



Rakennuksen ulkovaipan energiakorjaukset

Kirjoittajat:

Ilpo Kouhia, Jyri Nieminen, Sakari Pulakka

Luottamuksellisuus:

Julkinen

Raportin nimi Rakennuksen ulkovaipan energiakorjaukset	
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Asumisen rahoitus- ja kehityskeskus ARA	Asiakkaan viite 15097/782/09
Projektin nimi Kerrostalo ilmastonmuutos	Projektin numero/lyhytnimi KIMU
Raportin laatija(t) Ilpo Kouhia, Jyri Nieminen, Sakari Pulakka	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 43/
Avainsanat Energiatehokkuus, korjausrakentaminen, kerrostalo	Raportin numero VTT-R-04017-10
Tiivistelmä <p>Kerrostalon ilmastonmuutos - KIMU -projektissa haetaan ratkaisuja, joita voidaan hyödyntää laajasti kerrostalojen energiategokkuuden parantamiseksi. Tässä raportissa tarkastellaan ulkovaipan korjauksia erityisesti energiategokkuuden näkökulmasta.</p> <p>1960- ja 1970-lukujen kerrostalokannan perustusten ja alapohjien, ulkoseinien, ikkunoiden ja ulko-ovien, parvekkeiden ja yläpohjien tyypilliset rakenteet ja niiden ongelmat kuvataan. Rakenteille esitetään vaihtoehtoisia korjausratkaisuja sekä rakennuksen energiategokkuuden että rakennusosien teknisen kunnan parantamiseksi. Erityisenä tavoitteena KIMU-projektissa on myös rakennuksen hyvän sisäilmaston varmistaminen.</p> <p>Kerrostalon laajojen kokonaiskorjausratkaisujen elinkaarietullisuutta arvioidaan kolmen esimerkkikorjauksen avulla. Energiakorjauksen etullisuus perustuu kokonaisvaltaiseen korjaukseen, jossa energiategokkuutta parantavat toimenpiteet otetaan huomioon marginaalikustannuksina. Arvioissa julkisivun uusimisen oletetaan johtuvan sen teknisen kunnan heikkenemisestä, jolloin uusiminen on tehtävä joka tapauksessa. Energiategokkuuden parantaminen korjausrakentamalla ei yleensä ole yhtä etullista kuin uudisrakentamisessa. Se on kannattavaa korjaushankkeen yhteydessä, kun peruskorjausväli on 40 - 50 vuotta.</p>	
Luottamuksellisuus	{ luottamuksellinen, salainen tai julkinen }
Espoo 18.6.2010	
Ilpo Kouhia Erikoistutkija	Sakari Pulakka Erikoistutkija
Jyri Nieminen Asiakaspäällikkö	
VTT:n yhteystiedot Jyri Nieminen, PL 1000, 02044 VTT	
Jakelu (asiakkaat ja VTT) Julkinen raportti	
<i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i>	

Alkusanat

Suomen vanhan kerrostalokantaan kohdistuu huomattavaa peruskorjaustarvetta. Eri-ikäisten asuinkerrostalojen korjaaminen vastaamaan huomispäivän energiatalouden vaatimuksia on laaja työkenttä. Korjaukset on kyettävä tekemään siten, että samalla parannetaan rakennusten sisäolosuhteita. Uudistaminen on sovittava rakennusten elinkaaren muihin välttämättömiin korjauksiin, kuten julkisivujen, putkistojen, kylpyhuoneiden, ikkunoiden korjauksiin.

Kerrostalon ilmastonmuutos - KIMU -projekti keskittyy Suomessa vuosina 1950 - 1980 rakennettujen kerrostalon peruskorjaukseen. Tavoitteena on löytää ratkaisuja, joita voidaan hyödyntää laajasti. Lähtökohtana on myös tulevien säädösten ja säästövaatimusten ennakointi.

Projekti toteutetaan Suomen Kiinteistöliiton, Aalto-yliopiston teknillisen korkeakoulun, VTT:n, yritysten ja asuntoalueiden yhteistyönä. Projektin johtajana on Markku Rantama Suomen Kiinteistöliitosta. Kerrostalon ilmastonmuutos -projektin rahoittaa Asumisen rahoitus- ja kehityskeskus ARA.

Sisällysluettelo

Alkusanat.....	2
Sisällysluettelo.....	3
1 Johdanto.....	5
2 Lämmöneristysmääräysten kehittyminen	7
3 Perustukset ja alapohja	9
3.1 Perustukset ja alapohjat 1960- ja 1970-lukujen rakennuskannassa	9
3.2 Perustusten ja alapohjien tyypilliset ongelmat.....	9
3.3 Korjaustarve ja tavoitteet.....	10
3.4 Korjausratkaisut	10
4 Ulkoseinien korjaus ja lisälämmöneristäminen	13
4.1 Ulkoseinärakenteet rakennuskannassa	13
4.1.1 1950-luvun kerrostalojen tyypilliset ulkoseinärakenteet	13
4.1.2 1960- ja 1970-lukujen elementtirakentaminen	14
4.2 Ulkoseinien tyypilliset ongelmat	14
4.2.1 1950-luvun kerrostalot	14
4.2.2 1960- ja 1970-lukujen betonielementtikerrostalot.....	15
4.3 Korjaustarve ja tavoitteet.....	17
4.3.1 1950-luvun kerrostalot	17
4.3.2 1960- ja 1970-lukujen betonielementtikerrostalot.....	17
4.4 Korjausratkaisut	18
4.4.1 Tiilijulkisivun lisälämmöneristäminen	18
4.4.2 Betonijulkisivun lisälämmöneristäminen vanhan rakenteen päälle.....	19
4.4.3 Betonijulkisivun purkaminen.....	21
5 Ikkunat ja ulko-ovet.....	25
5.1 Ikkunat ja ulko-ovet 1960- ja 1970 lukujen rakennuskannassa	25
5.2 Ikkunoiden ja ulko-ovien tyypilliset ongelmat	26
5.3 Korjaustarve ja tavoitteet.....	27
5.4 Korjausratkaisut	27
6 Parvekkeiden korjaus	28
6.1 Parvekkeet 1960- ja 1970-luvun rakennuskannassa	28
6.2 Parvekkeiden tyypilliset ongelmat	28
6.3 Korjaustarve ja tavoitteet.....	29
6.4 Korjausratkaisut	30
7 Kattojen korjaus ja lisälämmöneristäminen.....	31
7.1 Yläpohjarakenteet 1960- ja 1970 lukujen rakennuskannassa	31
7.1.1 Tarkasteltavat kattotyypit	31
7.1.2 Vesikatteet ja lämmöneristeet.....	31
7.2 Kattojen tyypilliset ongelmat.....	32
7.3 Korjaustarve ja tavoitteet.....	35
7.4 Korjausratkaisut	36

7.4.1	Tuuletetut katot	36
7.4.2	Tuulettumattomat katot	36
7.4.3	Kattomuodon muuttaminen	38
8	Julkisivukorjausten kannattavuus	39
8.1	Elinkaarikustannusten jaottelu	39
8.2	Energiakorjauksen elinkaarihedullisuus	40
	Lähdeviitteet	47
	Tietoa julkisivukorjauksista	48

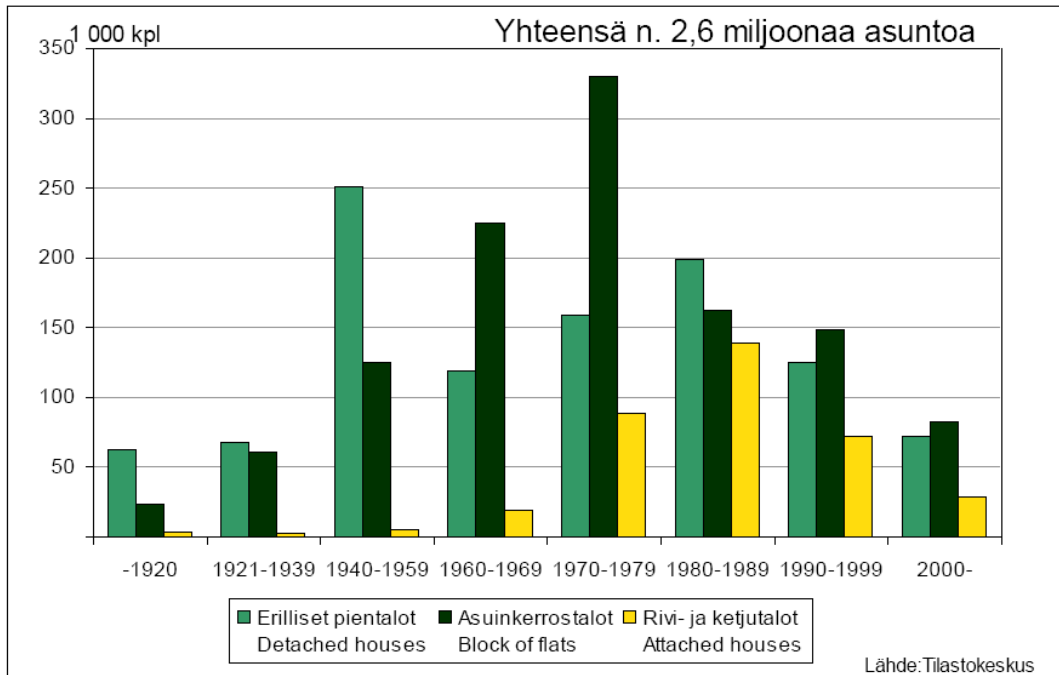
1 Johdanto

Rakennusten aiheuttamat hiilidioksidipäästöt ovat noin 40 % koko Suomen hiilidioksidipäästöistä. Suomi on kansainvälisin sopimuksiin sitoutunut vähentämään päästöjään. Päästövähennyksiin pyritään myös uudisrakennuksia koskevien rakentamismääräysten avulla. Vuoden 2010 alusta voimaan tulleiden määräysten tavoitteena oli pienentää rakennusten tilojen lämmityksen energiankulutusta noin 30 prosentilla. Vuodelle 2012 on kaavailtu uusia muutoksia, jolloin yleinen energiatehokkuus paranisi 20 prosentilla samalla, kun määräysten lähtökohtana olevien rakennusosakohtaisten vaatimusten rinnalle tulisi kokonaisenergiatarkastelu. Lisäksi energiankulutusta arvioitaisiin energiamuuntokertoimien avulla, jolloin myös energialähde otettaisiin huomioon energiaratkaisuissa.

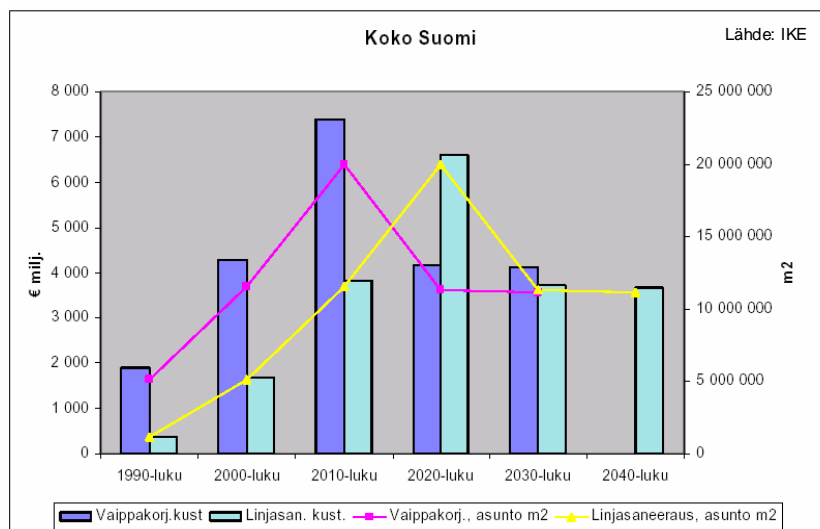
Uudisrakennusten osuus koko rakennuskannasta on vähäinen ja näin ollen uudisrakennuksiin kohdistuvat toimenpiteet vaikuttavat hitaasti. Jo nyt korjausrakentaminen on noussut volyymiltaan uudisrakentamista merkittävämmäksi, ja siten korjausrakentamiseen kohdistettavien toimenpiteiden vaikutus on lyhyellä tähtämellä uudisrakentamiseen kohdistettavia tehokkaampaa.

Lämmitysenergian kulutus on Suomen rakennuskannassa merkittävä osa energian kulutuksesta. Lämmitysenergian käytön tehostaminen merkitsee mm. rakennuksen ulkovaipan lämmöneristävyyden parantamista. Rakennusten energiakorjaukset eivät yleensä ole sellaisenaan taloudellisesti kannattavia, mutta energianäkökulman liittäminen muihin välttämättömiin vaippaan liittyviin toimenpiteisiin voi olla kustannustehokasta. Rakennusten ylläpitoon ja peruskorjaamiseen liittyvät toimenpiteet nivELYvät vahvasti toisiinsa. Rakennuksen pitkän aikavälin suunnitelman tarkoituksena on mm. järjeistää erilaisten ylläpito- ja korjaustoimenpiteiden ajoitusta ja täten saavuttaa myös taloudellista hyötyä kiinteistönpidossa.

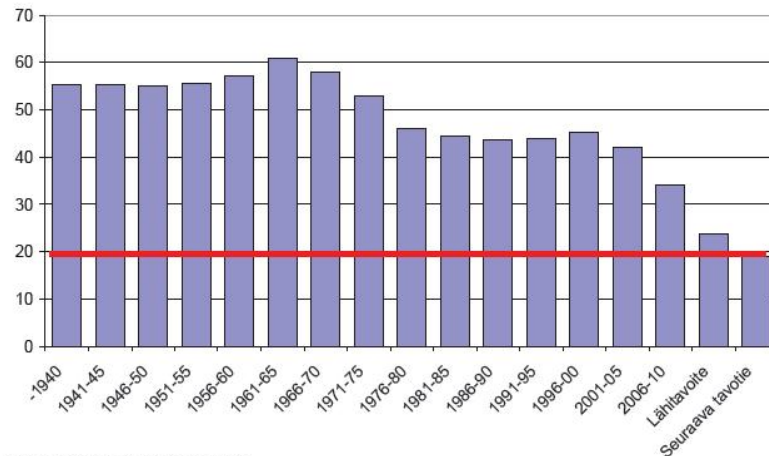
Suomen 1960 – 1970-luvuilla rakennettiin lähes 550 000 kerrostaloasuntoa, kuva 1. Tuon ajan rakennuskanta on korjausvaiheessa, kuva 2. Rakentamisessa siirryttiin paikalla rakentamisesta elementtirakentamiseen, ja rakentamistavan sekä erityisesti asuntorakentamisen suurten volyymien takia käytettyjen elementtien laadussa oli huomattaviakin puutteita. Erityisesti linjasaneerausten ja julkisivukorjausten tarve on suuri. Samalla 1960- ja 1970-lukujen kerrostalokanta on varsin energiatehotonta (kuva 3), eli myös energiakorjauksille on huomattava tarve.



Kuva 1. Suomen asuntokanta /1/.



Kuva 2. Suomen kerrostalokanta kehittymiseen vaikutti 1960- ja 1970-lukujen kaupungistuminen /2/. Rakentamistavan muuttuminen paikalla rakentamisesta elementtirakentamiseen, elementtitekniikan alkuaikojen tuotanto- ja materiaaliuongelmat, sekä puutteellinen tieto ratkaisujen toimivuudesta ja kestävyyydestä ovat aiheuttaneet myös huomattavan julkisivujen korjaustarpeen. Taloyhtiöiden kannalta tietoa puuttuu yhä korjausratkaisuista ja niiden taloudellisista ja energiasäästövaikutuksista.

Asuinkerrostalon lämmitysenergiatarve vuodessa - kWh/m³


Pekka Pajakkala & Terttu Vainio
6.11.2008

[Rakennusten energiankulutus ja CO₂-päästöt](#)

Kuva 3. Asuinkerrostalojen ominaislämmönkulutus vuodessa. Suomen 1960- ja 1970-lukujen kerrostalokanta on energiatehotonta /3/.

2 Lämmöneristysmääräysten kehittyminen

Rakennuksen ulkovaipan osien lämmöneristävyyksivaatimukset ovat vuosikymmenten aikana kiristyneet merkittävästi. Nykyvaatimukset täyttävien rakenteiden toteuttaminen ei olisi ollut mahdollista 50 vuotta sitten käytössä olleilla materiaaleilla ja rakenteilla ilman rakenteiden merkittävää paksuuden kasvattamista. Suomen ensimmäiset suositukset rakenteiden lämmöneristävyydelle ilmestyivät vuonna 1962, jolloin Rakennusinsinööriyhdistys (nykyisin Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL) julkaisi Lämmöneristysnormit RIY A43, taulukko 1. Tätä ennen yhdistys oli julkaissut ohjekirjan Asuinrakennusten seinämien lämmönläpäisyluvut ja niiden suositeltavat enimmäisarvot, josta varhaisin painos on vuodelta 1949 /14/.

Vuoden 1969 asuinrakennusten lämmöneristysnormeissa (RIL 66) Suomi oli jaettu kahteen vyöhykkeeseen likimäärin Oulun - Vaalan - Kuhmon kautta kulkevan rajalinjan avulla. Pohjoiselle osalle oli tiukemmat lämmöneristysvaatimukset kuin eteläiselle vyöhykkeelle. Tämän lisäksi nykymääräyksistä poiketen massiivisille ja keveille rakenteille oli erilaiset lämmöneristysvaatimukset, taulukko 2.

Vuoden 1976 ja sitä myöhempien lämmöneristysmääräysten yleispiirteet ovat taulukossa 3.

Taulukko 1. Suurimmat sallitut lämmönläpäisykertoimet (W/m^2K) asuinrakennuksen eri rakennusosille vuoden 1962 asuinrakennusten lämmöneristysnormeissa /14/, alkuperäinen taulukko (RIY A43) /15/.

Rakennusosa	Pohjoinen vyöhyke	Eteläinen vyöhyke
Seinä ulkoilmaa tai lämmittämätöntä tilaa vasten		
yksinomaan poltetuista tiilistä tehty seinä	0,93	1,05
normaalinen vaatimus	0,70	0,81
seinä, jonka massa < 100 kg/m ²	0,41	0,47
Katto ulkoilmaa tai lämmittämätöntä tilaa vasten		
tarkastava viranomaisen voi sallia erityistapauksessa	0,58	0,58
normaalinen vaatimus kivirakenteiselle	0,47	0,47
normaalinen vaatimus puurakenteiselle	0,41	0,41
Lattia		
osittain lämmitettyä tilaa vasten	0,70	0,70
lämmittämätöntä tilaa vasten	0,47	0,47
ulkoilmaa vasten	0,41	0,41

Taulukko 2. Suurimmat sallitut lämmönläpäisykertoimet (W/m^2K) asuinrakennuksen eri rakennusosille vuoden 1969 asuinrakennusten lämmöneristysnormeissa (RIL 66) /14/.

Rakennusosa	Pohjoinen vyöhyke	Eteläinen vyöhyke
Seinä ulkoilmaa tai lämmittämätöntä tilaa vasten		
yksinomaan poltetuista tiilistä tehty seinä	0,93	1,05
normaalinen vaatimus	0,70	0,81
seinä, jonka massa < 100 kg/m ²	0,41	0,47
Yläpohja ulkoilmaa tai lämmittämätöntä tilaa vasten		
normaalinen vaatimus kivirakenteiselle	0,47	0,47
normaalinen vaatimus puurakenteiselle	0,35	0,41
Alapohja		
osittain lämmitettyä tilaa vasten	0,70	0,70
lämmittämätöntä tilaa vasten	0,47	0,47
ulkoilmaa vasten	0,35	0,35
lämmittämätön maanvarainen	0,47	0,47
Ikkunoiden ja ovien lasiosat		
ikkunapinta-ala/seinäpinta-ala ≤ 0,30	3,14	3,14
ikkunapinta-ala/seinäpinta-ala > 0,30 ja < 0,60	2,67	3,14
ikkunapinta-ala/seinäpinta-ala ≥ 0,60	2,44	2,44

Taulukko 3. suomen rakentamismääräyskokoelman energiamääräysten pääpiirteet 1976 - 2010.

	1976	1978	1985	2003	2007	2010
Ulkoseinä U [W/m ² K]	0,4	0,29	0,28	0,25	0,24	0,17
Yläpohja U [W/m ² K]	0,35	0,23	0,22	0,16	0,15	0,09
Alapohja U [W/m ² K]	0,4	0,4	0,36	0,25	0,24	0,16
Ikkuna U [W/m ² K]	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1
Ovi U [W/m ² K]	-	-	-	1,4	1,4	1
Muut energialaskennan lähtötiedot						
Ilmavuotoluku n ₅₀ [1/h]	6	6	6	4	4	2
Lämmön talteenoton hyötysuhde [%]	0	0	0	30	30	45

3 Perustukset ja alapohja

3.1 Perustukset ja alapohjat 1960- ja 1970-lukujen rakennuskannassa

1960- ja 1970-luvun kerrostalojen alimmassa kerroksessa on useimmiten talon huolto- ja varastotilat sekä saunaosasto. Alin kerros voi olla osittain maanpinnan alapuolella, eli siinä on maanvastaisia seiniä. Alimman kerroksen lattia on useimmiten maanvarainen, mutta myös tuulettuja, ryömintätalillisia ratkaisuja on toteutettu. Lattiarakenteet voivat olla joko lämmöneristettyjä tai eristämättömiä. Tuulettetuissa, lämmöneristetyissä alapohjissa lämmöneristys on asennettu yleensä elementtirakenteen alapintaan. Tuulettamattomissa rakenteissa eristys on maata vasten pintabetonilaatan alla. Lattia on joko kauttaaltaan lämmöneristetty tai ainoastaan reuna-alueelta. Maanvarainen lattia voi olla myös ns. kaksoislaattarakenne, jossa lämmöneristys on betonilaattojen välissä.

3.2 Perustusten ja alapohjien tyypilliset ongelmat

Perustusten ja alapohjarakenteiden tyypilliset ongelmat liittyvät kosteuteen. Rakenteiden kastuminen johtuu rakennuksen vierusten puutteellisista pintavesijärjestelyistä, salaojien puuttumisesta tai tukkeutumisesta tai alapohjan alustan virheellisestä täytemateriaalista johtuvasta kapillaarisesta vedennoususta. Perusmuurien ja osittain maanpinnan alapuolella olevien seinien suojauksessa ulkopuoliselta vedeltä on myös puutteita. Pintavedet tulee nykyisten rakentamismääräysten mukaan ohjata pois rakennuksen vierustalta. Piharakentaminen ja pohjarakentamisen puutteet, istutukset tms. ovat voineet muuttaa pihan kuivana pidon ratkaisuja rakennuksen käyttöaikana.

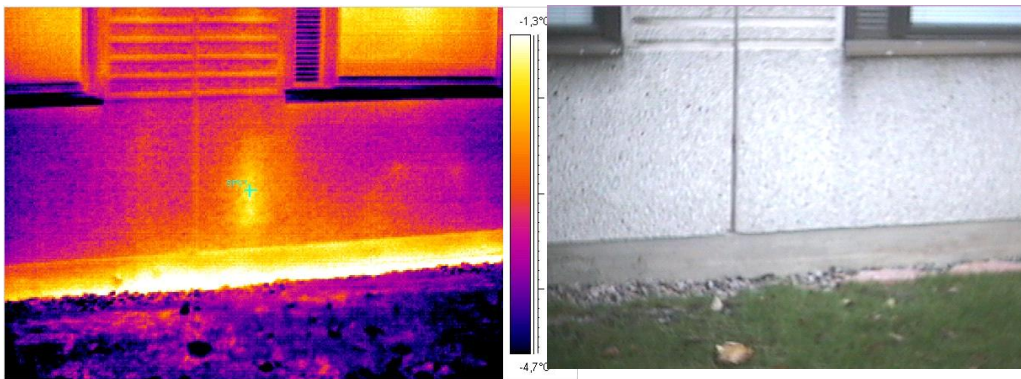
Alimman kerroksen tilat ovat usein säilytystiloja tai varastoja. Myöhemmin tiloissa on voitu tehdä käyttötarkoituksen muutoksia esimerkiksi kokous- tai kerhotiloiksi. Tämä on johtanut ilman lämpötilatason nostoon uutta käyttöä vastaavalle tasolle. Huonetilojen sisäpinnat on saatettu pinnoittaa uuden käyttötarkoituksen mukaisesti. Ongelmiksi on voinut muodostua rakenteiden korkea kosteus, joka on vaurioittanut uusia pinnoitteita. Rakenteiden kosteus voi myös ylläpitää korkeata kosteutta tiloissa. Äärimmäisissä tapauksissa varastotilojen lattioille on voinut nousta vettä puutteellisten sadevesijärjestelyjen tai pohjaveden hetkellisen nousun takia.

3.3 Korjaustarve ja tavoitteet

Korjaukselle asetetut tavoitteet tulisi määrittellä rakenteiden kunnon, havaittujen ongelmien, korjausratkaisujen valintaa helpottavien kuntotutkimusten sekä perustusten ja alapohjien havaittujen lämpövuotojen perusteella. Kuntotutkimuksella selvitetään rakenteiden nykyinen tila ja rakenneratkaisut, joiden perusteella korjaus voidaan suunnitella ja toteuttaa. Tilojen käyttötarkoituksen muutokset vaativat rakennusluvan. Käyttötarkoituksen muutos voi asettaa rakenteille myös aiemmasta poikkeavat lämmön- ja kosteudeneristyksen vaatimukset.

Maapohjan huokoskosteus on yleensä käytännössä lähellä 100 % suhteellista kosteutta. Näin ollen maahan kosketuksissa olevien rakenteiden kosteus pyrkii kosketuskohdassa samaan kosteuteen. Maanvastaisten seinien ja -alapohjan kosteutta sisäpinnoilla voidaan alentaa asentamalla rakenteeseen lämmöneristys ja estämällä pintavesien tai maassa liikkuvan veden pääsy rakenteeseen.

Perustus- ja sokkelirakenteiden lämpötaloudesta saa suuntaa-antavan kuvan lämpökameratutkimuksella, kuva 4. Korjaustarve täsmentyy lämmön- ja kosteuseristyksen sekä hulevesijärjestelyjen ja salaojien toimivuusselvitysten perusteella.



Kuva 4. Sokkelirakenteen puutteellisesta lämmöneristyksestä johtuva kylmäsilta.

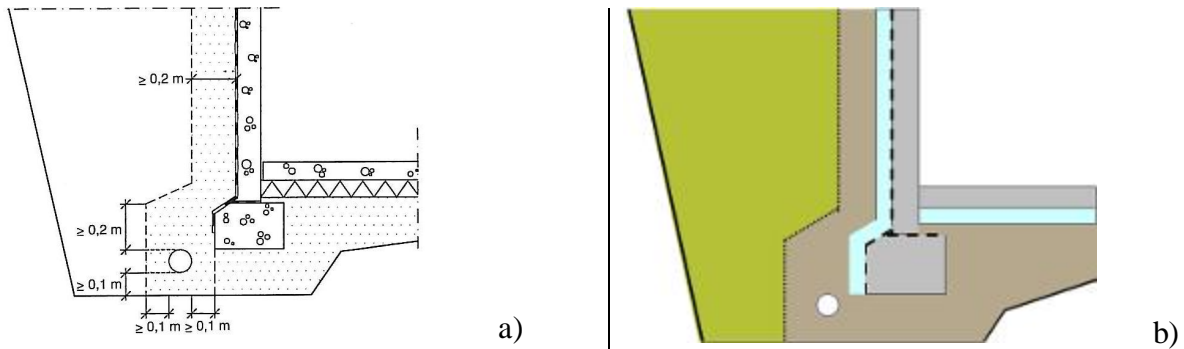
3.4 Korjausratkaisut

Salaojien toimivuus määrittelee usein ulkopuolisten kaivutöiden tarpeellisuuden. Mikäli salaajat ovat huonokuntoisia, tai niiden kallistukset tai korkeusasema ovat virheellisiä, on niiden uusiminen perusteltua, kuvat 5 ja 6. Samassa yhteydessä joudutaan perustuksen ulkopinta kaivamaan esiin, jolloin perustusten korjaustarve kannattaa selvittää ja korjaukset ja lisälämmöneristäminen toteuttaa samalla.

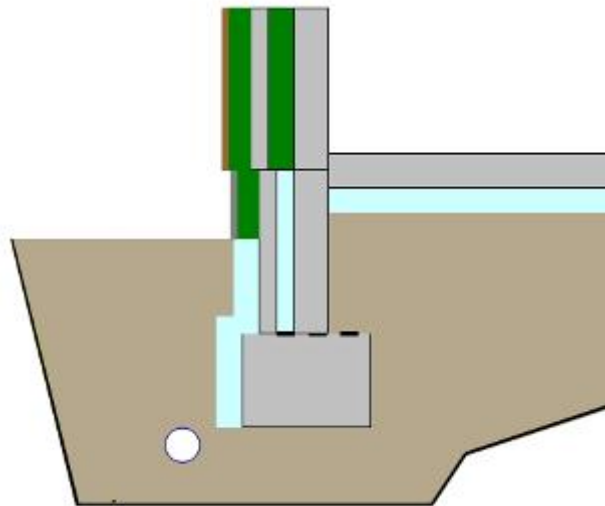
Mikäli kellarikerroksessa on tehty tai tehdään käyttötarkoituksen muutoksia siten, että lämmöneristys on vähäinen tai sitä ei ole lainkaan, voidaan kellarin seinät eristää ulkopuolelta ja suojata ulkopuolisia vesiä vastaan esimerkiksi patolevyllä. Tällöin maanpäällisen perustusrakenteen ulkopinta voidaan eristää ja viimeistellä rappauspintana. Pintavesien johtaminen pois rakennuksen läheisyydestä on syytä tehdä samassa yhteydessä. Kaivantojen täytöt tehdään hyvin vettä läpäisevillä maa-aineksilla. Vesien johtaminen rakennuksesta pois päin tehdään ulospäin kallistetulla huonosti vettä läpäisevällä maakerroksella.

Jos rakennuksen ulkoseinät lisälämmöneristetään, voidaan perustuksen ja maanvastaisten seinien lisäeristäminen liittää ylempien kerrosten lisälämmöneristämiseen siten, ettei rakennuk-

sen ulkonäkö olennaisesti muutu. Tämä edellyttää kuitenkin joko ikkunoiden ja ovien uusimista tai ainakin niiden siirtämistä seinien paksuussuunnassa.



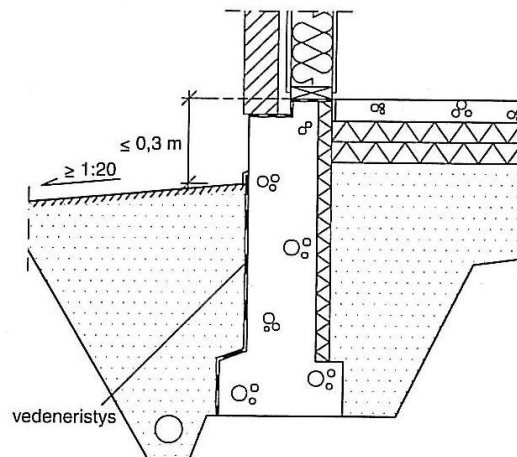
Kuva 5. Salaojituserrokset salaojan ympärillä ja maanvastaisen seinän vedeneristys (a) /4/. Seinä voidaan lisälämmöneristää vedeneristyksen päältä muovieristeillä (b).



Kuva 6. Perustuksen lisälämmöneristäminen. Maata vasten oleviin rakenteisiin suositellaan muovieristeitä. Sokkelirakenne ja ulkoseinä voidaan lämmöneristää rappausaluslevyksi soveltuvalla tuotteella. Sokkelin pintarakenteeksi sopii kolmikerrosrappaus. Ulkoseinän pintarakenne voi alimman kerroksen kohdalla olla kolmikerrosrappaus tai jonkin kuormitusta kestävä pinnoite.

Lämmöneristeiden lisääminen maanvaraisissa alapohjissa on yleensä hankalaa. Mikäli kerroskorkeus on riittävä, voidaan lisäeristys asentaa olemassa olevan lattian päälle. Ratkaisun haittapuoli on kuitenkin se, että väliseinärakenteet, joista ainakin osa on kantavia, tukeutuvat vanhaan lattiapintaan tai siihen liittyvään perustukseen. Jos seinien alaosissa ja lattiassa on ollut kosteusongelmia, ne eivät poistu esitetyllä ratkaisulla. Lisäksi vaihtoehto edellyttää mm. ovien korkeustason muutosta.

Maanvaraisen lattian lisäeristäminen siten, että alakerroksen tilat säilyvät entisen korkuisina edellyttää lattioiden purkamista ja vanhojen eristeiden sekä sen alla olevan maa-aineksen poistamista lisäeristykseen edellyttämältä paksuudelta. Mikäli näin perusteelliseen korjaukseen päädytään, tulee uuden lämmöneristykseen alle jäävän maa-aineksen laatu tarkastaa siten, että kapillaarinen vedennousu siinä on riittävän pieni. Muussa tapauksessa maa-aines tulee vaihtaa vähintään 200 mm:n vahvuudelta kapillaarikatkolta vaadittavaan maa-ainekseen. Myös perustusten sivujen lämmöneristäminen voi joissakin tapauksissa olla tarpeellista kosteusriskien minimoimiseksi, kuva 7.



Kuva 7. Sokkelin ulkopinnan vedeneristys /4/

Ryömintätilalliset alapohjat voidaan ainakin periaatteessa lisälämmöneristää alapuolelta. Lisälämmöneristys kiinnitetään yläpuoliseen kiinteään rakenteeseen kiinnikkeillä vanhan lämmöneristeen läpi. Ryömintätilan olosuhteisiin on tarpeellista kiinnittää huomiota. Ryömintätilan ilman kosteuteen voidaan vaikuttaa joko tuuletusjärjestelyjen korjaamisella tai vähentämällä veden haihtumista maapohjasta tilaan esimerkiksi maapohjan lämmöneristyksellä tai kosteussululla. Myös karkean, vähintään 200 mm paksun sepelikerroksen levittäminen maapinnalle vähentää kosteuden haihtumista olennaisesti.

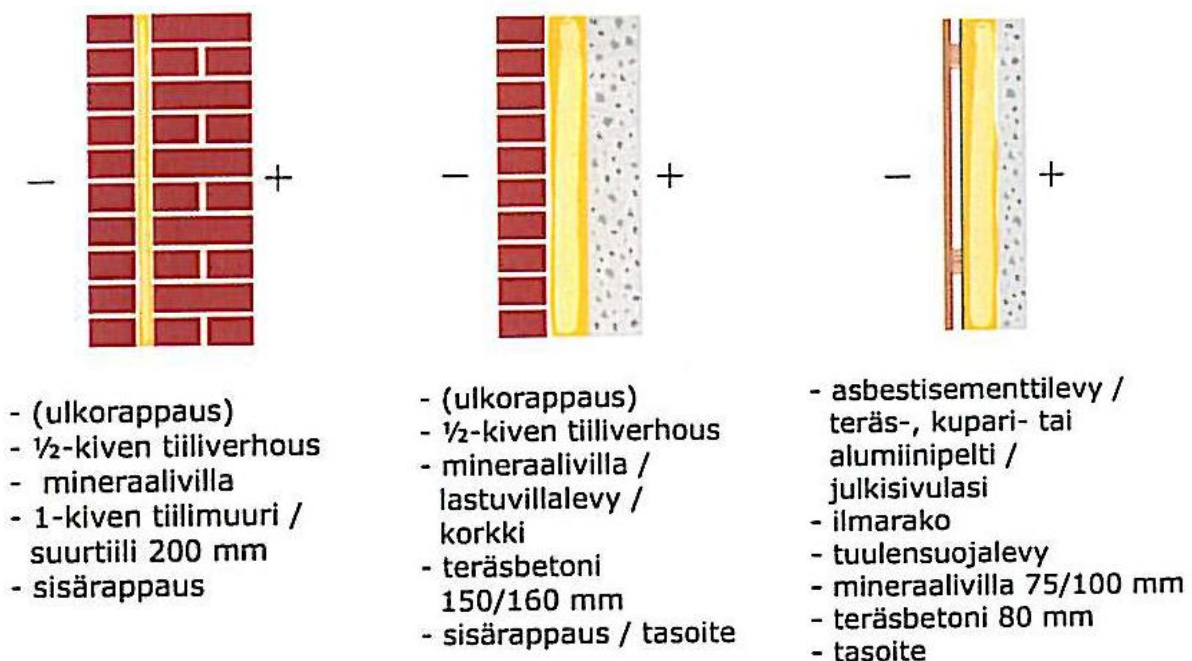
Alapohjakorjaukset ovat hyvin kohdekohtaisia. Joissakin tapauksissa alapohjiin on jouduttu jopa tekemään vedenkeräilykaivoja maapohjan märkyyn johdosta. Kaivoista vesi pumpataan pohjavesipumpuilla sadevesiviemäriin.

4 Ulkoseinien korjaus ja lisälämmöneristäminen

4.1 Ulkoseinärakenteet rakennuskannassa

4.1.1 1950-luvun kerrostalojen tyypilliset ulkoseinärakenteet

Vuosisadan alkupuolen kerrostalojen ulkoseinärakenteet ovat yleisesti massiivisia tiilirakenteita, kuva 8. Rakenteiden paksuudet ovat enimmillään lähes metrin paksuiset, mutta noin 45 - 60 cm:n paksuiset rakenteet ovat varsin yleisiä. Massiivisiin tiilirakenteisiin jätettiin myös onteloita, ensisijaisesti materiaalin käytön säästämiseksi. Ontelot paransivat hieman myös rakenteen lämmöneristävyyttä. Massiiviset tiiliseinät on voitu rapata ulkopinnoiltaan. Rapattu julkisivu on ulkonäkökysymys, mutta se on myös parantanut rakenteen kosteusteknistä toimivuutta estämällä sadeveden tunkeutumista rakenteeseen.



Kuva 8. 1950-luvun tyypillisiä ulkoseinärakenteita /16/.

1950-luvulla ja 1960-luvun alussa paikalla rakennetuissa kerrostalojen julkisivuja toteutettiin myös jonkin verran yhdistelmärakenteina. Tavanomaisina yhdistelminä olivat mm. kevytbetonin ja tiilirakenteen, tiilirakenteen ja teräsbetonirakenteen ja teräsbetoni- ja kevytbetonirakenteiden yhdistelmät. Rakenteissa kevytbetoni toimi osaltaan lämmöneristeenä, tai rakenteissa voi olla myös erillinen mineraali- tai lastuvillalämmöneristys. Rakenteissa saattoi olla myös erillinen levyrakenteinen, myös rapattu julkisivu.

1940-luvun lopulla ja 1950-luvulla massiivisia tiilirakenteita pyrittiin keventämään rakennusmateriaalien puutteen takia. Sodanjälkeisen jälleenasuttamisen johdosta asuntorakentaminen oli voimakasta. Kerrostalojen ulkoseinärakenteet vaihtuivat massiivisista tiilirakenteista kaksikuorisiin tiilirakenteisiin. Näissäkin ulkoseinäratkaisuissa ulkopinnan rappaus oli yleistä.

Rappauksen merkitys rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden kannalta on massiivisia rakenteita merkittävämpi, koska sadeveden tunkeutuminen ohuehkon ulkokuoren läpi on merkittävämpi riski kuin massiivisissa seinissä. Kaksikuorisissa tiiliulkoseinissä käytettiin kuorien välissä erilaisia lämmöneristeitä, koksikuonasta aina ensimmäisiin mineraalivillaeristeisiin saakka.

4.1.2 1960- ja 1970-lukujen elementtirakentaminen

Elementtirakentaminen korvasi vähitellen asuinkerrostalojen muuratut ulkoseinät 1950 - 1960-lukujen vaihteessa. Suurmuottitekniikan kehittymisen myötä etenkin 1960-luvun alkupuolella runkorakenteet olivat osittain sekarakenteita siten, että osa rakenteista valettiin suurmuottitekniikalla työmaalla. Osa rakenteista tuotiin elementteinä työmaalle. Siirtyminen elementteihin tapahtui ulkoseinärakenteissa muuta runkorakennetta nopeammin, joten 1960-luvulta lähtien suurin osa asuinkerrostalojen ulkoseinärakenteista on elementtirakenteisia.

Elementtijärjestelmiä on lähinnä kahta eri tyyppiä. Ensin käytettiin pääasiassa kuorielementtejä, joissa seinän sisäkuori asennettiin valmiina rakennukseen, ja lämmöneristys ja ulkokuori tehtiin paikalla. Betonisandwich-elementti yleistyi hyvin nopeasti. 1960-luvun loppupuolelta lähtien kerrostalojen ulkoseinärakenteet ovat enimmäkseen sandwich-elementtejä. Tyypillisesti elementtien ulkokuoren paksuus on ollut noin 50 – 80 mm ja sisäkuori käyttökohteesta riippuen 80 mm:stä ylöspäin.

Betonisandwich-elementeistä on kehitetty hyvin monenlaisia versioita. Kehitys on keskittynyt pääasiassa elementin ulkonäköön. Elementtien ulkokuoren ulkopintaa on muotoiltu mm. erilaisiksi urapinnoiksi. Myös erilaisia pintamateriaaleja kuten tiililaattoja ja keraamisia laattoja on käytetty. Pesubetonipinta oli hyvin yleinen etenkin 1970-luvulla. Elementit valmistettiin siten, että ulkopinnaksi muotin pohjalle valettiin halutusta runkoaineesta tehty hidastettu betonikerros, jonka päälle tehtiin normaali sandwich-elementti. Elementin kovettuttua riittävästi, se nostettiin muotista ja ulkopinta, joka ei ollut vielä ehtinyt kovettua, pestiin painepesulla. Näin saatiin ulkopinnan betonin runkoaine seinän ulkopinnaksi.

Betonisandwich-elementtien lämmöneristyspaksuus oli 1960- ja 1970-lukujen taloissa tyypillisesti 100 - 120 mm. Rakenteiden U-arvot vaihtelivat 0,3 ja 0,4 W/m²K välillä, mutta myös tätä heikommin lämmöneritettyjä rakenteita tehtiin. Vuoden 1985 lämmöneristysmääräyksissä ulkoseinän U-arvovaatimus oli 0,28 W/m²K, mikä tarkoitti noin 140 mm:n lämmöneristystä. Nykyisten määräysten vaatimus 0,17 W/m²K tarkoittaa lämmöneristyskerroksen paksuutena 200 - 240 mm.

4.2 Ulkoseinien tyypilliset ongelmat

4.2.1 1950-luvun kerrostalot

Rapatuissa massiivisissa tiiliseinärakenteissa tyypillinen ongelma on ulkopuolisen rappauksen rapautuminen ja irtoaminen paikoin tiilikuoren pinnasta. Massiivisissa rakenteissa ongelma ei yleensä ulotu asuintiloihin asti, vaan rappauksen rapautuminen aiheuttaa viistosateiden aiheuttaman kosteusrasituksen lisääntymistä tiilirakenteissa. Vuosisadan alkupuolen tiilien valmistuksessa laadun hajonta oli suuri ja tiilien pakkasenkestävyydessä oli suuria eroja. Siksi rakenteiden kostuminen saattaa aiheuttaa tiilirakenteessa pakkasvaurioita.

Kaksikuorisissa tiilijulkisivuissa rappauksen irtoaminen ja rapautuminen on samankaltainen ongelma kuin massiivisissäkin. Ulkokuoren pienestä paksuudesta ja eristysratkaisusta johtuen veden tunkeutumisella rakenteeseen saattaa olla vaikutusta myös asuntojen pintoihin, jolloin rakenteiden kostuminen voi olla myös sisäilmaongelma.

Kaksikuorisia tiilestä valmistettuja ulkoseinärakenteita on toteutettu myös rappaamattomina etenkin 1950-luvun lopulla ja 1960-luvulla. Näiden rakenteiden tyypilliset ongelmat ovat tiilisaumojen rapautuminen ja toisaalta ulkokuoren vesitiiviys, kuva 9. Tiilimuuraus ei koskaan ole vedenpitävä, ja sadevesi pääsee tunkeutumaan aina jossain määrin ulkokuoren läpi. Muurauksen laastisaumojen rapautuminen lisää veden tunkeutumista rakenteeseen, ja tämä voi johtaa laajempiin vaurioihin. Vesi saattaa tunkeutua sisätiloihin ikkunoiden yläreunoista tai ikkunarakenteet voivat tuhoutua veden vaikutuksesta. Mikäli tiiliulkoseinässä on rakenteellisia katkoksia kerrosten välillä, voi vesi tunkeutua näistä kohdista sisätiloihin.



Kuva 9. Pakkasvaurion rapauttamaa julkisivupintaa.

Puhtaaksimuurattujen tiilijulkisivujen yhtenä ongelmana on tiilien pakkasenkestävyys. Yleensä julkisivuun tarkoitetut tiilet ovat pakkasenkestäviä, mutta esimerkiksi 1970-luvun puolivälissä oli ajanjakso, jolloin rakennettujen tiilijulkisivujen pakkasvaurioiden määrä lisääntyi merkittävästi.

Yhdistelmärakenteiden tyypilliset ongelmat ovat samankaltaisia kuin massiivisten tai kaksikuoristen tiilirakenteiden ongelmat.

4.2.2 1960- ja 1970-lukujen betonielementtikerrostalot

1960-1970-luvuilla rakennettujen betonisandwich-rakenteisten ulkoseinien ongelmat liittyvät elementtien ulkokuoren kuntoon. Ulkokuorisissa voi olla pakkasvaurioita tai ulkokuoren raudoituksen korroosio-ongelmia. Pakkasvauriot liittyvät rakentamisajanjaksolla käytettyjen betonien koostumukseen. Ulkokuoreen imeytynyt vesi jäättyi ja sulii ulkolämpötilojen vaihteluiden mukaan. Jäätymisen aiheuttama veden tilavuuden muutos rikkoi rakenteen ulkopintaa, kuva 10. Vaurioitumisen osittaisena syynä on se, että pakkaskestävyyteen liittyvistä vaatimuksista ei tiedetty riittävästi.

Ulkokuoren raudoituksen ja ansasterästen korroosio on toinen yleinen ongelma. Korroosio edellyttää riittävää kosteutta ja lämpötilaa. Uudessa rakenteessa betonin alkalisuus suojaa betonin sisään valettuja teräksiä korroosiolta. Ajan myötä kuitenkin ulkoilman hiilidioksidi aiheuttaa betonissa karbonatisoitumista, joka heikentää suojausta. Karbonatisoituminen etenee kuoren ulkopinnalta. Kun karbonatisoituminen saavuttaa terästen tason, teräkset ovat korroosiolle alttiina. Ansasterästen tulisi sijaita riittävän syvällä betonissa, jotta korroosio ei etenisi haitallisesti. Vanhoissa elementtirakenteissa suojasyvytydet saattoivat olla pieniä, jolloin korroosioriskit kasvoivat, kuva 11.

Korroosio on mahdollista jos kosteus ja lämpötila (ns. märkäaika) ovat korroosion etenemisen kannalta sopivia, eli lämpötila ja suhteellinen kosteus teräksen pinnalla ovat yhtä aikaa yli 0°C ja 80 %.



Kuva 10. Pakkasvaurioita ikkunan liitosrakenteissa.



a)



b)

Kuva 11. Betonielementtien raudoitteiden korroosio johtuu raudoituksen sijainnista liian lähellä betonin pintaa (a). Julkisivun pakkasvauriot voivat kiihtyä julkisivun maalipinnoitteen johdosta (b). Maali estää betonin kuivumisen ja edistää siten vaurioiden syntymistä. Kuvat: Stina Linne & Pekka Huovila

Edellä esitettyjen ongelmien syy on siis kosteus. Poikkeuksia lukuun ottamatta kosteuslähde on sadevesi. Ulkokuorien sateenpitävyys on riittämätön ja/tai elementtien saumat vuotavat sadevettä rakenteisiin. Myös räystäsrakenteiden ja ovi- ja ikkunaliittyimien puutteet voivat

päästää vettä rakenteisiin. Katon ulkopuolisten syöksytorvien vuodot voivat kastella rakenteita paikallisesti siten, että vaurioita syntyy.

4.3 Korjaustarve ja tavoitteet

Korjaustarpeen arvioinnin tulee perustua tosiasioihin. Joissakin tapauksissa voidaan kuntoarviolla todeta akuutti korjaustarve. Mikäli silmämääräisellä tarkastelulla ei korjaustarvetta voida todeta, tulee arvioinnin tueksi tehdä riittävän kattava kuntotutkimus.

4.3.1 1950-luvun kerrostalot

Rapattujen julkisivujen kunnan arviointiin riittää yleensä silmämääräinen tarkastus, mutta joissakin tapauksissa rappauksen alustan mahdollinen vaurioituminen tulee varmistaa kuntotutkimuksella. Tiilijulkisivujen kunnan toteaminen silmämääräisesti saattaa olla vaikeaa, jolloin kuntotutkimuksella tulee selvittää laastisaumojen tila sekä mahdollinen tiilikivien pakkasvaurioituminen. Korjauksen tavoitteena on joko saattaa julkisivu alkuperäistä vastaavaan kuntoon tai jatkaa julkisivun elinkaarta ennen perusteellisen korjauksen toteuttamista. Minimitavoitteena on kuitenkin lisävaurioiden syntymisen estäminen.

4.3.2 1960- ja 1970-lukujen betonielementtikerrostalot

Julkisivujen korjaustarpeen ja ajoituksen perustana tulee olla riittävä rakenteen kunnan arviointi. Julkisivujen kuntotutkimuksella tulee selvittää betonin sekä raudoitusten kunto. Mikäli toisen tai molempien kunto edellyttää laajempaa korjausta, tulee tutkimuksesta selvittää rakenteen tila, jotta pystytään arvioimaan aika, jona rakenteen kunto huonontuu vaaralliseksi. Näiden tietojen avulla voidaan hankesuunnittelussa ajoittaa korjaukset oikein, ja korjauksen suunnittelu voidaan toteuttaa kuntoa vastaavalla laajuudella. Näin menetellen rakenne voidaan hyödyntää joko sen teknisen elinkaaren loppuun tai korjata esimerkiksi energiakorjausten yhteydessä ennakoivana ylläpitokorjauksena tai välttämättömien ylläpitokorjausten yhteydessä.

Kuntokartoitus ja -tutkimus voivat antaa tuloksena tiedon siitä, että raudoitusten ja etenkin ulkokuoren kunto edellyttää korjauksia. Tuloksista tulisi selvittää arvioitu aikajänne, jona aikana ulkokuoren kunto huononee purkukuntoon. Tällöin kiinteistön omistaja joutuu tekemään periaatepäätöksen siitä, tehdäänkö kohteessa lisälämmöneristystyyppinen korjaus vai käytetäänkö julkisivut teknisen elinkaaren loppuun, jolloin julkisivun purkamiseen perustuva korjaus on toimenpiteenä raskaampi.

Julkisivujen kuntokartoitukseen ja -tutkimukseen tulee sisällyttää myös ulkovaipan ikkunoiden ja ovien kunnan selvittäminen, koska näihin kohdistettavat toimenpiteet saattavat vaikuttaa korjatun kohteen ulkonäköön, korjaustoimenpiteiden toteuttamiseen sekä koko korjaustyömaan työjärjestyksiin ja aikatauluihin. Kiinteistön pitkän aikavalin suunnitelman (PTS) tulee ohjata kiinteistön tarpeellisten korjaustoimenpiteiden järkevää ajoitusta ja järjestystä.

Tavoitteet, joihin korjauksella pyritään, vaikuttavat korjaustavan valintaan. Asuinkerrostaloissa ulkoseinät ovat vallitseva osa rakennuksen vaippaa, joten vaipan lämpöhäviöillä on huomattava merkitys rakennuksen lämmitysenergian kulutukseen. Julkisivuremontti on aina merkittävä taloudellinen panostus, jossa lämmöneristyksen parantamisen lisäkustannukset ovat yleensä marginaaliset. Kustannustarkasteluihin vaikuttaa se, millaisia ratkaisuja verrataan toisiinsa. Lämmöneristysten parantamisella vaikutetaan kuitenkin rakennuksen käyttökustannuksiin kymmenien seuraavien vuosien aikana.

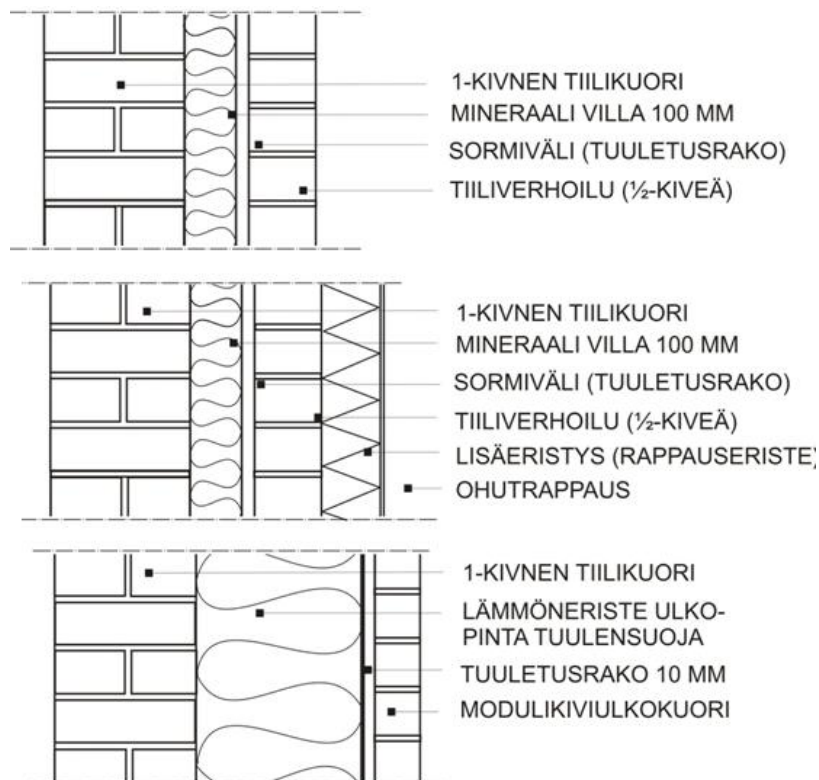
4.4 Korjausratkaisut

Korjausratkaisuja on pääasiassa kolme päätyyppiä. Julkisivu voidaan entistää korjaamalla julkisivun ulkopinnoite, julkisivun nykyisen rakenteen ulkopinnalle voidaan asentaa lisälämmöneristys ja uusi julkisivu, tai seinärakenteen ulkokuori ja vanha lämmöneristys voidaan purkaa ja rakentaa uusi lämmöneristys ja julkisivu. Betonielementtirakenteilla kaksi ensin mainittua menetelmää edellyttää, että rakenteen ulkokuori on raudoituksineen niin hyvässä kunnossa, että se voidaan säilyttää.

Raportissa käsitellään ulkoseinärakenteen lämmöneristävyden parantamista, joten rakenteen entistäminen jätetään tarkastelun ulkopuolelle.

4.4.1 Tiilijulkisivun lisälämmöneristäminen

Massiivitiiliseinät voidaan korjata joko entistämisvaihtoehtoa käyttäen tai niihin voidaan asentaa lisälämmöneriste ja uusi julkisivupinta, kuva 12. Viimeiseksi mainitussa tapauksessa voidaan rakennuksen ulkonäköä muuttaa haluttaessa. Kaksikuorisissa julkisivurakenteissa kaikki kolme korjausvaihtoehtoa ovat mahdollisia. Yhdistelmärakenteissa korjausvaihtoehdot rajautuvat sen mukaan, onko rakenteessa erillinen julkisivurakenne vai ei. Massiiviratkaisuissa vain entistäminen ja lisälämmöneristysratkaisut ovat mahdollisia. Rakenteissa, joissa on erillinen julkisivurakenne, korjausvaihtoehtona on myös koko julkisivurakenteen uudelleen rakentaminen. Tässä yhteydessä rakenne voidaan lisälämmöneristää.



Kuva 12. Tiilijulkisivun lisälämmöneristämisen vaihtoehdot. Julkisivun purkamisen (alin kuva) yhteydessä sisemmän tiilikuoren pinta pitää tasoittaa (laastipurseet) ennen lisälämmöneristysrakenteiden rakentamista.

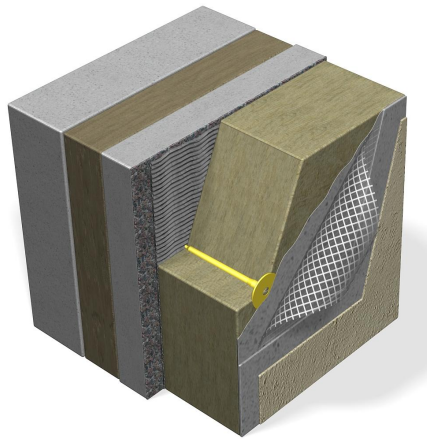
Lisäeristykseen kiinnittäminen vanhan julkisivun päälle edellyttää julkisivun riittävän hyvää kuntoa. Massiivisissa tiilirakenteissa kiinnityssyvyys voidaan valita kunnan perusteella,

mutta kaksikuorirakenteessa ulkokuorelta vaaditaan riittävää lujuutta. Rajatapauksissa voidaan lisälämmöneristys ja uusi julkisivu asentaa apurunkoja käyttäen, jolloin apurunko voidaan kiinnittää vanhan julkisivun läpi sisäkuoreen, jolloin runkorakenne tukee vanhaa ulkokuorta. Menetelmävalinta riippuu aina kohteen todellisesta kunnosta. Mikäli uusi julkisivu kiinnitetään vanhaan rakenteeseen kannakkeilla, kiinnikkeillä tai erillisellä rungolla, voidaan rakennuksen ilmettä muuttaa julkisivumateriaalivalinnoilla. Kannakkeilla, kiinnikkeillä tai erillisellä runkorakenteella tehdyissä korjausratkaisuissa julkisivun taakse jätetään yleensä tuuletusrako rakenteen kosteusteknisen toimivuuden parantamiseksi.

4.4.2 Betonijulkisivun lisälämmöneristäminen vanhan rakenteen päälle

Betonisandwich-julkisivuissa menetelmän käytön yleisenä perusedellytyksenä on se, että sekä ulkokuori että raudoitukset ovat riittävän hyväkuntoiset lisäeristeiden ja uuden ulkopinnan kiinnittämisen ja pitkäaikaiskestävyyden kannalta. Uusi lämmöneristys- ja julkisivurakenne voidaan ankkuroida myös elementin sisäkuoreen.

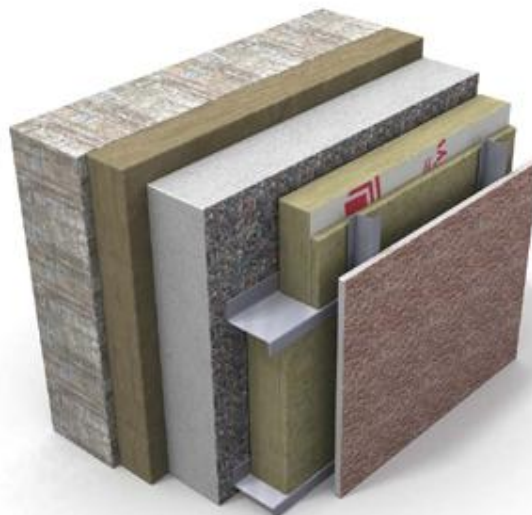
Lisälämmöneristäminen voidaan tehdä ainakin kahdella eri periaatteella. Lisälämmöneristys voidaan kiinnittää nykyisen rakenteen ulkopintaan ja julkisivu asentaa rapattuna julkisivuna suoraan jäykän lämmöneristykseen pintaan, kuvat 13 ja 14. Nykyisen rakenteen ulkopinnalle voidaan myös asentaa runkorakenne ja lämmöneristys, kuva 15. Julkisivu kiinnitetään runkorakenteeseen, jolloin julkisivun taakse jätetään yleensä tuuletusväli. Tuuletusvälillä varustettujen rakenteiden ilmaa läpäisevillä lämmöneristeillä toteutettu lämmöneristys tulee pääsääntöisesti suojata eristyskerroksen pintaan asennettavalla tuulensululla.



Kuva 13. Lisäeristetty ja rapattu julkisivu /5/.



Kuva 14. Rappauspinnan liittymät julkisivun eri yksityiskohdissa on suunniteltava ja toteutettava huolellisesti



Kuva 15. Lisäeristys verhoulevypinnalla. Ratkaisussa voidaan käyttää rakennuslevyjä, jotka toimivat myös rappausalustana /5/.

Ulkopuolisessa lisäeristämisessä ulkokuoren kiinnitys rakenteeseen varmistetaan pulttaamalla ulkokuori kiinni sisäkuoreen tai kiinnittämällä lisärunkorakenne ulkokuoren läpi sisäkuoreen. Tuulettamattomassa lisäeristysratkaisussa ulkokuoren ulkopintaan kiinnitetään lämmöneristelevyt kiinnikkeillä. Yleisimmin pintaverhoukseksi tehdään joko ohutrappaus tai joissakin tapauksissa kolmikerrosrappaus. Menetelmässä tulee lisälämmöneristys saada tiiviisti kiinni ulkokuoren ulkopintaan. Runkorakenteellisessa lisäeristysratkaisussa voidaan lämmöneristeinä käyttää kevyitä, huonosti mekaanisia rasituksia kestäviä eristeitä.

Hyvin tuuletetun rakenteen ilmaa läpäisevä lämmöneristyskerros tulee suojata rakentamismääräysten vaatimukset (palo-ominaisuudet ja ilmanläpäisevyys) täyttävällä tuulensulkutuotteella. Julkisivumateriaaliin valinnassa on otettava huomioon kaavamääräykset, mutta melkein mikä tahansa julkisivumateriaali ohutlevyjulkisivusta tiiliverhoukseen on teknisesti toimiva ratkaisu. Julkisivun sateenpitävyys on varmistettava julkisivun erilaisten detalji- ja läpivientirakenteiden osalta.

Lisälämmöneristysmenetelmissä ei yleensä eristetä esimerkiksi ikkunoiden ja ulko-ovien ja elementtirakenteen liitoskohtaa, sillä betonisandwich-elementin ulkokuoren reunassa ei yleensä ole tilaa lisälämmöneristykselle. Elementin reuna-alueen eristäminen edellyttää ulko-

kuoren leikkaamista, mikä ei ole mahdollista rakenteen teknisen toimivuuden johdosta. Ratkaisun kehittämisessä tuli löytää reunaeristykselle toimivia vaihtoehtoja. Lisälämmöneristeet ovat yleensä mineraalivillaa, polystyreeniä tai polyuretaania. Paikoissa, joissa tilaa perinteisille eristysmateriaaleille ei ole, voidaan käyttää lämmöneristävydeltään tavanomaisia materiaaleja selvästi tehokkaampia vakuuieristyskiviä (VIP eli vacuum insulated panel). Vakuuieristeiden hinta on yhä huomattavan korkea tavanomaisiin nähden, mutta niiden käyttöä detaljiratkaisuissa voi perustella eristyksen ohuudella ja helpommalla asennustyöllä.

Julkisivujen lisäeristäminen kasvattaa rakennetta ulospäin. Mikäli ikkunoita ei uusita samassa yhteydessä, ikkunoiden syvyysaseman muutos ulkopintaan nähden voi muuttaa rakennuksen ulkonäköä ja ilmettä merkittävästi. Ikkunoiden syvyysaseman muuttaminen on kohtuullisen suuri työvaihe, joten ikkunoihin liittyvät korjaus- tai uusimistoimenpiteet tulisi suunnitella yhdessä lisäeristystoimenpiteiden kanssa.

Ikkunan sijainnilla seinän syvyys suunnassa on lämpöteknistä merkitystä. Ikkuna tulisi asentaa seinään keskeisesti tai siten, että se on lämmöneristykseen tasossa. Mikäli ikkuna on seinärakenteen ulko- tai sisäpinnassa siten, että lämmöneristystä on niukalti ikkunan kohdalla, liittymä muodostaa merkittävän kylmäsilan, joka jäädyttää liittymäkohtaa.

4.4.3 Betonijulkisivun purkaminen

Menetelmää käytetään kohteissa, joissa ulkokuori tai raudoitukset ovat niin huonossa kunnossa, ettei kohtuullisin korjaustoimenpitein voida varmistua ulkokuoren pysymisestä paikallaan. Samoin, kun lisäeristämällä halutaan pienentää ulkoseinän lämpöhäviötä merkittävästi (esimerkiksi ns. passiivitalokorjaus), tulee lisälämmöneristyksestä ja koko seinästä valitusta materiaalista riippumatta paksu. Teknisesti turvallisempi ratkaisu on silloin vanhan ulkokuoren ja lämmöneristykseen purkaminen (kuva 16).

Menetelmässä rapattu tai puhtaaksimuurattu tiilikuori puretaan kokonaan, ja sisäkuoren pinta tasoitetaan (esimerkiksi muurauspurseet). Mikäli sisäkuorella on merkittäviä koloja tai muita epätasaisuuksia, ne täytetään tai oikaistaan. Pienten epätasaisuuksien korjaaminen onnistuu pehmeillä lämmöneristysmateriaaleilla. Sisäkuoren ulkopintaan kiinnitetään uuden julkisivun edellyttämät kiinnikkeet, ja uusi eristys asennetaan tiiviisti sisäkuorta vasten. Uusi julkisivu rakennetaan tai asennetaan ratkaisun edellyttämällä tavalla. Korjatun rakenteen lämmöneristysominaisuudet ja rakenteen paksuus riippuvat eristyspaksuuden ja lämmöneristysmateriaalin valinnasta. Esitetyn kaltaisessa korjauksessa lisälämmöneristykseen ja julkisivumateriaalin väliin jätetään yleensä tuuletusrako, joka parantaa rakenteen kosteusteknistä toimivuutta.

Betoni-sandwich julkisivuissa ulkokuori poistetaan sahaamalla ulkokuori ansa-raudoituksen levyisiin kaistoihin pystysuunnassa ja irrottamalla kuori kaistoittain. On myös kehitetty laitteita, joilla ulkokuori murskataan hydraulista puristinta käyttäen. Kun ulkokuori ja lämmöneristeet on poistettu (kuva 17), pinta tasoitetaan, tai pintaan kiinnitetään mahdolliset tulevan ulkoverhouksen vaatimat kiinnikkeet tai elementtien kannattimet (kuva 18).

Uusi lämmöneristys ja julkisivu voidaan rakentaa myös rapattuna lämmöneristysrakenteena (kuva 19), puu- tai teräsrakenteena tai elementtirakenteena, johon on mahdollista kiinnittää myös ikkunat. Menetelmän käyttö on perusteltua silloin, kun julkisivun pintamateriaalia tai ulkonäköä halutaan muuttaa. Mikäli ulkoverhouksella ei vaadi erityisiä kiinnikkeitä, asennetaan uusi lämmöneristyskerros sisäkuoren ulkopinnalle kiinnikkeillä. Tässä työvaiheessa yleisin ongelma on lämmöneristykseen saaminen tiiviisti kiinni sisäkuoren ulkopintaan, koska betonisandwich-elementin sisäkuoren ulkopinta ei yleensä ole tasainen. Siksi rankarakenteisiin tai

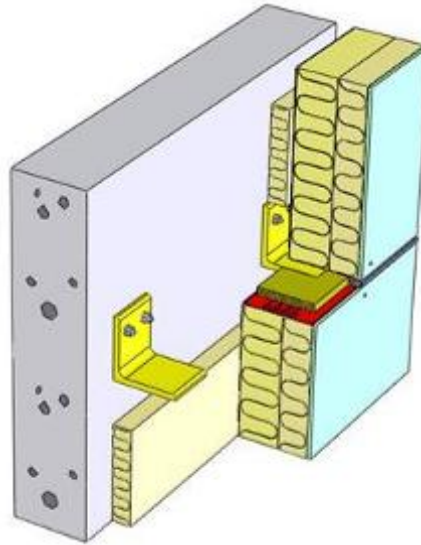
elementteihin perustuvat ratkaisut kiinnitetään korvakkeilla tms. kiinnikkeillä, jotka oikaisevat sisäkuoren epätasaisuudet. Eristysasennusten jälkeen asennetaan ulkopinta, joka voi olla ohutrappaus, kolmikerrosrappaus, tiiliverhous tai melkein mikä tahansa julkisivumateriaali.



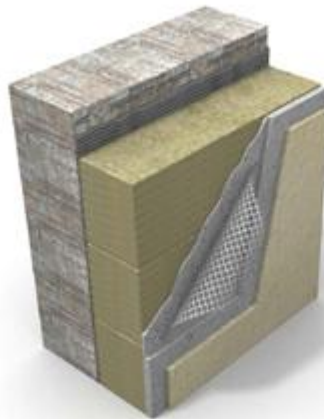
Kuva 16. Julkisivun purkamisen jälkeen poistetaan vanha lämmöneristys



Kuva 17. Alkuperäisen lämmöneristyksen poistamisen jälkeen sisäkuoren pinta voidaan oikaista ja tasoittaa laastilla.



Kuva 18. Betonisandwich-elementin sisäkuoren ulkopinta voi olla epätasainen /6/. Elementteinä asennettava lisäeristysrakente edellyttää vanhan sisäkuoren pinnan tasoittamisen tai rakenteen kiinnittämiseen tarkoitettujen kannattimien asentamisen. Elementin ja betonirakenteen välissä käytetään pehmeitä, alustan epätasaisuudesta riippumatta välin tiiviisti täyttäviä lämmöneristeitä



Kuva 19. Vanhan sisäkuoren päälle asennettu lisäeristysrakente /5/. Julkisivuverhouksena on ohutrappaus, jonka liitosten ja läpivientien detaljiratkaisuissa on erityistä huomiota kiinnitettävä julkisivun sateenpitävyyteen.

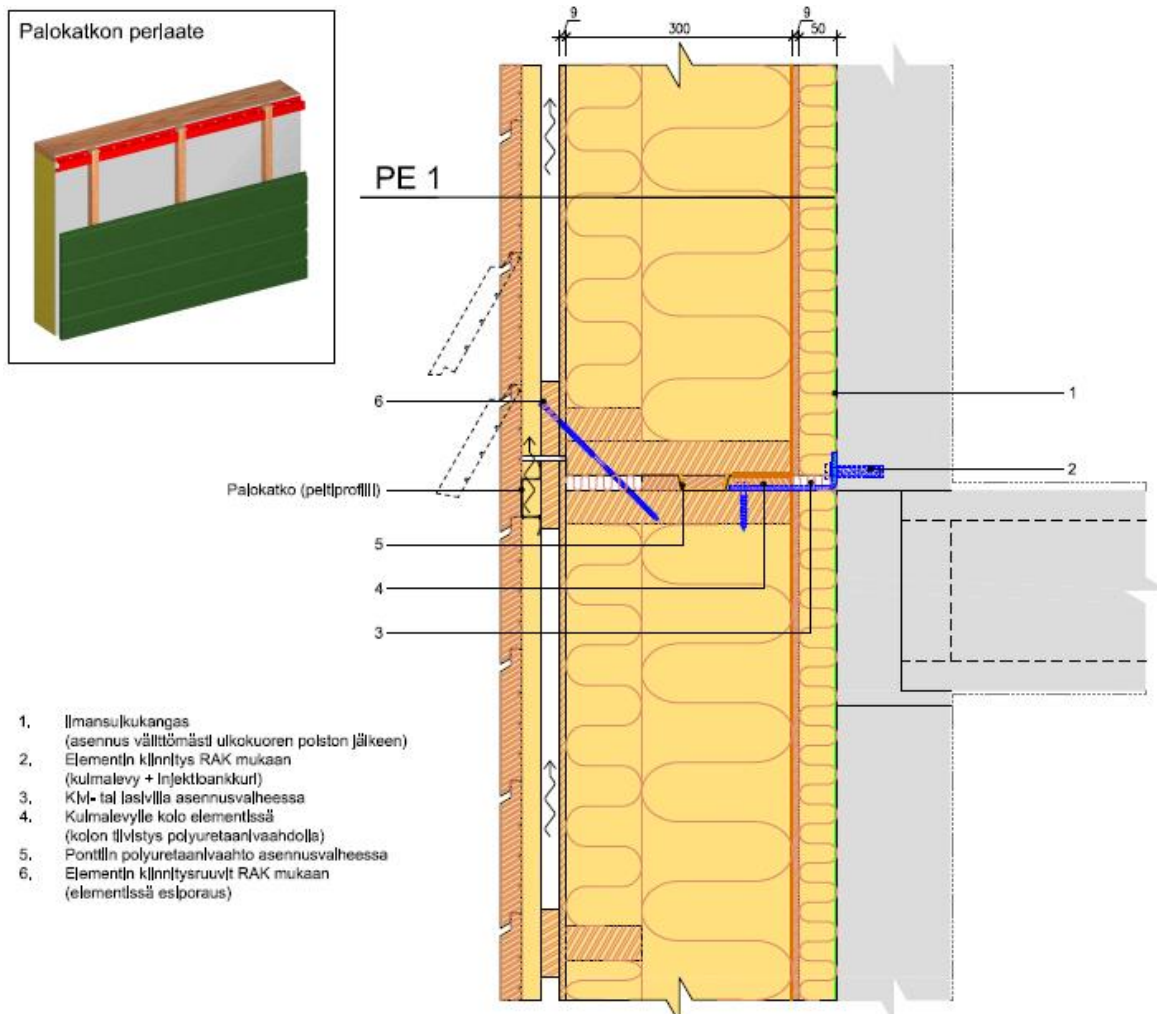
Betonisandwich-elementin sisäkuoren ulkopintaan voidaan kiinnittää runkorakenne, jolloin lämmöneristeinä voidaan käyttää ns. kevyitä eristystuotteita. Runkorakennerratkaisuissa uuden julkisivun taakse jätetään yleensä tuuletusväli. Hyvin tuuletetuissa rakenteissa uusi lämmöneristyskerros on suojattava tuulensululla tai varmistamalla tuuletusväliä vasten olevan pinnan yhtenäisyys. Materiaalien valinnoissa tulee noudattaa materiaalien syttymiseen ja palonlevittämiseen liittyviä rakennusten palomääräyksiä. Tuuletusvälilliset rakennerratkaisut ovat kosteustekniseltä toimivuudeltaan tuulettamattomia rakenteita varmempia, koska tuuletusväli estää mahdollisen julkisivumateriaalin läpi tunkeutuvan sadeveden pääsyn haitallisesti lämmöneristyskerrokseen

On myös kehitetty erilaisia julkisivujärjestelmiä, joissa on sekä työmaalla toteutettavia että esivalmistettuja elementtiratkaisuja. Lämmöneristyskerros voidaan kiinnittää sisäkuoreen

metallikiskoilla, jotka toimivat myös ulkoverhouksen kiinnitysalustana. Elementtjärjestelmissä lämmöneristyskerros on asennettu ulkoverhouselementtiin, kuva 20. Menetelmässä sekä lämmöneristys että julkisivu kiinnitetään sisäkuoreen yhtenä elementtinä. Ikkunat voivat olla valmiiksi asennettuina elementteihin, jolloin uusien ikkunoiden asennustyö tapahtuu pääosin jo elementtitehtaalla.

Elementtirakenteissa elementin sisäpinta ei saa olla vesihöyrytiivis, vaan sisäkuoren ja rakenteen on päästävä kuivumaan rakenteesta ulos.

Julkisivun uusimissuunnitteluun tulee sisällyttää ikkunat. Ikkunoiden tuleva syvyysaseman julkisivun pintaan nähden tulee olla tietoinen ja hyväksyttävä valinta. Samoin ikkunoiden elinkaaren vaihe tulee tiedostaa ja sen perusteella suunnitella julkisivukorjaus kokonaisvaltaisesti. Mikäli ikkunoiden elinkaari on loppumassa, on syytä harkita niiden uusimista julkisivukorjauksen yhteydessä. Yhdistämällä erilaisia korjaustarpeita saavutetaan kustannussäästöjä mm. tarvittavien rakennustelineiden tai nostimien käytön osalta. Lämpötekniseltä kannalta kerrostalon seinien lämpöhäviöt ovat samaa suuruusluokkaa kuin ikkunoiden. Ikkunan sijainnilla seinän syvyysuunnassa on lämpöteknistä merkitystä.


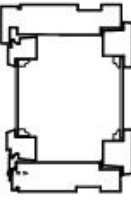
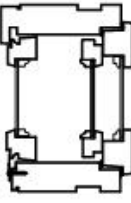
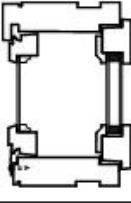


Kuva 20. TES Energy Facade -järjestelmän elementtiratkaisu peruskorjaukseen. Elementtiin voidaan reitittää esimerkiksi ilmanvaihtokanavat ja siten helpottaa ilmanvaihtokanavien asennusta /7/.

5 Ikkunat ja ulko-ovet

5.1 Ikkunat ja ulko-ovet 1960- ja 1970 lukujen rakennuskannassa

1960- ja 1970-lukujen kerrostalojen alkuperäiset ikkunat olivat yleensä kaksipuitteisia ja 1970-luvulta lähtien kolmipuitteisiä sisään aukeavia ikkunoita. Näiden lämmönläpäisykertoimet vaihtelivat 1,8 – 2,8 W/m²K, kuva 21. Ulko-ovet ovat yleensä ikkunallisia metalliovia ja parvekkeiden kaksiovisia, ikkunallisia puuovia, kuva 22. Remontoiduissa rakennuksissa on parvekkeiden ovissa umpiolasielementit ja MSE-ikkunat (sisään aukeavat kaksipuitteiset kolmilasiset ikkunat).

Ikkunan tyyppi	Lasiosa	1,2m * 1,2m ikkunan U-arvo (W/m ² K)	Lasin keskiosan U-arvo (W/m ² K)
	2 * kirkas	2,4 - 2,9	2,7 - 2,8
	2 * kirkas	2,3 - 2,8	2,8 - 2,9
	3 * kirkas	1,65 - 1,80	1,70 - 1,80
	3 * kirkas	1,70 - 1,90	1,80 - 1,95

Kuva 21. Tyypillisiä 1960- ja 1970-lukujen elementtikerrostalojen ikkunarakenteita.

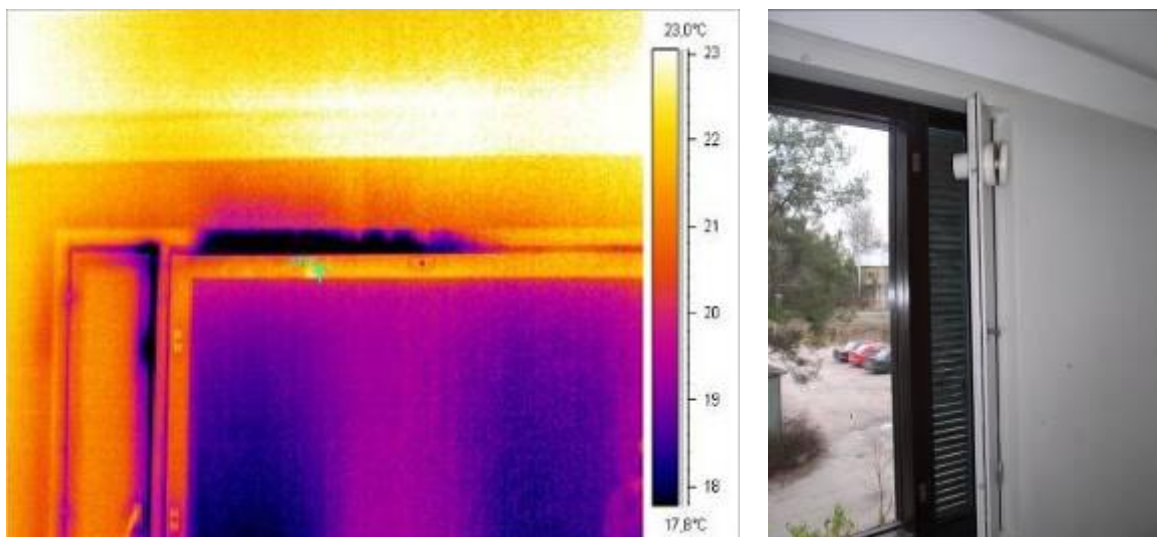


Kuva 22. Puinen parvekeovi ja porrashuoneen metallinen ulko-ovi. (Kuvat Antti Nikkanen 2009)

5.2 Ikkunoiden ja ulko-ovien tyypilliset ongelmat

Vanhimpien talojen ikkunoiden ja ovien pitkään uusimatta olevat tiivisteet ovat yleisesti erittäin huonossa kunnossa. Seurauksena on ilmavuodoista aiheutuva vedon tunne, joka yleensä lisää mukavuuslämmityksen tarvetta kuva 23. Ulko-ovien lämmöneristävyys on ovien rakenteesta johtuen huono, ja niissä on usein myös oven kulumisesta johtuvia tiiviysoongelmia.

Tuuletusikkunoihin on usein liitetty myös painovoimaisen tai koneellisen poistoilmanvaihdon päätelaitteita. Ikkunoiden tiivistevuotojen ja päätelaitteista virtaavan kylmän ilman johdosta päätelaitteet on usein suljettu paremman lämpöviihtyvyyden saavuttamiseksi. Tämä puolestaan on johtanut huoneilman laadun heikkenemiseen, jota usein parannetaan ikkunatuuletuksella.



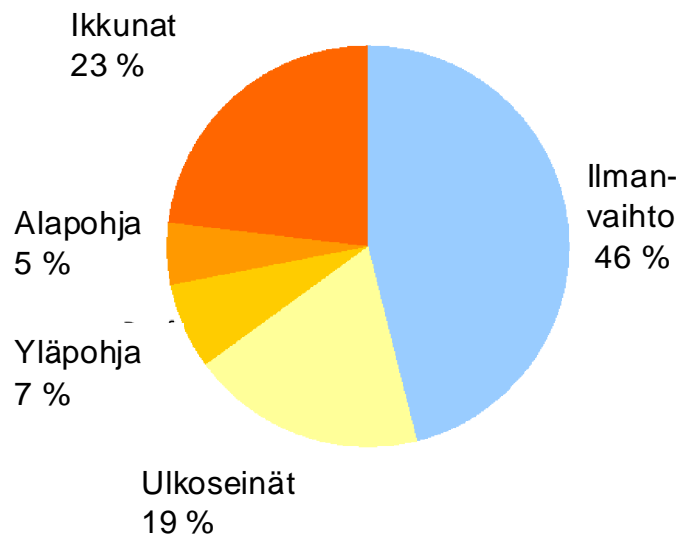
Kuva 23. Ikkunatiivisteiden ilmavuotoja ja tuuletusikkunaan asennettu ilmanvaihdon päätelaitte.

Puuikkunat vaativat säännöllistä huoltoa ja uudelleenmaalausta. Huollon puute on aiheuttanut ikkunoiden ja ovien uloimpien puuosien ja niiden liitosrakenteiden lahovaurioita. Ulkoseinien sadevesivuodot liittyvät usein juuri ikkunoiden ja ovien liitosrakenteisiin. Ikkuna- ja ovipelitusten kaltevuudet ja peltitaitosten tiiviys ovat osasyitä vesivuotoihin. Tämän takia on syytä

kiinnittää erityistä huomiota ikkuna- ja ovipellityksiin siten, että pellitysten kaltevuudet ovat riittäviä ja, että lämmöneristysrakenteen kohdalla olevien peltitaitosten nurkat ovat vesitiiviitä. Pellityksen tulee ulottua julkisivun yli 30 mm ja pellityksen reunassa tulee olla tippanokka.

5.3 Korjaustarve ja tavoitteet

Ikkuna ja oviaasennuksella on suuri merkitys rakennuksen lämmitysenergian kulutukseen (kuva 24). Asennuksessa tulee pyrkiä mahdollisimman hyvään ilmatiivyyteen sekä sisäkuoren että tuulensuojan tai ulkoverhouksen osalta. Ilmatiivyydessä tulee ottaa huomioon mahdolliset vaikutukset ilmanvaihdon toimivuuteen.



Kuva 24. Esimerkkikerrostalon lämpöhäviöt. Ikkunat voivat olla ilmanvaihdon jälkeen toiseksi suurin lämmön hukkaaaja.

5.4 Korjausratkaisut

Ikkunoiden ja ovien vaihto uusiin sisältyy usein julkisivuremontteihin. Julkisivun lisäeristäminen kasvattaa ulkoseinän paksuutta, joten arkkitehtonisista syistä ikkunan syvyysasemaa voi olla aiheellista muuttaa. Ikkunavalinnoissa on nykyisin paljon vaihtoehtoja. Aiempaa leveämpiä karmirakenteita on saatavilla, jotka soveltuvat paremmin paksummille seinärakenteisiin. Lasivaihtoehtoja on useita ja valinnassa lämpöteknisten ominaisuuksien lisäksi voidaan vaikuttaa ikkunan auringon säteilynläpäisevyyteen. Viimeiseksi mainittu ominaisuus on merkityksellinen varsinkin, jos huoneistossa on suuria ikkunapinta-aloja. Auringon säteilynläpäisevyyttä rajoittamalla voidaan vaikuttaa huoneiston yllämpötiloihin kesäaikana.

Ulkoseinien lisäeristäminen voi perustua esivalmistettuihin elementteihin. Näissä rakenteissa ikkunat ja ulko-ovet voidaan asentaa elementteihin jo tehtaalla, kuva 25.



Kuva 25. Lisälämmöneristäminen betonielementin sisäkuoren pintaan puurakenteisella TES-elementillä /7/. Lisäeristysrakenteeseen voidaan reitittää myös uusittavat talotekniset asennukset.

6 Parvekkeiden korjaus

6.1 Parvekkeet 1960- ja 1970-luvun rakennuskannassa

Parvekkeet yleistyivät jo 1900-luvun alussa kerrostalorakentamisessa. Parvekkeet olivat ennen 1960-lukua yleensä pienehköjä tuuletusparvekkeita, mutta 1960-luvulta lähtien parvekkeet kasvoivat elementtirakentamisen yleistymisen myötä huoneistoiden levyisiksi. Samalla käyttö oleskelutilana yleistyi. Perinteisen tuuletusparvekkeen käyttöä rajoitti kylmä ja tuulinen ilmastomme, ja ne koettiin epäviihtyisiksi. Usein parvekettä käytettiin ylimääräisenä varastona.

1960-luvulla parvekkeet kehittyivät oleskeluun sopiviksi, kun elementtirakentamisen myötä ne muuttuivat joko sisäänvedetyiksi tai niissä oli elementtitekniikasta johtuen suojaavat sivuseinät. 1990-luvulla parvekkeiden lasitukset yleistyivät, joka paransi parvekkeiden käytettävyyttä etenkin kevät- ja syyskausina. Lisäksi parvekkeiden materiaaleihin ryhdyttiin kiinnittämään enemmän huomiota, ja mm. klinkkerilattiat yleistyivät.

6.2 Parvekkeiden tyypilliset ongelmat

Parvekkeet, etenkin lasittamattomat, joutuvat erittäin kovien säärasitusten alaisiksi. Säärasitukset aiheuttavat rakenteisiin ennen pitkää erilaisia vaurioita. Elementtirakentamisen alkutai-paleella käytettyjen betonimateriaalien pakkasenkestävyydessä oli puutteita, mistä seurasi betonirakenteiden rapautumista. Myös valmistustekniikassa oli puutteita, joista yleisimpiä olivat betoniraidoitusten liian ohuet suojakerrokset. Ohuet suojabetonikerrokset karbonati-

soituivat nopeasti, ja raudoitukset olivat alttiina korroosiolle. Ruostuvat raudoitukset laajenivat ruostuessaan, ja tästä aiheutui betonin lohkeilua ja halkeamia.

Elementtirakentamisessa parvekelaattojen tyypillinen paksuus oli 120 - 160 mm. Laattojen reunat raudoitettiin kutistumien hallitsemiseksi. Kutistumishalkeamat sekä laattojen lämpöliikkeet yhdessä mahdollistivat veden tunkeutumisen laattaan ja raudoitukseen ja raudoituksen korroosion. Yleisesti 1960-luvun kerrostalojen parvekelaatoissa ei ollut vedeneristeitä, joten veden tunkeutumista estävää toiminnallista rakennetta ei ollut.

Vedenpoisto parvekelaatoilta pyrittiin järjestämään laatan pinnan kallistuksilla joko laatan ulkoreunan yli tai erillisiin vedenpoistoputkiin. Kallistuksissa oli kuitenkin usein puutteita, joten vettä jäi makaamaan laatan pinnalle, mikä piti rakenteen kosteana. Säärasitukset ovat suurimmat laatan ulkoreunoilla, jolloin betonin rapautuminen ja terästen korroosio etenevät laatan ulkoreunasta lähtien. Parvekerakenteiden ja -kaiteiden rasituksia ovat kosteuden ja lämpötilavaihteluiden lisäksi mm. ilman epäpuhtaudet, kloridit yms.

Betonirakenteisten kaiteiden ongelmat ovat samanlaisia kuin parvekelaatoissa. Korroosio on teräskaiteiden ongelma, mutta useimmiten yhdistettyjen teräs- ja betonirakenteiden ongelmat keskittyvät eri materiaalien liitoksiin. Liitoksen ongelma voi olla esimerkiksi liittyvän rakenteen virheellinen muotoilu, jossa rakenne ohjaa sadevettä liitoskohtaan. Tämä aiheuttaa liitokseen pakkasvaurioita.

6.3 Korjaustarve ja tavoitteet

Korjaustarpeen kartoitus edellyttää useimmiten rakenteiden kuntotutkimusta. Silmämääräisten havaintojen lisäksi betonin mahdollinen pakkasvaurioituminen ja betoniterästen kunto tulee tutkia. Kuntotutkimuksen perusteella voidaan arvioida, onko rakenne ylipäättään korjattavissa järkevillä panostuksilla, vai onko rakenteet uusittava joko kokonaan tai osittain. Tutkimustulosten perusteella voidaan myös arvioida, missä vaiheessa toimenpiteisiin on ryhdyttävä.

Nykyään parvekerakenteiden uusiminen kokonaan tai osittain on yleistymässä. Kokonaan uusiminen mahdollistaa myös rakennuksen ilmeen kohentamisen, kuva 26. Suurissa kiinteistöissä elementtitekniikan hyödyntämisellä voidaan saavuttaa huomattavia säästöjä. Yleensä parvekerakenteiden kunto on kuitenkin sellainen, että korjaaminen tulee uusimista edullisemmaksi. Tavallisesti korjaustoimet kohdistuvat silloin betoniteräksiin sekä betonirakenteiden korjauksiin.



Kuva 26. Vanha ja uusittu, lisäeristetty julkisivu /8/.

6.4 Korjausratkaisut

Betonirakenteiden korjaaminen aloitetaan piikkaamalla mahdolliset ruostuneet betoniteräksiset näkyviin. Myös rapautunut betonirakenne piikataan pois. Kelvollisessa kunnossa olevien rakenteiden pinnoitteet poistetaan esimerkiksi vesihiekkapuhaltamalla, kuva 27. Esiin piikatut betoniteräksiset suojataan tarkoitukseen soveltuvalla suoja-aineella, ja rakenteen piikatut ja rapautuneet kohdat korjataan asianmukaisella laastilla. Laatan yläpinta voi kallistussyistä vaatia oikaisua tarkoitukseen soveltuvalla laastilla.



Kuva 27. parvekelaatan alapinnan hiekkapuhallus.

Rakenteiden pintakäsittelyn onnistumisen edellytyksenä on pinnoitteelle soveltuva pohjakäsittely. Parvekelaattojen yläpintoihin on useita eri pintavaihtoehtoja, joiden tulee nykyisen käsityksen mukaan toimia vedeneristeenä. Pintavaihtoehtojen kirjosta tulisi valita vaihtoehto, joka soveltuu korjattavan laatan kuntoon. Toisin sanoen laatan halkeamien koosta riippuen pinnan kunnostuksessa käytettävät tuotteet voivat olla erilaisia.

Mikäli betonirakenteinen kaide todetaan korjauskelvottomaksi, voidaan kaide poistaa timanttisauhalla. Tällöin laattarakenne korjataan edellä esitellyn periaatteen mukaisesti. Kaidevaihtoehtoina on betonikaiteen lisäksi esimerkiksi metalli- tai metalli/lasi-kaide.

7 Kattojen korjaus ja lisälämmöneristäminen

7.1 Yläpohjarakenteet 1960- ja 1970 lukujen rakennuskannassa

1960-luvulla ja sen jälkeen rakennettujen asuinkerrostalojen katoista valtaosa on loivia kattoja (tasakattoja). Kerrostaloissa yläpohjan kantava rakenne on yleensä vastaavanlainen kuin välipohjissa. Vedeneristeen alusta voi olla joko suoraan kantavan rakenteen päälle asennettu lämmöneristysalusta tai korotuspukkien tms. rakenteen varaan rakennettu tuuletettu ja kantavien rakenteiden välistä lämmöneristetty vesikattorakenne.

Vuoden 1985 lämmöneristysmääräyksissä katon U-arvovaatimus oli $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$, mikä tarkoittaa noin 160 - 200 mm:n eristyskerrosta. Aiemmin vaatimus oli $0,35$ ja $0,47 \text{ W/m}^2\text{K}$ välillä, joten yläpohjaeristeiden paksuus saattoi olla vain 100 mm. Nykyisten määräysten vaatimus $0,15 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ tarkoittaa eristyskerroksen paksuutena 250 - 300 millimetriä.

7.1.1 Tarkasteltavat kattotyypit

Asuinkerrostalojen yleisimmät kattoratkaisut voidaan karkeasti jakaa tuuletettuihin ja tuulettamattomiin kattorakenteisiin. Korjausten periaatteet eri kattotyypeillä poikkeavat merkittävästi toisistaan. Tuuletetuissa katoissa lämmöneristeet ovat useimmiten kevyitä, kuormitusta kestävämpiä lämmöneristeitä kuten kevyitä mineraalivilloja ja 1970-luvun loppupuolelta lähtien myös puhalluseristeitä. Tuulettamattomissa katoissa lämmöneristys on kuormitusta kestävä. Loivissa, tuuletetuissa katoissa tuuletustila on yleensä matala, eikä tuuletustilaa ole tarkoitettu hyötykäyttöön. Jyrkemmissä katoissa ullakkotila on voitu suunnitella käyttötilaksi, jolloin yläpohjan lämmöneristysrakenne on lämmöneristetty kaksoislaatta. Vesikatteen alusta on rakennettu erillisenä rakenteena ullakkotilan päälle ja ratkaisua voidaan pitää vesikaton osalta kylmänä kattorakenteena.

Kuormitusta kestävästä lämmöneristeistä yleisimpiä ovat mineraalivillat, solumuovit (polystyreeni, polyuretaani) tai kevytsorat. Mineraalivillalla ja solumuovieristeillä lämmöneristetyissä, tuulettamattomissa katoissa vedeneristys on yleensä asennettu suoraan lämmöneristykseen päälle. Kevytsoralla lämmöneristetyissä katoissa kevytsoran yläpinta on sidottu laastilla, tai lämmöneristykseen päälle on valettu betonilaatta, jonka päälle on asennettu vedeneristys.

7.1.2 Vesikatteet ja lämmöneristeet

Vesikatteiden osalta tässä tarkastellaan ainoastaan bitumikermien ominaisuuksia, koska levymäisillä ja laattamaisilla vesikatteilla ominaisuuksien muuttuminen liittyy pääosin pinnoitteisiin ja lujuuteen. Kumibitumia ryhdyttiin käyttämään 1970-luvun lopulta alkaen bitumikermikatteissa. 1960- ja 1970-lukujen loivien kattojen vedeneristys on uusittu tähän mennessä vähintään kerran. Siksi yläpohjien korjauksissa keskitytään 1980-luvun katevaihtoehtoihin.

Kermityyppejä on ollut lukuisia. 1980-luvun rakennuksissa kumibitumikermit jaettiin kahteen tyyppiin, SBS-kermeihin ja APP-kermeihin. SBS-katteet ovat yleensä monikerroskatteita, eli vesikate muodostuu useammasta kermikerroksesta. APP-kermikatteita tehtiin sekä monikerroskatteina että yksikerroskatteina. Rantamäen tekemän tutkimuksen mukaan /9/ noin 5...15 vuoden ikäisillä SBS-kermieristeillä ominaisuudet ovat huonontuneet varsin vähän, kun sen sijaan APP-kermikatteilla erityisesti venymä- ja taivutettavuusominaisuudet olivat huonontu-

neet jopa puoleen. APP-kermien lujuuDET ovat SBS-kermejä suuremmat. Ominaisuuksien muuttumisen merkitys riippuu kuitenkin kattorakenteesta.

Yleisesti ottaen tutkitut katot olivat kohtuullisessa kunnossa, mutta APP-yksikerroskermikatteiden heikkouksiksi ja riskitekijäksi todettiin riittämätön vetolujuus ja saumojen vuodot. Tuulettamattomissa katoissa katealustan ominaisuuksilla on suuri merkitys, koska lämpötilavaihtelut ja siten lämpöliikkeet aiheuttavat katteille ja alustoille rasituksia. Katteen lämpötila voi vuoden aikana vaihdella -30...-40 °C:sta jopa 80 °C:een. Lämpöliikkeet aiheuttavat syklisiä rasituksia etenkin kevätaikoina, jolloin yölämpötila voi olla -10 °C ja katteen pintalämpötila päivällä yli 60 °C.

Tuulettamattomien kattojen solumuovilämmöneristeet ovat polystyreenieristeitä (EPS) tai polyuretaania (SPU). Lämmöneristelevyt on liimattu alustaansa bitumilla, ja vesikate on samoin liimattu joko pisteliimauksella tai kauttaaltaan lämmöneristykseen pintaan. Joissakin rakenteissa lämmöneristys on kiinnitetty alustaansa mekaanisin kiinnikkein. Myös mekaanista kiinnitystä katteen alimman kermin läpi on käytetty.

Mineraalivillaeristyksellä on käytetty vastaavia kiinnitystapoja, mutta bitumiliimaukset ovat tiettyinä ajankohtina olleet hyvin yleisiä. Katealustoina on käytetty myös solumuovieristeen ja mineraalivillan yhdistelmää siten, että solumuovin päälle on asennettu ohuehko kova mineraalivillakerros, jolloin katteen kiinnittäminen kauttaaltaan bitumiliimauksella on ollut helppoa.

7.2 Kattojen tyypilliset ongelmat

VTT:n tekemien yläpohjien kosteustutkimusten /10, 11/ perusteella noin 30 % ennen vuotta 1985 rakennetuista loivista katoista on kärsinyt jonkinasteisista kosteusongelmista, kuva 28. Käytännössä kaikkien vanhan rakennuskannan kattojen vedeneristykset on vähintään kerran uusittu. Myös kattojen lämmöneristävyttä parannettiin, mutta korjausten pääasiallinen tavoite oli varmistaa katon toimivuus ja vedeneristeen kestävyys.

Yläpohjarakenteiden korjaustekniikoita ja uusia tuotteita korjausratkaisujen toimivuuden varmistamiseksi kehitettiin erityisesti 1980-luvun lopun ja 1990-luvun alun kehityshankkeissa /12/. Näissä selvityksissä saatuja kokemuksia voidaan hyödyntää yläpohjien lisäeristämässä. Esimerkiksi loivien kattojen tuuletettujen lämmöneristeiden (kuva 29) käyttö lisääntyi voimakkaasti jo 1980-luvun lopulla rakenneperiaatteesta saatujen hyvien kokemusten perusteella. Tätä eristysratkaisua on myöhemmin käytetty juuri yläpohjien lisäeristämisen ratkaisuna.



Kuva 28. Katon puutteellinen kaltevuus, katemateriaalien laatu, liikuntasaumojen toteutus, puutteelliset detaljiratkaisut ja kattoon kohdistuvat rasitukset olivat keskeisiä syitä loivien kattojen suureen kosteusvaurioiden määrään.



Kuva 29. Nykyisin useimmiten loivan katon (kaltevuus $\leq 1 : 20$) eristys toteutetaan urien tuulettavana lämmöneristyksenä.

Lämpötilan vaihtelut ovat aiheuttaneet ongelmia bitumiliimauksella tehdyissä solumuovieristeisissä katoissa. Liimausbitumien lämpötilan tulee olla yli 200 °C, jotta liima olisi käsiteltävää, jolloin taas eristelevyjen sallitut enimmäislämpötilat ylittyvät. Seurauksena on ollut eristeen sulaminen paikoitellen ja liimausten epäonnistuminen näiltä osin.

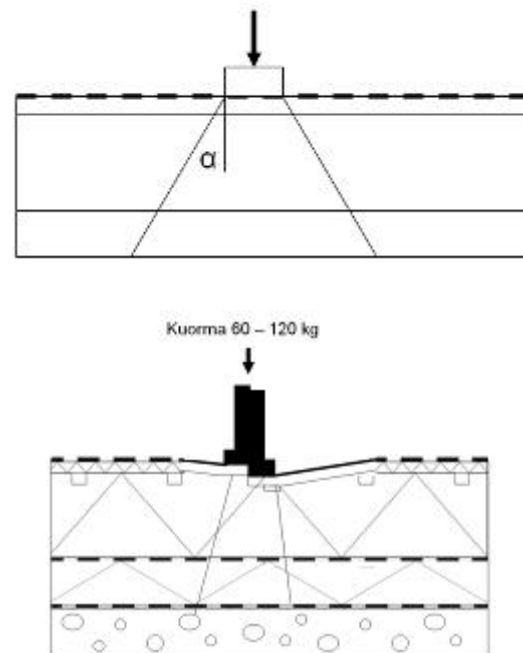
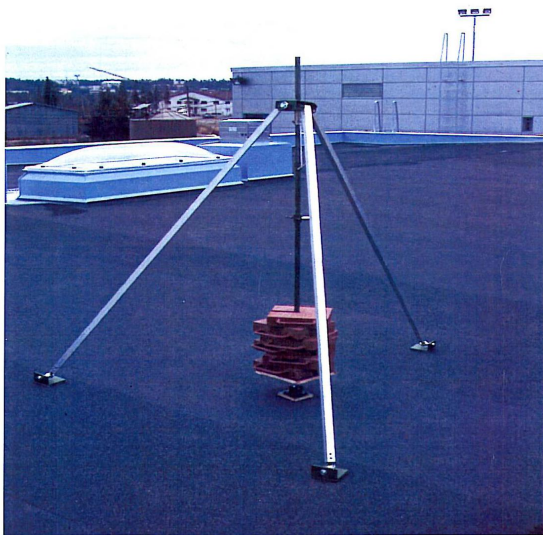
Tuulettamattomissa polystyreenieristeisissä katoissa, joissa kiinnitykset on tehty bitumilla liimaten, on todettu lämmöneristyslevyjen liikkumista. Kun ulkolämpötila laskee, katteen kiinnitysbitumin viskositeetti kohoaa alempaa liimausta suuremmaksi samalla, kun kate kutistuu. Kate vetää eristelevyjä katon keskiosaa kohti alemman liimauksen liukuessa. Kun ulkolämpötila kohoaa kate laajenee ja liimauksen viskositeetti kasvaa. Kate pyrkii löystymään räystäälle päin ja kate nurjahtaa (krympaantuu) lämmöneristyslevyjen saumakohtista, joissa kiinnitys on heikompi ja, joissa lämpötila on lämpövuotojen takia hieman ympäristöä korkeampi.

Seurauksena edellä mainituista toistuvista rasituksista on lämmöneristeen pakeneminen räystäään läheisyydestä ja katteen krympaantuminen lämmöneristeen saumakohtista. Joissakin

vesivuodoista kärsineissä polyuretaanieristeisistä katoista on todettu eristelevyjen jälkipaisumista eristelevyjen saumakohdissa. Jälkipaisumisen saanee aikaan korkea kosteus katon sisällä sekä korkea lämpötila. Seurauksina ovat katteen pullistumat eristelevyjen saumojen kohdilla.

Mineraalivillaeristeisissä tuulettamattomissa katoissa ongelmat on yleisimmin liittyneet vesivuotojen ja katon kulkureittien aiheuttamaan alustan pehmenemiseen. Korkea kosteus ilmeisesti hajottaa mineraalivillan valmistuksessa kuitujen liimaukseen käytettyä hartsia, jolloin kuituja irtoaa toisistaan ja eristys pehmenee. Myös toistuva mekaaninen kuormitus aiheuttaa mineraalivillan pehmenemistä. Toisaalta toistuva mekaaninen kuormitus heikentää myös bitumikermikatteiden vetolujuutta ja venymää.

Askelkuormituksen aiheuttaman muodonmuutoksen kenttämittausmenetelmällä tutkitaan joko alustan ominaisuuksia tai alustan ja katteen toimintaa kokonaisuutena todellisia katolla esiintyviä kuormia vastaavassa tilanteessa, kuva 30. Kenttämittausmenetelmällä saatujen tulosten enimmäisarvojen yleiseksi suositukseksi on esitetty monikerroskatteille 10 % eristepaksuudesta tai enintään 15 mm ja yksikerroskatteille 10 % eristyspaksuudesta tai enintään 10 mm /12/. Mittausajankohdan lämpötilasta Alle riippuen tulokseen lisätään 1 tai 2 mm (alle +5°C tai alle -10°C). Katealustan kokoonpuristumisominaisuuksien merkitys kasvaa, kun tehdään entistä paksampia lämmöneristekerroksia. Vedeneristyksen alustan kunnolla ja lisäeristyksen kokoonpuristumisella on ratkaiseva merkitys katon lisäeristämässä tarvittavien korjaustoimenpiteiden ja valittavien tuotteiden kannalta.



Kuva 30. Kuormituskestävyyden mittauslaite ja kuorman aiheuttama painuminen lämmöneristysalustassa. Lämmöneristyspaksuuden kasvu asettaa vaatimuksia myös lämmöneristysmateriaalin puristuslujuudelle. Vedeneristys vaikuttaa sekä kuormituskestävyyteen että muodonmuutokseen. Muodonmuutos on riippuvainen kuormituksen suuruudesta. Muodonmuutoksen suuruus vaikuttaa kuormitusalueen ympärillä tapahtuvan muodonmuutoksen kokoon.

7.3 Korjaustarve ja tavoitteet

Korjaustarve syntyy usein vedeneristeen eli katteen elinkaaren loppumisesta tai siitä, että rakennuksessa on tarpeellista tehdä korjauksia, jotka edellyttävät huomattavia toimenpiteitä myös katolla.

Kosteus on pääasiallisena syynä tai ainakin osasyynä valtaosassa rakennusten vaurioita. Kattojen osalta kosteuslähteet ovat sadevesi joko katevuotona tai tuulen mukana rakenteeseen päässeenä vetenä ja sisäilman kosteus. Rakentamis- tai remontoituvaiheessa rakenteisiin päässyt vesi on kosteusriski. Mikäli kattorakenteissa tehdään perusteellinen korjaus tai uudistaminen, on korjaustoimen yhteydessä mahdollisuus parantaa rakennetta siten, että sen kosteustekninen toiminta on entistä varmempi.

Suurimmat syyt vesivuotoihin olivat alkuperäisten vedeneristysten laatu ja vanhenemisesta johtuvat vauriot, liian pehmeistä vedeneristysten alustoista johtuvat katevauriot, puutteelliset yläpohjien liikuntasaumarakenteet, puutteet ylösnostoissa sekä erilaisten detaljirakenteiden puutteellinen toteutus.

Vanhan rakennuskannan yläpohjien vedeneristykset on nyt jo vähintään kerran uusittu. 1980- ja 1990-luvulla tehdyissä korjauksissa oli useimmiten tavoitteena katon kosteusteknisen toimivuuden parantaminen. Energiatehokkuuden parantaminen lisälämmöneristämällä ei ollut tyypillistä korjauksille. Kattojen korjauksen ajankohta määräytyi yleensä vaurioista tai toiminnallisista lähtökohdista. Katon korjaaminen on kiinteistön ylläpidon suurimpia korjaustoimenpiteitä ja sen tiedostaminen ja huomioon ottaminen kiinteistön ylläpidon PTS:ssa on keino välttää teknisiä ja taloudellisia yllätyksiä. Vedeneristeen vuodot ovat luotettava merkki vedeneristeen elinkaaren loppumisesta.

Kuntokartoituksilla tai –tutkimuksilla voidaan myös varmistaa lähestyvä korjaustarve. Korjauksen suunnittelun taustana tulee olla tavoite, johon korjauksella pyritään. Tavoiteasetantaan voi vaikuttaa rakennuksen ikä ja arvioitu jäljellä oleva elinkaari. Tavoitteina voi olla rakenteen käyttöiän jatkaminen, rakenteen entistäminen alkuperäiselle tasolle, rakenteen lämpö- ja/tai kosteusteknisen toimivuuden parantaminen tai rakenteen korjaaminen nykyisiä tai tulevia vaatimuksia vastaavaksi. Tavoitteiden asettaminen sekä rakenteen nykyinen kunto sekä rakennuksessa mahdollisesti tehtävät muut korjaustoimet asettavat reunaehdot tehtäville korjaustoimenpiteille. Joissakin tapauksissa korjaussuunnitelma voi olla jopa kattomuodon muuttaminen.

Rakenteen vedenpitävyys ja kosteustekninen toimivuus ovat kattorakenteiden olennaisia vaatimuksia. Lisäksi lämmöneristävyys on ominaisuus, jonka arvo kasvaa lämmitysenergian hinnan nousun myötä. Rakenteen kosteustekniseen toimivuuteen sekä pitkäaikaistoimivuuteen liittyy katon vedenpoiston toimivuus. Vedenpoiston toimivuus vaikuttaa erityisesti kermikatteiden elinkaaren pituuteen.

Tuuletettujen kattojen korjaustarve johtuu usein vesikatteen elinkaaren loppumisesta joko osalta kattoa tai kokonaan. Ohutlevy- ja tiilikatteille vaaditaan nykyisin aluskate, mikäli katealustana on harvalaudoitu. Vastaavissa 1960-luvulla tehdyissä katoissa ei välttämättä käytetty aluskatteita. Ohutlevykatteiden alapintaan tapahtuva vesihöyryn tiivistyminen tai sadeveden tunkeutuminen katteen saumoista aiheuttivat lämmöneristysrakenteiden kostumista.

7.4 Korjausratkaisut

7.4.1 Tuulettut katot

Korjauksella tarkoitetaan vähintään katteen paikkausta, ja esimerkiksi ohutlevykatteen maa-laus katsotaan huoltotoimeksi. Katteen elinkaaren loppuminen osittain tai kokonaan merkitsee korjaustoimenä katteen paikkaamista, osittaista tai kokonaan uusimista. Korjausta suunnitel-taessa tulee aina selvittää katealustan kunto ja mahdollinen korjaustarve. Mikäli alusrakenteet edellyttävät mittavampaa korjausta, on myös matalalla tuuletustilalla varustetuissa katoissa mahdollista laajentaa korjaamista siten, että yläpohjan lämmöneristystä parannetaan korotta-malla katealustan tasoa lämmöneristystilan lisäämiseksi.

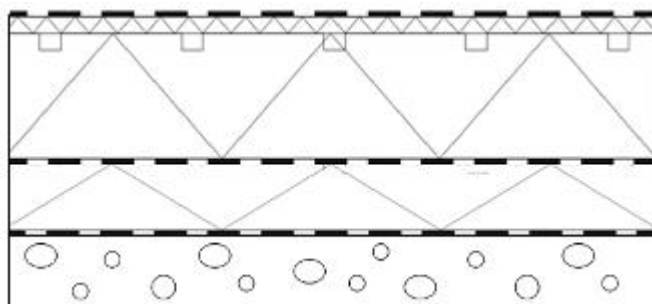
Tuulettettujen kattojen lämmöneristysten parantaminen on yleensä helppo toimenpide, jos tuuletustila on riittävän korkea. Lämmöneristyspaksuutta lisätään vanhan eristeen päälle. Mi-käli katteessa on ollut vesivuoto tai rakenteessa muutoin kosteusongelmia, tulee olemassa olevan lämmöneristeen kunto tarkastaa kosteuden ja mikrobivaurioiden kannalta. Lisäläm-möneristysten asennuksessa on aina huolehdittava tuuletusrakojen toimivuudesta.

7.4.2 Tuulettumattomat katot

Korjausmenetelmän valintaan vaikuttaa korjattavan katon kunto. Mikäli katon lämmöneristys on kastunut, on eristyskerros kuivattava tai eriste vaihdettava. Umpisoluisilla, muovisilla lämmöneristeillä eristettyjen kattojen kuivatus on varsin hankalaa ja usein myös mahdotonta. Sen sijaan ilmaa läpäisevien kuitumaisten eristeiden kuivatus voidaan toteuttaa yleensä on-nistuneesti kaupallisilla kuivatusmenetelmillä.

Katealustalta vaaditaan riittävä puristuslujuus. Mikäli lämmöneristysalusta on tehty liian pehmeällä lämmöneristeellä, tulee eristyskerros vaihtaa. Lämmöneristysalusta on saattanut pehmentyä myös käytön aikana joko lämmöneristyskerrokseen päässeän veden tai katon dy-naamisen kuormituksen johdosta (kulkureitit). Tällöin lämmöneristys on vaihdettava riittävän painumattomaan tuotteeseen.

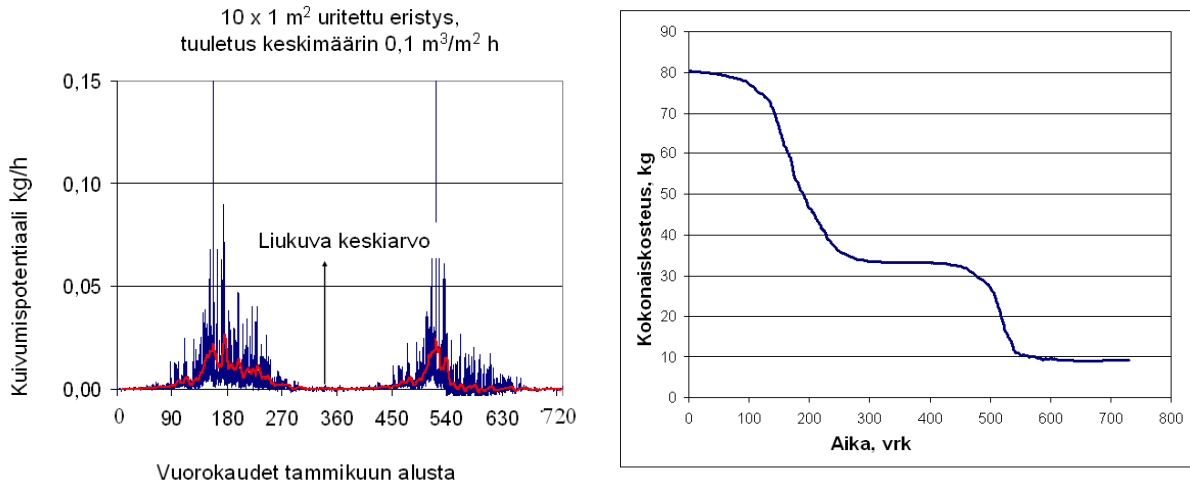
Mikäli olemassa olevan katon kunto edellyttää lämmöneristyskerroksen vaihtamista, tulee katon höyrinsulun kunto tarkastaa ja tarvittaessa korjata. Korjausten yhteydessä voidaan ka-ton kosteusteknistä toimivuutta parantaa tuuletuksen avulla käyttämällä ns. uravillaeristettä. Katon vedenpoiston toimivuutta voidaan parantaa kaltevuutta lisäämällä kallistuseristeiden avulla. Kuvassa 31 on betonialustalle rakennetun katon uritettuun lämmöneristykseen perus-tuva lisälämmöneristysrakenteen. Kuvassa 32 on arvio uravillarakenteen kuivatuspotentiaalista.



Rakenne yläpinnasta:

1. Kate
2. Katteen alusta
3. Urien kautta tuulettu lämmöneristys
4. Vanha kate
5. Vanha lämmöneristys
6. Höyrin- ja ilmansulku
7. Kantava betonirakenne

Kuva 31. Lämmöneristysten urien kautta tuulettuvan lisälämmöneristetyin katon periaate.



Kuva 32. Seurantamittauksiin perustuva laskennallinen arvio uravillarakenteen kuivatuspotentiaalista kahden vuoden ajalta /12/. Ensimmäisen vuoden aikana rakenteen kuivumispotentiaali on 40 – 50 litraa vettä kattorakenteesta 10 m pitkällä tuuletusvälillä.

Jos korjattava katto on teknisesti toimivassa kunnossa, katon entistäminen tehdään yleensä varmistamalla katteen toimivuus asentamalla vanhan katteen päälle uusi kermikate kauttaaltaan liimaten. Rakenteen lämmöneristyksen parantaminen voidaan yleensä tehdä asentamalla lisäeristyskerros vanhan katteen päälle ja tekemällä uusi vesikate. Tässä ratkaisussa voidaan kosteusteknistä toimivuutta varmistaa urien kautta tuuletetun lämmöneristyksen avulla, kuva 33. Samoin vedenpoistoa katteelta voidaan parantaa kallistuseristeillä.



Kuva 33. Uritetun lämmöneristeen avulla tuuletettu loiva katto.

Edellä esitetyt korjausvaihtoehdot ovat pääosin mineraalivilla-alustoja, mutta esitetyt korjausvaihtoehdot on toteutettavissa millä tahansa lämmöneristysmateriaalilla. Kuitenkin etenkin erilaisten lämmöneristeiden yhdistelmillä toteutettavat korjausratkaisut on syytä tarkastella sekä mekaanisen että lämpö- ja kosteusteknisen toimivuuden kannalta erikseen.

Katon lävistävien hormien ja muiden läpivientien rakenteet samoin kuin räystäsrakenteet on suunniteltava ja toteutettava kohdekohtaisesti. Lisäeristysratkaisut aiheuttavat aina muutostöitä myös läpivientirakenteissa. Räystäsratkaisuihin vaikuttaa myös se, tehdäänkö rakennuksessa samanaikaisesti julkisivukorjauksia.

7.4.3 Kattomuodon muuttaminen

Kattomuodon muuttaminen saattaa joissakin tapauksissa olla perusteltua. Tällöin vanhan katon päälle rakennetaan uuden vesikatteen kannatusrakenteet. Yläpohjan lisälämmöneristäminen kattomuodon muutoksissa on yksinkertaista, kun se otetaan huomioon uusia vesikattorakenteita suunniteltaessa. Lisälämmöneristys voidaan asentaa vanhan katon päälle. Tällöin on huolehdittava lisälämmöneristyksen riittävästä tuulensuojauksesta etenkin katon reunakais-toilla. Kattomuodon muuttaminen saattaa edellyttää esimerkiksi rivitaloissa palokatkojen tekemistä yläpohjaan. Palokatkot voivat asettaa haasteita yläpohjan tuuletusjärjestelyille.

Uusien kantavien rakenteiden suunnittelussa on otettava huomioon rakenteiden tukipisteiden riittävä kantokyky. Myös läpivientien jatkaminen uuden vesikaton läpi sekä niihin liittyvät lämmön- ja kosteudeneristysasiat sekä vesikaton läpiviennit on suunniteltava ja toteutettava asianmukaisesti kosteusongelmien välttämiseksi.

8 Julkisivukorjausten kannattavuus

8.1 Elinkaarikustannusten jaottelu

Elinkaarikustannuslaskelmat muodostuvat seuraavista osista:

- Hankintakustannukset (pääomakustannukset, investointikustannukset)
- Purkukustannukset
- Rahoituskustannukset
- Huoltokustannukset
- Kunnossapitokustannukset
- Lämmitysenergiakustannukset
- Sähköenergiakustannukset
- Ympäristökustannukset
- Jäännösarvo

Hankintakustannukset kattavat rakennuttajan kustannukset, rakennuskustannukset ja rakennuksen luovutuksen edellyttämät kustannuserät. Laskelmissa otetaan huomioon tekijät, jotka aiheuttavat eroja eri vaihtoehtojen välille.

Purkukustannukset kattavat rakenteiden sekä laitteiden ja järjestelmien purkamisesta aiheutuvat kokonaiskustannukset.

Rahoituskustannukset aiheutuvat rahoituksen kustannuksista valitulla laskenta-ajalla. Rahoituskustannuksiin sisällytetään myös esim. lyhytaikaiset lainajärjestelyt ja uudelleenjärjestelyt.

Huoltokustannukset aiheutuvat suunnitelluista huoltotöistä. Huoltokustannuksiin vaikuttavat valittu järjestelmä, huollon laatutaso sekä huoltoyhtiön veloitusperiaatteet ja toimintatavat. Toiset järjestelmät vaativat usein tapahtuvaa huoltoa, kun taas toiset järjestelmät toimivat pitkiäkin aikoja ilman erityistä huolenpitoa. Huollon laadulla on merkitystä, sillä hyvä huolto korjaa investoinneissa syntyviä puutteita.

Kunnossapitokustannukset aiheutuvat suunnitelluista tai muutoin välttämättömiksi todetuista kunnossapitotoimista. Niillä pyritään estämään rakennuksen kulumista. Talotekniikan osalta kunnossapitokustannusten arvioimiseen vaikuttavat huomattavasti laitteiden käyttöympäristö ja kunnossapidon taso. Kunnossapitoon luetaan myös kaikki pienimuotoiset ennakoimattomat korjaukset.

Lämmitysenergiakustannukset aiheutuvat tilojen lämmityksestä ja käyttöveden lämmityksestä. Rakennustasoisissa tarkasteluissa määritetään eriteltyt lämmityskustannukset, jotka perustuvat lämmitystapaan ja energiantuottajan arvioituihin tai todennettuihin kulutuksiin.

Sähköenergiakustannukset aiheutuvat kiinteistösähköstä, käyttäjäsähköstä sekä talotekniikan laitteista ja järjestelmistä. Jäähdytysenergiakustannukset sisältyvät yleensä erittelemättöminä sähköenergiakustannuksiin. Tehdyssä elinkaarikustannusvertailussa kuluttajasähköä ei kuitenkaan ole otettu huomioon

Ympäristökustannukset sisältävät mm. mahdolliset korjausrakentamista edeltävät maaperän puhdistuksen ja suojauksen kulut sekä purku- ja kierrätyskulut elinkaaren päättyessä.

Hankinnalla (investoinnilla) voi pitoajan päättyessä olla **jäännösarvo**. Jäännösarvoerot otetaan huomioon vaihtoehtojen vertailussa, jos laskentajakso on lyhyempi kuin käyttöikä, ja vaihtoehtojen välillä on laskennallisia käyttöikäeroja.

Nykyarvomenettelyssä summataan laskentajaksolla eri vuosina tehtävien toimenpiteiden kustannukset nykyhetken joko suoraan nykyisin hinnoin. **Laskentakoroksi** valitaan yleensä ennakoitu yleinen kustannustason nousu. Laskelmassa inflaation taso, energian hinta ja sen nousu, sekä kiinteistön järjestelmien ja laitteiden kestävyys joudutaan ennakoimaan.

Taulukossa 4 on esitetty alueelliset suhteelliset kulutus- ja kustannuserot sekä arvioitu ilmaston lämpenemisen vaikutus astepäivälukuihin.

Taulukko 4. Alueelliset lämmitysenergian kulutus- ja kustannustasot.

	Etelä-Suomi	Keski-Suomi	Pohjois-Suomi
Lämpöenergian kulutustaso	100	110	125
Rakennuskustannustaso	100	90	80

lämpö- ja sähköenergian osalta on perusteltua käyttää toteutumiin ja skenaarioihin perustuvaa 3 - 6 %:n vuotuista nousua. Korjausrakentamisen elinkaarietäällisyyttä tarkastellaan yleensä kokonaisuutena.

8.2 Energiakorjauksen elinkaarietäällisyys

Energiatohokkuuden merkittävä parantaminen edellyttää sekä rakennuksen ulkovaippaan että ilmanvaihtoon liittyviä toimenpiteitä. Painovoimaisella tai koneellisella poistoilmanvaihdolla varustetun rakennuksen ilmanvaihdon peruskorjaus pienentää energiankulutusta ja samalla parantaa sisäilman laatua. Talotekniikan uusiminen on edullisimmin toteutettavissa samanaikaisesti vaipan eristystason ja ulkovaipan ilmanpitävyyden parantamisen yhteydessä.

Energiakorjausten elinkaarietäällisyyden analysointi perustuu eurooppalaiseen menetelmäkehitykseen /13/. Kustannusvaikutusten ja edullisuuden arviointi perustuu konseptikuvauksiin 1, 2 ja 3, jotka on karkeasti esitetty suuntaa antavine kustannusvaikutuksineen taulukoissa 5 - 7. Kustannukset sisältävät kaikki purku-, laite-, materiaali-, asennus- ja uusimiskustannukset. Kustannusvaikutukset on arvioitu seuraavin perustein:

- Kokonaiskorjauskustannukset kattavat kaikki peruskorjauksesta aiheutuvat kustannukset.
- Energiatohokkuuden parantamisesta aiheutuvat kustannukset kattavat energiantarpeen pienentämiseen suoranaisesti vaikuttavat kustannukset. Esimerkiksi uutta julkisivuverhousta ei lasketa kustannuksiin, jos julkisivu on joka tapauksessa uusittava
- Sisäilmaston parantamisesta aiheutuvat kustannukset arvioidaan osuutena ilmanvaihdon uusimiskustannuksista. tarkastelussa on oletettu, että puolet ilmanvaihdon uusimisesta kohdistuu sisäilmaston parantamiseen. Silloin energiatohokkuuden parantamisen kustannuksiin lasketaan puolet ilmanvaihdon uusimiskustannuksista.

Taulukoiden 5 - 7 toimenpideyhdistelmien konsepti 1 perustuu olemassa olevan julkisivun kunnostamiseen ja ilmanvaihdon uusimiseen, joiden yhteisvaikutus pienentää tilojen lämmityksen energiantarvetta 25 %.

Konseptissa 2 ulkoseinä lisälämmöneristetään vanhan julkisivun päälle eristysrappausmenetelmällä. Ikkunat ja ulko-ovet uusitaan ($U = 0,85 \text{ W/m}^2\text{k}$). Samalla ulkovaipan ilmanpitävyyttä parannetaan (ilmavuotoluku $n_{50} < 1,0 \text{ 1/h}$). Ilmanvaihdon uusiminen keskitetyllä ratkaisulla (lämmön talteenoton vuosihyötysuhde 75 %) ja lisälämmöneristäminen pienentävät tilojen lämmityksen energiantarvetta 50 %. Lisäksi kiinteistösähkönkulutusta pienennetään valaistus ja laitevalinnoin.

Konsepti 3 on ns. passiivitalokorjaus, joka pienentää tilojen lämmityksen energiantarvetta 75 %. Konsepti perustuu oletukseen, että vanha julkisivu puretaan sen huonon kunnon takia. Uusi tehdään eristysrappausmenetelmällä. Ikkunoiden ja ulko-ovien lämpötekniset ominaisuudet ovat konseptiin 2 verrattuna paremmat ($U = 0,65 \text{ W/m}^2\text{K}$) Ulkovaipan ilmanpitävyyttä parannetaan (ilmavuotoluku $n_{50} < 0,6 \text{ 1/h}$). Uusi ilmanvaihtoratkaisu on huoneistokohtainen seinäpuhalluksella varustettu (raitisilma ja jäte ilma johdetaan ulkoseinän kautta) ilmanvaihto, jonka lämmön talteenoton vuosihyötysuhde on yli 80 %.

Taulukoissa 8 - 10 on esitetty pelkistetyt, suuntaa-antavat elinkaariedullisuustarkastelut. Energiakorjausten elinkaariedullisuutta tarkastellaan pelkästään energiatehokkuuden parantamisen kustannusten perusteella (taulukko 10) vähentämällä sisäilman laadun parantamisesta aiheutuvat kustannukset energiatehokkuuden parantamisen kustannuksista. Peruslaskelmissa on otettu huomioon ainoastaan vaippa ja talotekniikka.

Lämmitystapa on vertailukelpoisuuden varmistamiseksi vakioitu kaukolämmöksi (energiamaksu 50 euroa/MWh). Lämmitysenergia sisältää tilojen lämmityksestä aiheutuvan lämmitysenergian kulutuksen. Sähköenergia kattaa kiinteistösähkön. Lämpimän veden ja huoneistosähkön käyttötottumukset on näin ollen rajattu pitkäaikaisvaikutuksiin perustuvien teknisten vertailujen ulkopuolelle.

Talukko 5. Korjauskonseptikuvaukset ja kokonaiskorjauskustannukset

	Korjauskonsepti 1	Korjauskonsepti 2	Korjauskonsepti 3
	Ikkunoiden ja ilmanvaihtojärjestelmän uusiminen (tehokas LTO). Tiiveyden parantaminen.	Julkisivun ja yläpohjan lisälämmöneristys, ikkunoiden uusiminen, tiiveyden parantaminen sekä ilmanvaihdon uusiminen	Julkisivun uusiminen, ikkunoiden uusiminen, yläpohjan lisäeristys ja tiiveyden parantaminen sekä ilmanvaihdon uusiminen
Lämmityksen energia	-25 %	-50 %	-75 %
Toimenpiteet	Kustannukset €/huoneisto-m²		
Julkisivun paikkaus	70	-	-
Julkisivun purku	-	-	45
Alustan tasoitus	-	-	70
Lisälämmöneristys	-	15	45
Julkisivurappaus		110	110
Ikkunat, parvekeovet	60	60	70
Ilmanvaihdon uusiminen	200	200	240
Yhteensä	330	385	580

Taulukko 6. Korjauskonseptikuvaukset ja kustannukset, kun otetaan huomioon vain energiatehokkuuden parantamisesta aiheutuvat kustannukset. Ilmanvaihtojärjestelmän kustannukset kuuluvat kokonaisuudessaan energiatehokkuuden parantamisen kustannuksiin.

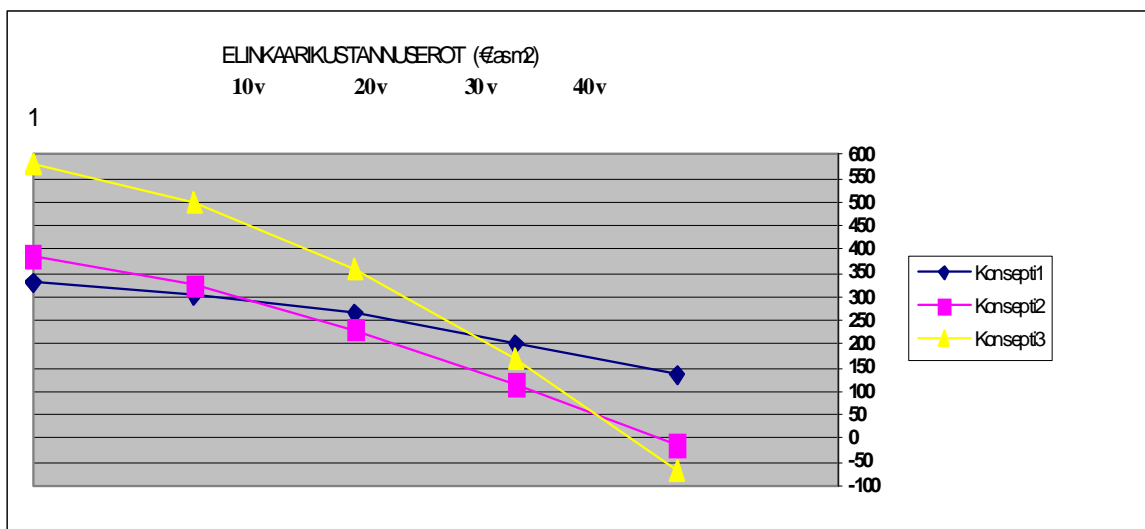
	Korjauskonsepti 1	Korjauskonsepti 2	Korjauskonsepti 3
	Ikkunoiden ja ilmanvaihtojärjestelmän uusiminen (tehokas LTO). Tiiveyden parantaminen.	Julkisivun ja yläpohjan lisälämmöneristys, ikkunoiden uusiminen, tiiveyden parantaminen sekä ilmanvaihdon uusiminen	Julkisivun uusiminen, ikkunoiden uusiminen, yläpohjan lisäeristys ja tiiveyden parantaminen sekä ilmanvaihdon uusiminen
Lämmityksen energia	-25 %	-50 %	-75 %
Toimenpiteet	Kustannukset €/huoneisto-m²		
Julkisivun paikkaus	-	-	-
Julkisivun purku	-	-	-
Alustan tasoitus	-	-	-
Lisälämmöneristys	-	15	45
Julkisivurappaus	-	-	-
Ikkunat, parvekeovet	60	60	70
Ilmanvaihdon uusiminen	200	200	240
Yhteensä	260	275	355

Taulukko 7. Korjauskonseptikuvaukset ja kustannukset, kun otetaan huomioon vain energiatehokkuuden parantamisesta aiheutuvat kustannukset. Ilmanvaihtojärjestelmän kustannuksista oletetaan, että kustannukset jakautuvat puoliksi energiatehokkuuden ja sisäilman laadun parantamiseen.

	Korjauskonsepti 1	Korjauskonsepti 2	Korjauskonsepti 3
	Ikkunoiden ja ilmanvaihtojärjestelmän uusiminen (tehokas LTO). Tiiveyden parantaminen.	Julkisivun ja yläpohjan lisälämmöneristys, ikkunoiden uusiminen, tiiveyden parantaminen sekä ilmanvaihdon uusiminen	Julkisivun uusiminen, ikkunoiden uusiminen, yläpohjan lisäeristys ja tiiveyden parantaminen sekä talotekniikan uusiminen
Lämmityksen energia	-25 %	-50 %	-75 %
Toimenpiteet	Kustannukset €/huoneisto-m²		
Julkisivun paikkaus	-	-	-
Julkisivun purku	-	-	-
Alustan tasoittaminen	-	-	-
Lisälämmöneristys	-	15	45
Julkisivurappaus	-	-	-
Ikkunat, parvekeovet	60	60	70
Ilmanvaihdon uusiminen	100	100	120
Yhteensä	160	175	235

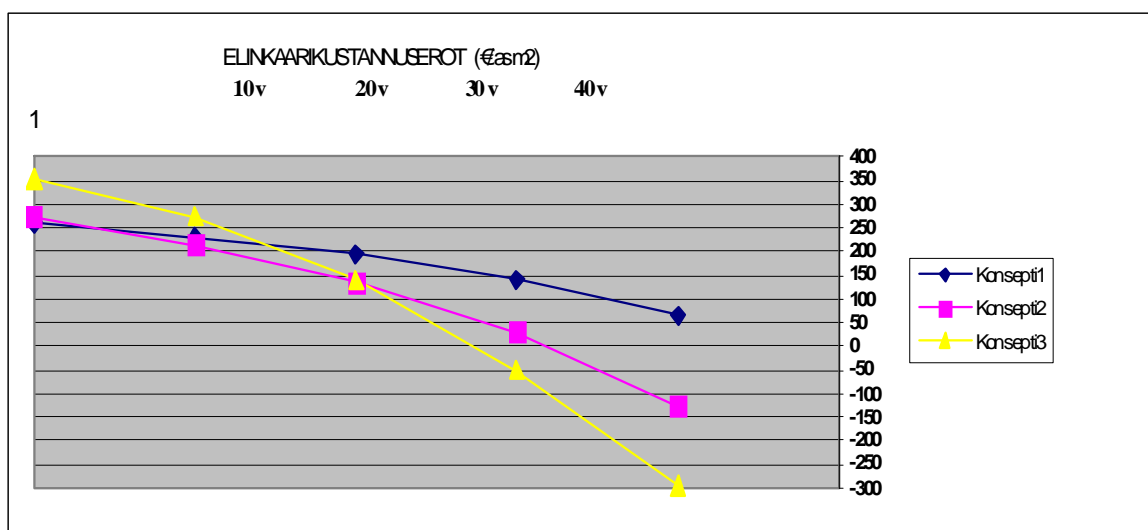
Taulukko 8. Asuinkerrostalon korjauskonsepttien elinkaaritalousvertailuesimerkki (sis. ALV). Vaipan eristystason ja tiiveyden parantaminen sisältää purku- yms. liittyvät lisätyöt suhteessa perusteelliseen korjausrakentamiseen. Sijoitetun pääoman tuottoaste lasketaan saaduista energiakustannushyödyistä sekä oletetusta vuokran 20 % korotuksesta (lähtötaso 10 €/as-m²).

1960 -luvun kerrostalon peruskorjaus				
Kustannustaso: 3/2010				
Lämmitysmuoto: Laskelmassa kaukolämpö				
Lämmitysenergian alkuhinta: 55 €/MWh				
Sähköenergian alkuhinta: 95 €/MWh				
Energiamaksun reaalinousu: 3%/v				
Laskentajakso: 40 vuotta				
EKOTEHOKKUUS	Vertailutaso	Korjaus-konsepti 1	Korjaus-konsepti 2	Korjaus-konsepti 3
Lämpö	kWh/huon-m ² /v 200	150	100	50
Sisäilmaluokka	S3	S2	S2	S2
Energialuokka	F	E	B	A
CO ₂	tn/huon-m ² /40v 2,2	1,7	1,2	0,7
ELINKAARITALOUS (nykyarvo)		Kustannus-ero €/huon-m²	Kustannus-ero €/huon-m²	Kustannus-ero €/huon-m²
Rakennuskustannusero	R	+330	+385	+580
Julkisivun paikkaus		70	0	0
Julkisivun purku		0	0	45
Alustan tasoitus		0	0	70
Vaipan eristystason parantaminen		0	15	45
Julkisivurappaus		0	110	110
Ikkunoiden ja parvekeovien uusimisen ET - lisä		60	60	70
Ilmanvaihdon uusiminen		200	200	240
Huolto- ja kunnossapitokustannusero	H	+10	+25	+0
Lämmityskustannusero	L	-205	-425	-650
Välitön elinkaarikustannusero	R+H+L	+135	-15	-70
Lainakoron nykyarvo		+130	+150	+230
Mahdollinen energiakorjaustuki		-50	-50	-50
Välillinen elinkaarikustannusero		+215	+85	+110
Tekninen takaisinmaksuaika v		yli 40	38	36
Sijoitetun pääoman tuottoaste %/v		-2	0	+0.5
Jälleenmyyntiarvoero %		+3...+5	+5...+10	+10...+20



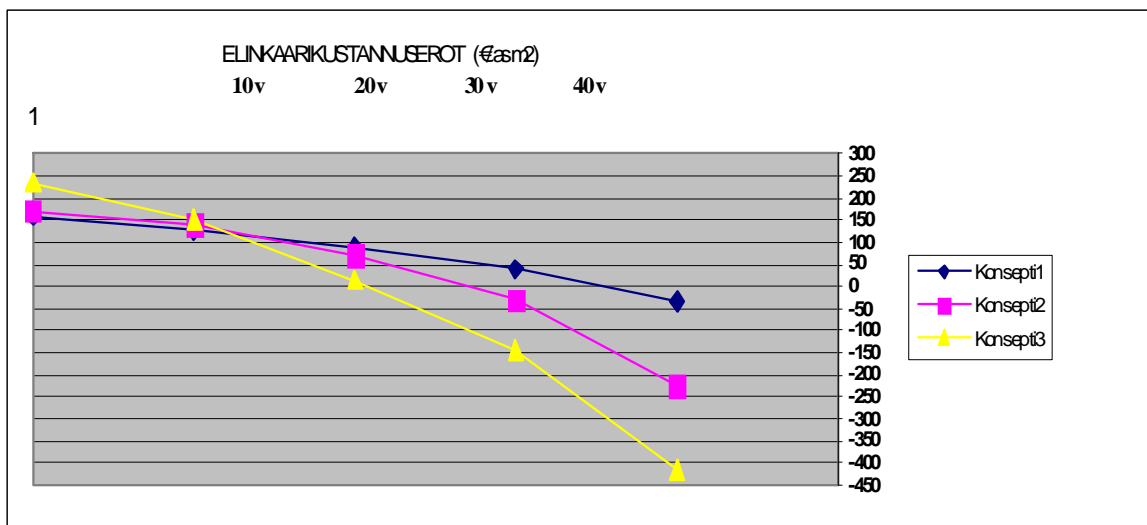
Taulukko 9. Asuinkerrostalon korjauskonsepttien elinkaaritalousvertailuesimerkki (sis. ALV), kun otetaan huomioon vain energiatehokkuuden parantamisesta aiheutuvat kustannukset. Ilmanvaihtojärjestelmän kustannukset kuuluvat kokonaisuudessaan energiatehokkuuden parantamisen kustannuksiin. Sijoitetun pääoman tuottoaste lasketaan saaduista energiakustannushyödyistä sekä oletetusta vuokran 20 % korotuksesta (lähtötaso 10 €/as-m²).

1960 -luvun kerrostalon peruskorjaus				Korjaus-konseptti 1	Korjaus-konseptti 2	Korjaus-konseptti 3
Kustannustaso: 3/2010 Lämmitysmuoto: Laskelmassa kaukolämpö Lämmitysenergian alkuhinta: 55 €/MWh Sähköenergian alkuhinta: 95 €/MWh Energiamaksun reaalinousu: 3%/v Laskentajakso: 40 vuotta						
EKOTEHOKKUUS		Vertailutaso				
Lämpö	kWh/huon-m ² /v	200		150	100	50
Sisäilmaluokka		S3		S2	S2	S2
Energialuokka		F		E	B	A
CO ₂	tn/huon-m ² /40v	2,2		1,7	1,2	0,7
ELINKAARITALOUS (nykyarvo)				Kustannus-ero €/huon-m ²	Kustannus-ero €/huon-m ²	Kustannus-ero €/huon-m ²
Rakennuskustannusero	R			+260	+275	+355
Vaipan eristystason parantaminen				0	+15	+45
Ikkunoiden ja parvekeovien uusiminen ET - lisä				+60	+60	+70
Ilmanvaihdon uusiminen				+200	+200	+240
Huolto- ja kunnossapitokustannusero	H			+10	+25	+0
Lämmityskustannusero	L			-205	-425	-650
Välitön elinkaarikustannusero	R+H+L			+65	-125	-295
Lainakoron nykyarvo				+100	+110	+120
Mahdollinen energiakorjaustuki				-50	-50	-50
Välillinen elinkaarikustannusero				+115	-65	-225
Tekninen takaisinmaksuaika v				yli 40	32	28
Sijoitetun pääoman tuottoaste %/v				-0,5	+1,0	+ 2,0
Jälleenmyyntiarvoero %				+3...+5	+5...+10	+10...+20



Taulukko 10. Asuinkerrostalon korjauskonseptien elinkaaritalousvertailuesimerkki (sis. ALV), kun otetaan huomioon vain energiatehokkuuden parantamisesta aiheutuvat kustannukset. Ilmanvaihtojärjestelmän kustannuksista oletetaan, että kustannukset jakautuvat puoliksi energiatehokkuuden ja sisäilman laadun parantamiseen. Sijoitetun pääoman tuottoaste lasketaan saaduista energiakustannushyödyistä sekä oletetusta vuokran 20 % korotuksesta (lähtötaso 10 €/as-m²).

1960 -luvun kerrostalon peruskorjaus						
Kustannustaso: 3/2010						
Lämmitysmuoto: Laskelmassa kaukolämpö						
Lämmitysenergian alkuhinta: 55 €/MWh						
Sähköenergian alkuhinta: 95 €/MWh						
Energiamaksun reaalinousu: 3%/v						
Laskentajakso: 40 vuotta						
EKOTEHOKKUUS			Vertailutaso			
Lämpö	kWh/huon-m ² /v	200	150	100	50	
Sähkö	kWh/huon-m ² /v	10	11	9	6	
Sisäilmaluokka		S3	S2	S2	S2	
Energialuokka		F	E	B	A	
CO ₂	tn/huon-m ² /40v	2,2	1,7	1,2	0,7	
ELINKAARITALOUS (nykyarvo)				Kustannus-ero €/huon-m ²	Kustannus-ero €/huon-m ²	Kustannus-ero €/huon-m ²
Rakennuskustannusero	R	+160	+175	+235		
Vaipan eristystason parantaminen		0	+15			
Ulkoseinän uusimisen ET-lisä				+45		
Ikkunoiden ja parvekeovien uusimisen ET - lisä		+60	+60	+70		
Ilmanvaihdon uusiminen		+100	+100	+120		
Huolto- ja kunnossapitokustannusero	H	+10	+25	+0		
Lämmityskustannusero	L	-205	-425	-650		
Välitön elinkaarikustannusero	R+H+L	-35	-225	-415		
Lainakoron nykyarvo		+60	+75	+90		
Mahdollinen energiakorjaustuki		-50	-50	-50		
Välillinen elinkaarikustannusero		-25	-200	-375		
Tekninen takaisinmaksuaika v		31	28	21		
Sijoitetun pääoman tuottoaste %/v		+0,5	+3,5	+4		
Jällelmyyntiarvoero %		+3...+5	+5...+10	+10...+20		



Laskennallisen energiansäästön toteutuminen edellyttää käyttöopastusta ja usein myös käytötottumusten (esimerkiksi valaistus, ikkunoiden aukipitäminen, veden käyttö yms.) muutosta. Käytötottumusten vaikutus kokonaisenergiankulutukseen voi olla $\pm 20 - 30 \%$.

Energiakorjauksen edullisuus perustuu kokonaisvaltaiseen korjaukseen, jossa energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet otetaan huomioon marginaalikustannuksina. Arvioissa (taulukot 8 - 10, konsepti 3) julkisivun uusimisen oletetaan johtuvan sen teknisen kunnan heikkeneemisestä, jolloin uusiminen on tehtävä joka tapauksessa.

Käytännössä rakennuksen sisäolosuhteet voivat ilmanvaihdon uusimisen avulla parantua, mutta toivottua energiansäästövaikutusta ei saavuteta. Tämä johtuu yleensä siitä, että korjaimattoman rakennuksen ilmanvaihto on selvästi vähäisempää (normitasoa vähäisempää) kuin korjatussa rakennuksessa. Ilmanvaihdon oikea mitoitus on kuitenkin hyvän ja terveellisen sisäilmaston edellytys. Ilmanvaihto otetaan siksi huomioon koko peruskorjaushankkeen elinkaariedullisuuden arvioinnissa (taulukko 7) siten, että osa ilmanvaihdon uusimiskustannuksista sisältyy ilman laadunparantamiseen ja osa energiatehokkuuden parantamiseen.

Energiatehokkuuden parantaminen korjausrakentamalla ei yleensä ole yhtä edullista kuin uudisrakentamisessa. Se on kannattavaa korjaushankkeen yhteydessä, kun peruskorjausväli on 40...50 vuotta. Siksi pitkän tähtäimen huollon, ylläpidon ja korjaus- ja uusimistoimenpiteiden suunnittelun merkitys korostuu.

Koko julkisivun purkamisen ja uusimisen edullisuuden perustana on eristepaksuuden optimaalinen valinta, kun otetaan huomioon

- Energiankulutuksen aleneminen
- Hiilijalanjäljen pieneneminen
- Investointikustannusten nousu
- Elinkaarikustannussäästöt
- Jälleenmyyntiarvon kohoaminen.

Tällöin edullisuuspotentiaali on tarkasteltavista vaihtoehdoista selvästi paras.

Erillisinä toimenpiteinä toteutettavien korjausten kustannukset vaihtelevat. Suurin ongelma kustannusten arvioinnissa on se, että kustannukset koskevat usein vain laitteiden tai rakennustuotteiden hintaa ja asentamiskustannuksia, mutta pintojen tms. viimeistelyn kustannukset jätetään ottamatta huomioon. Erityisesti ulkoseinien ulkopuolinen lisälämmöneristys erillisenä toimenpiteenä on usein taloudellisesti perustelematonta, ja joka tapauksessa kallein ratkaisuvaihtoehdoista suhteessa energiansäästöpotentiaaliin. Vastaavasti vanhan rakennuksen energiansäästöpotentiaali voi olla suuri kohtuullisella takaisinmaksuajalla. Riittävä investointituki puolestaan varmistaisi kohtuullisen taloudellisen takaisinmaksuajan. Energiakorjausten edullisuutta on mahdollista parantaa käyttämällä korjauskonseptien kanssa yhteensopivia integroituja, useampia toimintoja palvelevia ratkaisuja kuten julkisivun lisäeristyslementteihin reititettyjä talotekniikan ratkaisuja.

Lähdeviitteet

1. Tilastokeskus <http://www.stat.fi/>
2. Asukaslähtöiset perusparantamisen kehitystarpeet – IKE. <http://www.ymparisto.fi/julkaisut>
3. Rakennetun omaisuuden tila – ROTI. <http://www.roti.fi/>
4. Kosteus rakentamisessa. SRmk osa C2
5. <http://www.paroc.fi/>
6. Renovation of buildings using steel technologies - ROBUST. RFS-PR-06103
7. TES Energy Facade. Energiatohokkuuden parantaminen puurunkoisilla ja esivalmistetuilla julkisivuelementeillä. Tutkimushankkeen loppuraportti. 2009. Aalto-yliopisto, teknillinen korkeakoulu. http://www.tesenergyfacade.com/downloads/tkk_tes_loppuraportti_2009.pdf
8. Ekotehokkaasti uudistuva yhdyskunta – EcoDrive. Kestävä yhdyskunta ohjelman tutkimushanke. VTT 2008 – 2011.
9. Rantamäki, Jouko Modifioitujen bitumikatteiden pitkäaikaiskestävyys. Kenttä- ja laboratoriotutkimukset. 1995. VTT; Teknologian kehittämiskeskus TEKES, Espoo. 33 s. VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes : 1662
10. Nieminen, Jyri, Yläpohjarakenteiden lisäeristäminen ja kuivatus. 1988. VTT, Espoo. 97 s. + liitt. 50 s. Tiedotteita / Valtion teknillinen tutkimuskeskus : 869
11. Nieminen, Jyri; Rautiainen, Liisa, Kattovaurioiden syitä ja niiden korjausperiaatteita Korjausrakentaminen. Vol. 1 (1995), 9 - 14
12. Nieminen, Jyri, Kouhia, Ilpo, Hyvin eristetyn loivan katon toimivuus ja vaatimukset <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1979.pdf>
13. Common European model for life cycle costing. <http://ec.europa.eu/enterprise/construction/compet/lifecyclecosting/en.htm>
14. Holopainen, Riikka, Martti Hekkanen, Kari Hemmilä & Markku Norvasuo. Suomalaisten rakennusten energiakorjausmenetelmät ja säästöpotentiaalit. VTT 2007. VTT Tiedotteita 2377
15. Mäkiö, E. Kerrostalot 1960 - 1975. Rakennustieto. 1994. 288 s.
16. Neuvonen, Petri. Kerrostalon julkisivukorjaus: Julkisivun ominaispiirteet ja korjaustavan valinta.

Tietoa julkisivukorjauksista

Sulankivi, Kristiina; Nykänen, Veijo Rakennetun ympäristön korjauspalveluita ja -menetelmiä - esimerkkejä maailmalta 2008. Tekes, Helsinki. 54 s. VTT Tutkimusraportti : VTT-R-03710-08

http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/Rakennettu_ymparisto/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ja_aktivointi/Julkaisut/KorjauspalveluitaxMenetelmiae_VTT_RemesRaportti_080428.pdf

Vainio, Terttu; Jaakkonen, Liisa; Nippala, Eero; Lehtinen, Erkki; Isaksson, Kaj Korjausrakentaminen 2000-2010. 2002. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Espoo. 60 s. + liitt. 25 s. VTT Tiedotteita - Research Notes : 2154

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2154.pdf>

RIL R171-1995. Korjausrakentaminen. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL. Helsinki (1995).

Hekkanen, Martti; Riihelä, Sakari Korjausrakentaminen 2. Kustannuslaskennan perusteet 1994. Oulun yliopisto, rakentamistal. lab., Oulu. 55 s. Sarja : 5

Hekkanen, Martti. Julkisivujen ulkopuolinen lisäeristäminen korjausmenetelmänä. Suomalaisia kokemuksia Oulun yliopisto, täydennyskoulutuskeskus. Oulu (1994), 19 s.

Klobut, Krzysztof; Heikkinen, Jorma; Shemeikka, Jari; Laitinen, Ari; Rämä, Miika; Sipilä, Kari. Huippuenergiatehokkaan asuintalon kaukolämpöratkaisut. 2009. VTT, Espoo. 68 p. VTT Tiedotteita - Research Notes : 2513

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2513.pdf>

Holopainen, Riikka; Hekkanen, Martti; Hemmilä, Kari; Norvasuo, Markku. Suomalaisten rakennusten energiakorjausmenetelmät ja säästöpotentiaalit 2007. VTT, Espoo. VTT Tiedotteita - Research Notes : 2377104 s. + liitt. 2 s.

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2377.pdf>

Heimonen, Ismo; Hemmilä, Kari. Tuloilmaikkunan energiategokkuus. 2006. VTT, Espoo. 65 s. + liitt. 41 s. VTT Tiedotteita - Research Notes :

2329 <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2329.pdf>

Sarja, Asko; Laine, Juhani; Pulakka, Sakari; Saari, Mikko. INDUCON-rakennuskonsepti. 2003. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Espoo. 66 s. + liitt. 35 s. VTT Tiedotteita - Research Notes : 2206. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2206.pdf>

Säteri, Jorma; Kovanen, Keijo; Pallari, Marja-Liisa Kerrostalojen sisäilmaston ja energiatalouden parantaminen. 1999. VTT, Espoo. 82 s. + liitt. 2 s. VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes : 1945 <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1945.pdf>

Julkisivu- ja peruskorjausopas 2009-2010. Suomen Mediakustannuspalvelu. Turku (2009)

Nippala, Eero; Vainio, Terttu; Nuutila, Harri. Rakennustyyppikohtainen peruskorjaustarpeen arviointi kuntien rakennuksissa. Kuntaliitto. Helsinki (2006), 61 s.

<http://hosted.kuntaliitto.fi/intra/julkaisut/pdf/p060612081105W.pdf>

- Varjonen, S., Mattila, J., Lahdensivu, J., Pentti, M. 2006. Conservation and Maintenance of Concrete Facades - Technical Possibilities and Restrictions. TUT/ Institute of Structural Engineering, Publications 136. Tampere. 27 p.[pdf 1.8 MB]
- Haukijärvi, M., Lahdensivu, J. 2005. JUKO –ohjeistokansio. Ohjeistokansio julkisivukorjausten läpivientiin ja suunnitteluun. Julkisivuyhdistys, Tampereen teknillinen yliopisto, VTT.
- Lahdensivu, J., Pentti, M., Mattila, J.S., Haukijärvi, M. 2005. Rappauskirja 2005. Helsinki. Suomen Betoniyhdistys r.y., Julkaisusarja by 46. 158 s.
- Mattila, J.S., Pentti, M. 2004. Suojaustoimien tehokkuus suomalaisissa betonijulkisivuissa ja parvekkeissa. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, talonrakennustekniikka, tutkimusraportti 123. 69 s. + 8 liites.
- Lahdensivu, J. 2003. Luonnonkiviverhottujen massiivitiiliseinien vaurioituminen ja korjausperiaatteet. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, talonrakennustekniikka, tutkimusraportti 127. 159 s. + 9 liites.
- Haukijärvi, M., Pentti, M., Mattila, J.S., Lahdensivu, J. 2002. Betonijulkisivun kuntotutkimus 2002. Helsinki. Suomen Betoniyhdistys r.y., Julkaisusarja by 42. 178 s.
- Pentti, M., Haukijärvi, M. 2000. Betonijulkisivujen saumausten suunnittelu ja laadunvarmistus. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, talonrakennustekniikka, julkaisu 100. 88 s. + 5 liites.
- Pentti, M. 1999. The Accuracy of the Extent-of-Corrosion Estimate Based on the Sampling of Carbonation and Cover Depths of Reinforced
- Torikka, K., Hyypöläinen, T., Mattila, J.S., Lindberg, R. 1999. Kosteusvauriokorjausten laadunvarmistus. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, talonrakennustekniikka, julkaisu 99. 106 s. + 36 liites.
- Pentti, M., Hyypöläinen, T. 1999. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, talonrakennustekniikka, julkaisu 94. 147 s. + 40 liites.
- Saari, A. Julkisivukorjausten kustannukset. In: Korjausrakentaminen V, Rakennusten julkisivu- ja ulkoseinärakenteiden korjaus, RIL, K171-1995. Helsinki 1995, s. 219-232.
- Saari, A. Korjaushankkeen taloudellisuuden hallinta. In: Korjausrakentaminen II. Korjausrakentamisen perusteet, Korjaushankkeen läpivienti. RIL K168 - 1994. Helsinki 1994, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y, s. 77-94.
- Saari, A. Julkisivukorjausten kustannukset. In: Korjausrakentaminen V, Rakennusten julkisivu- ja ulkoseinärakenteiden korjaus, RIL, K171-1995. Helsinki 1995, s. 219-232.
- Harjula, Timo; Kurnitski, Jarek. Kosteus- ja mikrobivaurioista kärsivien maata vasten olevien rakenteiden korjausvaihtoehtoja - tuuletettu tila. In: Sisäilmastoseminaari 2004, 17.-18.3.2004. Vantaa 2004, Sisäilmayhdistys ry ja Teknillinen korkeakoulu, LVI-tekniikan laboratorio, s. 197-202.

Kettunen, A.-V., Kauriinvaha, E. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimuksen suunnittelu ja toteutus. Sisäilmastoseminaari 1998, Espoo 18-19. 3.1998. Helsinki 1998, Sisäilmayhdistys ry, s.123-128.

Kauriinvaha, E. & Kettunen, A-V. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus - rakenteiden kosteustekninen käyttäytyminen ja korjausperiaatteet. Sisäilmastoseminaari 1998, Dipoli, Espoo 18-19.3.-98. Espoo 1998, Sisäilmayhdistys, s. 328.

Viljanen, M., Kettunen, A-V., Kauriinvaha, E., Bergman, J., Laamanen, P., Nevalainen, A., Hyvärinen, A., Mecklin, T. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus, Ympäristöministeriön ympäristöopas 28. Ympäristöministeriö, 1997. 143 s. (Ympäristöopas 28).

Kiinteistön ylläpito ja korjausrakentaminen.

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=358305&lan=FI>

64 BeKo - Betonijulkisivujen ja -parvekkeiden korjausstrategiat

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=200623&lan=FI>