matalaenergiatalot ovat jäämässä tämän ulkopuolelle.

Esimerkkikohteen julkisivukorjauksen kannattavuuslaskelma

Seuraavassa LCC-laskelmassa tarkastellaan neljää erilaista julkisivukorjauksen korjausvaihtoehtoa, joista kaksi on energiatehokkaan korjauksen vaihtoehtoa. Kolmas korjausvaihtoehto on vanhan rakenteen säilyttävä ratkaisu ja neljännessä vaihtoehdossa vanha rakenne uusitaan kymmenen vuoden kuluttua energiatehokkaalla ratkaisulla:

- US01a: RakMK C3 2010 vaatimukset täyttävä ulkoseinärakenne, jossa julkisivumuuraus ja lämmöneristeet uusitaan
- US01b: RIL 249-2009 suunnitteluarvoja käyttämällä suunniteltu ulkoseinärakenne, jossa julkisivumuuraus ja lämmöneristeet uusitaan
- US01c: Vanha julkisivumuuraus pinnoitetaan impregnointiaineella sekä palkkirakenteelle suoritetaan paikkakorjaus
- US01d: Vanha julkisivumuuraus pinnoitetaan impregnointiaineella sekä palkkirakenteelle suoritetaan paikkakorjaus nyt. Julkisivumuuraus ja lämmöneristeet uusitaan 10 vuoden kuluttua.

| TULOKSET | | | | | |
|--|-----------------------------|----------------------|-------------|------------------|----------------------|
| Taloudellinen pitoaika, v | | 50 | | | |
| Laskentakorko, % | | 4 | | | |
| Energianhinta, €/kWh | | 0,08 | | | |
| Arvonlisävero, % | | 22 | | | |
| Tarkastelupaikkakunta | | Helsinki | | | |
| | Elinkaarikust, yht €/yks | Investointi €/yks | KP €/yks | Energia €/yks | Jäännösarvo €/yks |
| Vaihtoehto US01a: Muurauksen uusiminen (U-arvo 2010) | 367,0 | 331,8 | 0,0 | 35,1 | 0,0 |
| Vaihtoehto US01b: Muurauksen uusiminen (U-arvo Matalaenergia) | 368,1 | 339,2 | 0,0 | 28,9 | 0,0 |
| Vaihtoehto US01c: Vanhan muurauksen pinnoitus ja palkkien paikkakorjaus | 267,2 | 131,8 | 19,7 | 115,8 | 0,0 |
| Vaihtoehto US01d: Vanhan muurauksen pinnoitus ja palkkien paikkakorjaus nyt + lisäeristys 10 vuoden kuluttua | 439,1 | 131,8 | 245,6 | 61,7 | 0,0 |



Esimerkkikohteen ikkunasaneerauksen kannattavuuslaskelmia

Seuraavissa laskelmassa tarkastellaan, onko perusteltua valita esimerkkikohteena olevaan oppilaitosrakennukseen tällä hetkellä markkinoilla olevista ikkunoista U-arvoltaan parhaimpia (U-arvo 0,76 W/m²K) ikkunoita verrattuna tavanomaiseen MSE-tyyppiseen puuikkunaan (U-arvo 1,3 W/m²K). U-arvoltaan parempi ikkuna on 52 €/m² kalliimpi verrattuna tavanomaiseen ikkunaan. Lämmitysenergian hinnaksi arvioidaan 0,08 €/kWh.

Lasketaan saatava energiansäästö:

Energiansäästön nykyarvo:

$$S_{NA} = Q * q * \frac{1}{(r/100 - p/100)} * \frac{[1 + (r/100 - p/100)]^n - 1}{[1 + (r/100 - p/100)]^n}$$

jossa

S_{na} Energiansäästön nykyarvo

Q Vuotuinen energiansäästö, kWh

$$Q = \frac{S_{17}}{5000} * 120 * (U_2 - U_1) * 1m^2$$

jossa

S_{17} lämmöntarveluku, Helsinki (3986 °Cd)

120 astepäiväluvun arvoa 5000°Cd/a vastaava kerroin

U_2 U-arvo, suurempi

U_1 U-arvo, pienempi

q Nykyinen energian hinta, €/kWh (0,08 €/kWh)

p Odotettavissa oleva energian vuotuinen hinnan nousu, % (2%)

r Reaalikorkokanta, % (4%)

n Tarkasteluajanjakso, 40 a

$$S_{NA} = 113,05$$

Investointi on taloudellisesti kannattava, mutta laskelma on herkkä valitulle korkotasolle.

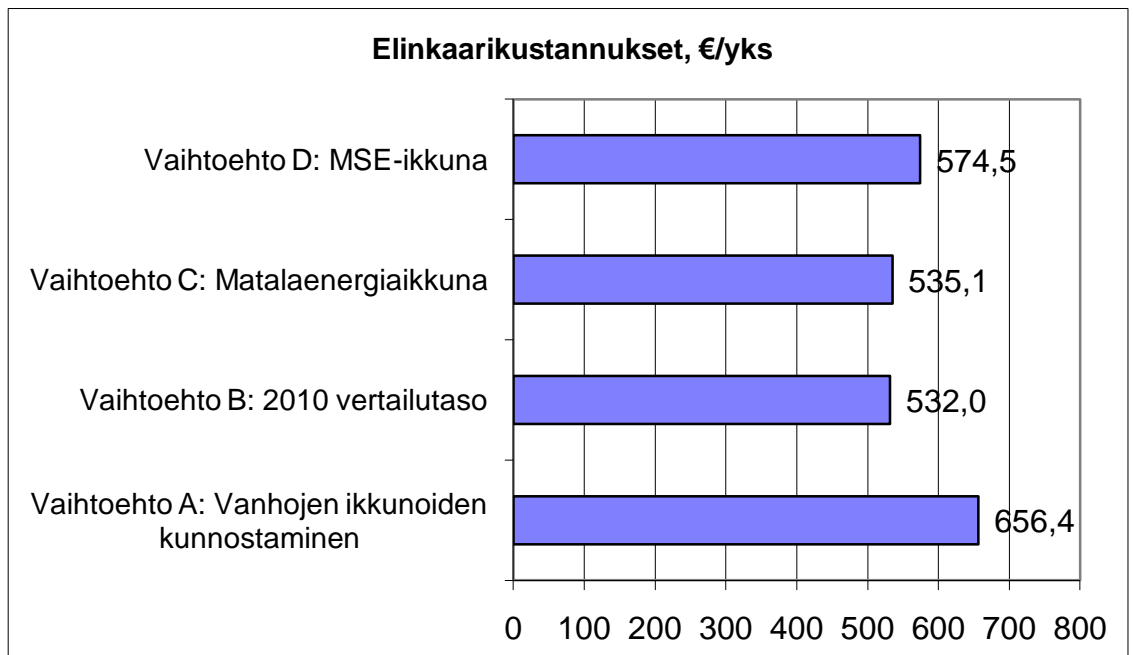
Seuraavassa laskelmassa on esimerkkikohteen ikkunasaneeraukselle Juko Elinkaari 4.1 -ohjelmalla suoritettu elinkaarikustannuslaskelma neljälle erilaiselle korjausvaihtoehdolle:

- Vaihtoehto A: Vanhat ikkunat kunnostetaan (Energialuokan G ikkuna, jonka U-arvo on noin 3 W/m²K)
- Vaihtoehto B: RakMK C3 vuoden 2010 määräykset täyttävä ikkuna. (Energialuokan A ikkuna, jonka U-arvo on 1,0 W/m²K)
- Vaihtoehto C: RIL 249-2009 asettamat matalaenergiatalon M-50 ohjeavot täyttävä matalaenergiakkuna (Energialuokan A ikkuna, jonka U-arvo on 0,76 W/m²K)
- Vaihtoehto D: MSE- tyyppinen ikkuna (Energialuokan C ikkuna, jonka U-arvo on 1,3 W/m²K)

Taulukko 20. Neljän eri ikkunakorjausvaihtoehdon LCC-laskelmat. Taulukon ensimmäisessä osassa ovat laskelmissa käytetyt lähtötiedot, toisessa osassa ovat laskelmien tulokset ja kolmannessa osassa ovat tulokset graafisessa muodossa.

| LÄHTÖTIEDOT | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|------------------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------|--|
| Taloudellinen pitoaika, v | | 40 | Taloudellinen pitoaika voi vaihdella välillä 0 - 60 v | | | | | | | | | | | | | |
| Laskentakorko, % | | 4 | | | | | | | | | | | | | | |
| Energiahinta, €/kWh | | 0,08 | | | | | | | | | | | | | | |
| Arvonlisävero, % | | 22 | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarkastelupaikkakunta | | Helsinki | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 1. jakso | | 2. jakso | | 3. jakso | | 4. jakso | | 5. jakso | | 6. jakso | | Jäännös- | |
| Toimenpide | | Korjaus- | Jakso | Hinta | Jakso | Hinta | Jakso | Hinta | Jakso | Hinta | Jakso | Hinta | Jakso | Hinta | arvo | |
| | Yks | €/yks | v | €/yks | v | €/yks | v | €/yks | v | €/yks | v | €/yks | v | €/yks | €/yks | |
| Vaihtoehto A: Vanhojen ikkunoiden kunnostaminen | m ² | 60 | 10 | 0 | 20 | 10 | 30 | 10 | 40 | 10 | 50 | 0 | | | 0 | |
| Vaihtoehto B: 2010 vertailutaso | m ² | 280 | 10 | 0 | 20 | 0 | 30 | 0 | 40 | 0 | 50 | 0 | | | 0 | |
| Vaihtoehto C: Matalaenergiakkuna | m ² | 320 | 10 | 0 | 20 | 0 | 30 | 0 | 40 | 0 | 50 | 0 | | | 0 | |
| Vaihtoehto D: MSE- ikkuna | m ² | 268 | 10 | 0 | 20 | 0 | 30 | 0 | 40 | 0 | 50 | 0 | | | 0 | |
| | | | U-arvo ,nyt U-arvo | | U-arvo | | U-arvo | | U-arvo | | U-arvo | | U-arvo | | | |
| | Yks | W/m ² | W/m ² | W/m ² | W/m ² | W/m ² | W/m ² | W/m ² | W/m ² | W/m ² | W/m ² | W/m ² | W/m ² | W/m ² | | |
| Vaihtoehto A: Vanhojen ikkunoiden kunnostaminen | m ² | 3 | 3 | | 3 | | 3 | | 3 | | 3 | | | | | |
| Vaihtoehto B: 2010 veratilutaso | m ² | 1 | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | | | | |
| Vaihtoehto C: Matalaenergiakkuna | m ² | 0,76 | 0,76 | | 0,76 | | 0,76 | | 0,76 | | 0,76 | | | | | |
| Vaihtoehto D: MSE- ikkuna | m ² | 1,3 | 1,3 | | 1,3 | | 1,3 | | 1,3 | | 1,3 | | | | | |

| TULOKSET | | | | | |
|---|-----------------------------|-------------------------|-------------|------------------|----------------------|
| Taloudellinen pitoaika, v | | 40 | | | |
| Laskentakorko, % | | 4 | | | |
| Energianhinta, €/kWh | | 0,08 | | | |
| Arvonlisävero, % | | 22 | | | |
| Tarkastelupaikkakunta | | Helsinki | | | |
| | Elinkaarikust, yht €/yks | Investointi KP €/yks | KP €/yks | Energia €/yks | Jäännösarvo €/yks |
| Vaihtoehto A: Vanhojen ikkunoiden kunnostaminen | 656,4 | 73,2 | 11,9 | 571,3 | 0,0 |
| Vaihtoehto B: 2010 vertailutaso | 532,0 | 341,6 | 0,0 | 190,4 | 0,0 |
| Vaihtoehto C: Matalaenergiaikkuna | 535,1 | 390,4 | 0,0 | 144,7 | 0,0 |
| Vaihtoehto D: MSE- ikkuna | 574,5 | 327,0 | 0,0 | 247,6 | 0,0 |



5 VAROJEN TARVE KORJAUSRAKENTAMISESSA

Korjausrakentamisessa tarvitaan varoja rakennusosien uusimiseen, kun niiden elinkaari päättyy. Myös kunnossapito vaatii varoja, jotta saavutettaisiin rakennusosien tavoiteltu käyttöikä.

Kustannuksiin vaikuttaa se, millaista korjauksen tasoa tavoitellaan. Korjaustaso voi olla sellainen, että se pitää yllä entistä laatutasoa. Se voi olla myös parantava, jolloin myös kustannukset muuttuvat merkittävästi. Rakennusteknisesti voidaan puhua

1. maalauskorjauksesta. Se on luonteeltaan ylläpitävää ja tarkoittaa katto ja seinäpintojen uusimista.
2. pintakorjauksesta, jolla tarkoitetaan katto-, seinä- ja lattiapintojen uusimista entisen tasoiseksi.
3. peruskorjauksesta. Tällöin pintojen korjauksen lisäksi uusitaan myös kalusteita ja pintavarusteita niin, että ne vastaavat laadultaan entisiä tai saavuttavat uudet laatutavoitteet.
4. perusparannuksesta. Perusparannus on muutoin peruskorjauksen kanssa samanlainen, mutta siinä nostetaan laatutasoa selvästi. Tiloja voidaan myös muuttaa uusien tavoitteiden mukaisesti. /1, s. 116./

Korjausrakentamista on usein hankala toteuttaa, koska siihen ei ole varauduttu taloudellisesti. Esimerkiksi kunnossapitovastiketta ei ole kerätty hoitovastikkeen tai tilavuokrauksen yhteydessä, mikä johtaa vuokran tai vastikkeen merkittävään nostoon. Lisäksi voidaan ajatella, ettei kunnossa oleva rakennus tarvitse varoja kunnossapitoon. Jos kunnossapitovastike on liian alhainen, korjauksia joudutaan siirtämään ja rakennus menee samaan aikaan vain huonompaan kuntoon. Voi olla myös, että vaikka asunto-osakeyhtiössä kunnostamisen tarve tiedostetaan, osakkaat eivät ole samaa mieltä korjauksien laajuudesta tai ajankohdasta. /1, s. 116 - 117./

Rakennusosien kestoikä vaihtelee paljon. Niinpä koko rakennuksen keskimääräinen teknistaloudellinen ikä voidaankin määrittellä rakennusosien suhteellisen kustannusosuuden ja keskimääräisen kestoajan avulla. Käytännössä tämä tarkoittaa 35 - 60 vuoden ikää riippuen kuitenkin rakentamisen laadusta sekä rakennusosan käyttötarkoituksesta. Jos teknistaloudellisen iän ajatellaan olevan 50 vuotta, rakennusosien uusimiseen kuluu 2 % jälleenhankinta-arvosta varoja vuodessa. Jälleenhankinnalla tässä tarkoitetaan rakenta-

miskustannusta, jolla voitaisiin rakentaa tarkasteluhetkellä uusi, vastaavanlainen kohde. Tähän kustannukseen sisältyvät ulkoaluetyöt, mutta eivät tonttikustannukset. /1, s. 117 - 118./

Rakennus voidaan rakentaa niin, että se palvelee tiettyä toimintaa, jonka päätyttyä se puretaan. Tällöin rakennusratkaisuissa ei tarvitse ottaa huomioon muunneltavuutta tai monikäyttöisyyttä. Rakennusosat voidaan valita niin, että niiden elinkaari on suurin piirtein samanmittainen kuin koko rakennuksen ajateltu elinkaari. Tämantyyppinen rakentaminen on edullisempaa kuin pysyväksi ajateltu rakentaminen, jos rakennusmateriaalit valitaan ympäristöystävällisesti: rakennusjäte saadaan täten myöhemmin hyödynnetyksi kierrättämällä, uusiokäytössä tai energiantuotannossa. Määräajaksi rakennettua rakennustakin täytyy kuitenkin pitää kunnossa normaalisti, jotta se saavuttaisi riittävän pitkän elinkaaren. Tällaiseen rakennukseen ei juuri uusiota rakennusosia, joten pääomakustannus muodostuu rakennusinvestoinnin ja pääomalle asetetun koron mukaan. /1, s. 118./

Kunnossapito eli ns. ylläpitävä korjausrakentaminen on välttämätöntä, jos halutaan pitää kiinni rakennuksen laadusta sekä pitää rakennusosat kunnossa niiden koko elinkaaren ajan. Kunnossapidon toimenpiteet tehdään perusparannusten yhteydessä tai niiden välissä. Kunnossapitokorjaukseen tarvittavat varat voidaan määritellä yleisellä tasolla niin, että ne ajatellaan suhteessa jälleenhankinta-arvoon. Varojen tarpeen voidaan ajatella olevan sidoksissa kunnossapidon laatuun, sillä kunnossapidolla vaikutetaan rakennuksen tekniseen kestoan, ulkonäköön sekä toimivuuteen. /1, s. 119./

Kunnossapidossa on kuusi eri laatutasoa, joiden tuntomerkeistä, kunnossapitokustannuksista ja tyyppillisistä kohteista on laadittu seuraava taulukko Myyryläisen /1, s. 119 – 120/ esittämien tietojen pohjalta:

Taulukko 21. Kunnossapidon laatutasot.

| Kunnossapito-kustannus, % vuodessa rakennuksen jälleenhankinta-arvosta | Kunnossapidon laatutaso | Kunnossapitotason tuntomerkkejä | Tyypilliset kohteet |
|--|-------------------------|---|--|
| 0,5 | korkeatasoinen | <ul style="list-style-type: none"> • tekninen kunnossapito • kaikkien pintojen pito uuden veroisina | edustustilat |
| 0,4 | laadukas | <ul style="list-style-type: none"> • tekninen kunnossapito • näkyvien pintojen pito laadukaina ja ilman näkyviä vaurioita | korkeatasoiset majoitus-, palvelu- ja toimistotilat |
| 0,3 | hyvä | <ul style="list-style-type: none"> • tekninen kunnossapito • vaurioiden korjaus viipymättä • yleisen laatutason hyvä | hyvin hoidetut asuin- ja toimistoyms. rakennukset |
| 0,2 | tydyttävä | <ul style="list-style-type: none"> • tekninen kunnossapito kohtalaisen hyvä • vaurioiden korjaus puutteellista • yleisen laatutason ilme tydyttävä | tydyttävät vuokra-asunnot ja hyvin hoidetut asoy:t |
| 0,1 | välttävä | <ul style="list-style-type: none"> • rakennuksen tekninen toimivuus kohtalainen • yleisen laatutason ilme huono | huonompitas. vuokra-asunnot ja välttävät as. oy:n korjaukset |
| 0,0 | heikko | <ul style="list-style-type: none"> • rakennukselle ei löydy sellaisenaan käyttöä • suunnitelmissa pian perusrannusta, säilöntää tai purkua | käyttötarve loppumassa, laatu heikkenee nopeasti |

Suurehkojen kiinteistömassojen suurpiirteiseen kustannusbudjetointiin voidaan käyttää tilastollista kunnossapitokustannusta. Sitä voidaan silloinkin, kun kyseessä on vain yksi rakennus ja sille halutaan määritellä pitkän aikavälin kunnossapidon kustannustaso. Seuraavaan taulukkoon on koottu vertailua varten asuinkerrostalon ja koulurakennuksen keskimääräiset kunnossapitokustannukset jälleenhankinta-arvosta (JH) vuodessa (a) ja kuukaudessa (kk):

Taulukko 22. Asuinkerrostalon ja koulurakennuksen keskimääräiset kunnossapitokustannukset jälleenhankinta-arvosta vuodessa ja kuukaudessa (kk). /1, s. 120./

| Käyttötarkoituserhmä | € JH/htm ² (taso 2007) | Kustannus %:a jälleenhankinta-arvosta (JH) | | | | | | | | | |
|----------------------|--|--|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|
| | | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 |
| | | a | kk | a | kk | a | kk | a | kk | a | kk |
| Asuinkerrostalo | 2000 | 10,0 | 0,83 | 8,0 | 0,67 | 6,0 | 0,50 | 4,0 | 0,33 | 2,0 | 0,17 |
| Koulurakennus | 1500 | 7,5 | 0,63 | 6,0 | 0,50 | 4,5 | 0,38 | 3,0 | 0,25 | 1,5 | 0,13 |

Tilastollista arviointia tarkempi kunnossapitovarojen ajoitus ja suuruus selvitetään 1 - 10 vuoden PTS-ohjelman laadinnan yhteydessä kuntoarvioiden pohjalta. /1, s. 120./

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä tarkasteltiin matalaenergiarakentamisen haasteita korjausrakentamisessa. Työssä selvitettiin lämmöneristysmääräysten muuttumista, energiakorjausten suunnittelua ja toteutusta sekä matalaenergiarakenteiden toimivuutta rakennusfysikaalisesti. Lisäksi työssä tarkasteltiin energiatehokkaiden korjausten ja matalaenergiakorjausten taloudellisuutta. Taloudellisuustarkasteluissa oli tavoitteena selvittää, miten kannattavaa on lisätä lämmöneristepaksuutta rakenteisiin peruskorjauksen yhteydessä.

Lisäksi selvitettiin ikkunasaneerauksen taloudellisuutta siten, että erilaisilla lämmönläpäisyarvoilla olevien ikkunoiden investointikustannuksia verrataan pitkän aikavälin energiansäästöissä saavutettavaan kustannussäästöön. Pitkän aikavälin kustannuksissa (LCC-laskelmissa) oli kiinteistön omistajan näkökulma eli miten investoinnin kannattavuus rahallisesti voidaan osoittaa investoinnilla saavutetun energiankulutuksen pienentymisen kautta.

Työssä esimerkkikohteena oli 1960-luvulla rakennettu oppilaitosrakennus Helsingissä, johon lähivuosina on tarkoitus tehdä energiatehokkuutta parantava perusparannus. Työssä tarkasteltiin vaipparakenteen eli ulkoseinien, ikkunoiden ja yläpohjan energiatehokasta peruskorjausta. Esimerkkikohteen uudet rakenneratkaisut suunniteltiin Suomen rakentamismääräyskokoelman C3 vuoden 2010 alusta voimaan tulleilla uudisrakennuksia koskevilla energiamääräyksillä sekä vuonna 2009 julkaistun RIL-249 Matalaenergiarakentaminen Asuinrakennukset -ohjeilla.

Ulkoseinien kosteusteknistä toimintaa tarkasteltiin stationäärisissä olosuhteissa rakenteen vesihöyryn todellisten painekäyrien ja kylästyspainekäyrien avulla. Ohjelmallisesti tietokoneen avulla ulkoseinärakenteiden toimintaa tarkasteltiin epästationäärisessä tilassa kahden vuoden tarkastelujaksoilla.

Perusparannuksen hankesuunnitteluvaiheessa olevan kiinteistön ulkoseinien ja ikkunoiden korjausvaihtoehtojen elinkaarta tarkasteltiin taloudellisesta näkökulmasta elinkaarilaskelmilla. Esimerkkikohteen ulkoseinärakenteissa ja ikkunoissa on useita erilaisia vaihtoehtoja suorittaa perusparannus, ja tässä työssä tarkasteltiin korjauksella saatavaa käyttöikää ja eri korjausvaihtoehtojen elinkaarikustannuksia suunnitteluratkaisujen tueksi. Elinkaarikustannuk-

silla voitiin todeta vaihtoehtoisten ja hinnaltaan toisistaan poikkeavien suunnitteluratkaisujen taloudellisuus pitkällä aikavälillä. Samalla voitiin osoittaa, maksaako rakentamisvaiheessa hinnaltaan kalliimpi suunnitteluratkaisu ulkoseinissä ja ikkunoissa itseään takaisin ja millä aikavälillä energiansäästön kautta. Elinkaarilaskelmilla voitiin osoittaa, milloin energiaa säästävä lisäinvestointi on kannattavaa. Laskelmissa ei ole otettu kantaa erilaisten arvotekijöiden vaikutuksia vaihtoehtojen edullisuusjärjestykseen. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi lämpöviihtyvyyden paraneminen joka esimerkikohteessa ei ole tällä hetkellä hyvä. Toinen merkittävä arvotekijä on puutteellisesti toimivista ulkoseinärakenteista johtuvat sisäilmaongelmat, joita rakennuksessa on havaittu.

Energiatehokkaassa rakentamisessa on useita yleistettäviä pääperiaatteita, joilla rakennuksista saadaan energiatehokkaita niin uudis- kuin korjausrakentamisessakin. Erityistä huomiota täytyy kiinnittää rakenteellisiin ratkaisuihin: vaipan erittäin hyvään lämmöneristävyyteen ja ilmanpitävyyteen, konvektiovirtausten estämiseen vaipan lämmöneristekerroksissa, energiatehokkaisuun ikkunoihin, aurinkosuojaukseen, sisäisten lämpökuormien torjumiseen ja hyödyntämiseen. Talotekniikassa energiatehokkuuden kannalta optimaalisessa toteutuksessa kiinnitetään huomio rakennuksen lämmityksen ja jäädytyksen tehontarpeen minimoimiseen siten, että ilmanvaihdossa voidaan käyttää sekä lämmön- että kylmäntalteenottoa. Myös tilasuunnittelua ja massoittelua täytyy suunnitella energiatehokkuuden näkökulmasta.

Energiatehokas rakentaminen ei ole kuitenkaan täysin riskitöntä. Siinä joudutaan käyttämään paksumpia eristekerroksia. Useimmissa rakenteissa lämmöneristekerrosten paksuntaminen ei kuitenkaan ole ongelmatonta, vaan rakenteisiin pitää tehdä muutoksia etenkin, jos halutaan olla nostamatta kustannuksia. Tämä johtaa siihen, että suunnittelussa rakenteita ja niiden detaljeja joudutaan muuttamaan yhtäaikaaisesti. Käytännön riskeistä esimerkkinä voi mainita solumuovieristeiden todennäköisen lisääntymisen. Näihin eristeisiin liittyy paljon hyviä ominaisuuksia, mutta niiden käytöstä monissa rakenteissa ei ole kokemusta. Yleisemminkin voidaan sanoa, että kokemuksen puute on energiarakentamisen suurin haaste: asiat on totuttu tekemään tietyllä tavalla.

Kun lämmöneristepaksuutta lisätään, vaipparakenteiden kosteusteknistä toimintaa muuttaa eniten rakenteiden ulko-osien viileneminen. Lämpötilan

lasku rakenteen uloimmissa osissa johtaa siihen, että kosteus voi herkemmin kondensoitua rakenteeseen. Rakenteeseen kondensoitua kosteus antaa suotuisemmat olosuhteet mikrobikasvustoille. Kosteuden pääsemisen eliminointi rakenteeseen on ensiarvoisen tärkeää matalaenergiarakenteissa, joissa on paksut lämmöneristekerrokset. Kosteuden pääsyn estäminen saavutetaan tehokkaalla vaipan ilmanpitävyyden parantamisella. Vaipan ilmanpitävyydessä ongelmia voivat aiheuttaa yksittäiset vuotokohdat, vaikka rakennuksen ilmanpitävyys muutoin olisi hyvä. Tämän ongelman eliminointiin tehokkain tapa on erittäin huolellinen rakennustyön toteutus. Lisäksi hyvän ilmanpitävyyden omaavassa rakennuksessa on tärkeä huomioida ilmanvaihdon toiminta ja tasapainotus, koska hyvin tiiviissä rakennuksessa ilmavirtojen epätasapaino voi johtaa todella suuriin paine-eroihin.

Suunnittelun näkökulmasta ongelmana voi olla se, että perinteisesti suunnittelijat hallitsevat rakenteiden lujustekniikan erittäin hyvin. Sen sijaan parannettavaa on lämpö- ja kosteusteknisessä sekä paloteknisessä osaamisessa. Niitä kuitenkin tarvitaan, jotta voidaan tehdä toimivia rakenteita.

Ikkunoiden U-arvojen paranemisen huolena on ollut ikkunoiden ulkopintaan kondensoitua kosteus silloin, kun uloimman lasin ulkopintalämpötila laskee ulkoilman kastepistelämpötilan alapuolelle. Helpoimmin ilmiö tapahtuu pilvetöminä öinä ikkunan uloimman lasin säteillä ympäristöön ja taivaalle lämpöä jäähtyen ulkoilman lämpötilaa kylmemmäksi. Käytännön haittana tässä voi olla se, että pääsääntöisesti yöaikana ja aamun tunteina ikkunasta ei näe läpi. Kondensoitumista voi tapahtua myös pakkasaikaan epäedullisissa olosuhteissa, jolloin ikkunan ulkopinta voi olla huurteessa pitempiäkin aikoja. Ilmiöstä johtuva haitta on kuitenkin vain esteettinen. Ikkunan uloimman lasin lämpötasapainoon vaikuttaa useita tekijöitä, kuten esimerkiksi tuuliolosuhteet, säteily taivaalle ja taivaalta, säteily lähiympäristöön ja lähiympäristöstä, konvektiovirtaukset ikkunan ulkopuolella, lämpövuodot ikkunan läpi, ikkunan sijainti rakennuksessa, räystäät ja säleiköt. Toisaalta haitta on suurin yöllä sekä aamuyön tunteina, jolloin ikkunapintojen kondensoitumisella on kuitenkin vähiten esteettistä haittaa.

Elinkaarikustannustarkastelujen perusteella edullisin vaihtoehto ulkoseinissä on vanhan korjaava ja säilyttävä vaihtoehto, vaikka energiakustannukset ovatkin noin nelinkertaiset matalaenergiavaihtoehtoon verrattuna. Tässä

vaihtoehdossa riskinä elinkaarikustannuksiin on nykyisen rakenteen jäljellä olevan käyttöiän pituus.

Laskelmissa yhtenä vaihtoehtona on vanhan korjaava ja säilyttävä vaihtoehto siten, että jäljellä olevaksi käyttöiäksi on arvioitu vielä kymmenen vuotta. Kymmenen vuoden jälkeen seinärakenne uusittaisiin. Tämä on kuitenkin elinkaarikustannuksiltaan huonoin vaihtoehto ja on noin 20 prosenttia kalliimpi kuin nyt tapahtuva energiatehokas korjaaminen.

Matalaenergiavaihtoehdolla ja vuoden 2010 lämmöneristysmääräyksillä päästään lähes samoihin elinkaarikustannuksiin. Matalaenergiavaihtoehdossa tuleva investointikustannusten lisä tulee elinkaaren aikana energiakustannuksissa takaisin. Vertailu puoltaa herkkyytarkasteluissa matalaenergiavaihtoehtoa verrattaessa näitä kahta rakenteen uusivaa korjausta keskenään. Laskettaessa kymmenen prosenttia korkeammalla energiahinnalla matalaenergiavaihtoehdon elinkaarikustannukset ovat jo pienemmät ja silloin energiakustannukset pienenevät noin 18 prosenttia. Matalaenergiavaihtoehto olisi siinä mielessä elinkaarikustannusten kannalta varmempi ratkaisu, koska energian hinta todennäköisesti tulee nousemaan tulevaisuudessa.

Julkisivukorjausvaihtoehtoa elinkaarikustannuksilla laskettaessa yksi ratkaisevimmista tekijöistä on nykyisen ulkoseinärakenteen jäljellä olevan käyttöiän pituuden arviointi. Mikäli nykyisellä rakenteella ei ole enää riittävää käyttöikää jäljellä, vanhan rakenteen säilyttävä korjaava vaihtoehto ei ole kannattava.

Esimerkkikohteen eri ikkunankorjausvaihtoehtojen elinkaarikustannuslaskelmissa energiatehokkaat ikkunat ($U\text{-arvo} \leq 1$) ovat selvästi paras vaihtoehto verrattuna muihin tässä työssä vaihtoehtoina olleisiin ikkunoiden korjausvaihtoehtoihin. Selvästi kallein vaihtoehto on nykyisten ikkunoiden kunnostaminen, vaikka kunnostamisesta aiheutuvat investointikustannukset olivat vain noin 20 prosenttia uusien ikkunoiden investointikustannuksista. Vanhoilla ikkunoilla energiakustannukset elinkarilaskelmissa muodostuisivat noin 200 prosenttia suuremmiksi kuin vuoden 2010 U-arvojen vertailutason ikkunoilla. U-arvoltaan 1,0 olevan ikkunan elinkaarikustannukset olivat noin 3 euroa/m² edullisempi kuin U-arvoltaan 0,76 oleva ikkuna.

Herkkyytarkastelut osoittivat kuitenkin, että 10 prosentin energian hinnan nousu muutti U-arvoltaan 0,76 olevan ikkunan edullisemmaksi. Myös ikku-

nakorjauksessa matalaenergiavaihtoehto olisi siinä mielessä elinkaarikustannusten kannalta varmempi ratkaisu, koska energian hinta todennäköisesti tulee nousemaan tulevaisuudessa.

VIITELUETTELO

- [1] Myyryläinen, Leevi, *Elinkaariajattelu kiinteistönpidossa*. Helsinki: Kiinteistöalan kustannus. 2008.
- [2] LC Kiinteistöratkaisut Oy:n internet-sivut
<http://www.lck.fi/putkiremontti/elinkaariajattelu/default.html>
- [3] Eljo, Juhani - Nippala Eero, *Energiatohokkuus julkisissa hankinnoissa - Rakentaminen ja rakennukset*. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. 2007.
- [4] Valtion säädöstietopankin, Finlexin internetsivut
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2007/20070348> [viitattu 20112009]
- [5] Tilastokeskuksen internetsivut
http://www.stat.fi/artikkelit/2009/art_2009-01-14_002.html?s=7 [viitattu 21112009]
- [6] Helsingin kaupungin energiansäästöneuvottelukunta. *Tietoja Helsingin kaupungin energiankäytöstä vuodelta 2008* [verkkodokumentti]. 26.8.2009 [viitattu 21112009]. Saatavissa: www.hel2.fi/esnk/energia/2008
- [7] *Matalaenergiarakenteiden toimivuus – Tutkimustuloksia ja suosituksia uusiin lämmöneristys- ja energiakulutusmääräyksiin ja –ohjeisiin, loppuraportti*. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. 2008.
- [8] Saari, Arto, *Elinkaarikustannusten laskenta* [verkkodokumentti]. 23.8.2004 [viitattu 19122009]. Saatavissa: <http://rem.e21.fi/>
- [9] VTT. *Lausunto rakenteiden energiatohokkuuden vaikutuksista rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen*. Tutkimusselostus Nro VTT-S-10816-08. 2008.
- [10] Laine, Juhani, *Rakennusten energiatalouden optimointi*. Luentomoniste. Espoo: TKK:n Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto, Otaniemi. 2003.
- [11] Mattila, Jussi, *Matalaenergiarakentamisen kompastuskivet. Kiinteistöposti Professional 9/2008*, s. 26.
- [12] Heikkonen, Heikki, Korjaaminen korostuu uudessa energiatohokkuusdirektiivissä. *Rakennuslehti 40* (2009), s. 4.
- [13] Myyryläinen, Leevi, *Kiinteistön teknisen huollon käsikirja*. Helsinki: Kiinteistöalan kustannus. 2008.
- [14] RIL 249-2009 *Matalaenergiarakentaminen. Asuinrakennukset*. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2009.
- [15] Pentti Matti – Hyypöläinen Tarja, *Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu*. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu. Rakennustekniikan osasto. Julkaisu Nro 94. 1999.
- [16] Torikka, Kirsi ym. *Kosteusvauriokorjausten laadunvarmistus*. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu. Rakennustekniikan osasto. Julkaisu Nro 99. 1999.
- [17] Mattila, Jussi, *Energiatohokas korjaaminen. Betoni 3* (2009), s. 49.

- [18] Björkholtz, Dick, *Lämpö ja kosteus rakennusfysiikka*. Helsinki: Rakennustieto Oy. 1997.
- [19] *Kiinteistöjen ylläpidon kustannustieto 1992. Hoito- ja kunnossapitokustannukset sekä elinkaaren kustannuslaskelmat*. Espoo. Teknillinen korkeakoulu. Rakennetekniikan laitos. Rakentamistalous. Julkaisu Nro 119. 1993.
- [20] Myyryläinen, Leevi, *Kiinteistön kunnossapidon ja elinkaaren hallinta*. Helsinki: Kiinteistöalan kustannus. 2003.
- [21] Mölsä, Seppo, Kovat eristeet uhkaavat villan asemaa julkisivuissa. *Rakennuslehti 2* (2010), s. 9.
- [22] Kokko, Erkki ym. *Uudet vaipparakenteet. Energian säästö ja kosteustekniikka*. Espoo. VTT tiedotteita 1869. 1997.
- [23] Kaila, Panu. *Talotohtori. Rakentajan pikkujättiläinen*. Helsinki: WSOY. 2008.
- [24] RIL 225-2004 *Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien laskenta*. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 2005.
- [25] Hemmilä Kari – Heimonen Ismo. *Ikkunoiden energialuokituksen pilotointi*. Espoo. VTT tiedotteita 2356. 2006.
- [26] Fenestra Oy:n internet-sivut <http://www.fenestra.fi/portal/suomi/ikkunat/?a=showProductGroup&group=9> [viitattu 15.2.2010]
- [27] Pihlavan ikkuna Oy:n internet-sivut <http://www.pihla.fi/ikkunat> [viitattu 15.2.2010]
- [28] Flanagan, Roger ym. *Life cycle costing*. Oxford. BSP Professional books. 1989.
- [29] Hagentoft, C-E. *Introduction to Building Physics*. Studentlitteratur. Lund. 2001.
- [30] Kilpeläinen, Mikko ym. *Pientalon tekninen laatu, tähtiluokitus. Opas pientalon rakennuttajille ja suunnittelijoille*. Helsinki. Ympäristöministeriö. 2006.