

Asuinkerrostalojen energiatehokkuuden parantaminen ja sen vaikutukset sisäympäristön laatuun ja terveellisyyteen

Yhteenveto

- Energiatehokkuuden parantamiseen tähtäävät korjaukset lisäsivät asukkaiden tyytyväisyyttä sisäilman laatuun.
- Sisäilman laatu vaikutti paranevan erityisesti rakennuksissa, joissa on koneellinen ilmanvaihto. Seuraukset olivat päinvastaiset osassa rakennuksista, joissa on painovoimainen ilmanvaihto.
- Liettuassa tyytyväisyys asunnon lämpötilaan parani merkittävästi.
- Suomessa korkean sisälämpötilan alentaminen lämmityskausina auttaisi säästämään energiaa ja pitämään huoneilman suhteellisen kosteuden sopivampana.

Tekijät:

Ulla Haverinen-Shaughnessy, Mari Turunen, Liulu Du
Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, Suomi

Virpi Leivo, Mihkel Kiviste, Anu Aaltonen
Tampereen teknillinen yliopisto, Suomi

Tadas Prasauskas, Dainius Martuzevicius
Kaunasin teknillinen yliopisto, Liettua

JOHDANTO

Ilmastonmuutoksen hillitseminen edellyttää kansallisia ja kansainvälisiä toimia. Rakennussektorilla on arvioiden mukaan eniten potentiaalia pienentää kasvihuonekaasupäästöjä. Asuinrakennusten osuus rakennussektorin energiankulutuksesta on noin 27 %. Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiivi ja rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (EPBD) ovat merkittävimmät lainsäädännölliset keinot, joilla pyritään parantamaan uusien ja olemassa olevien rakennusten energiatehokkuutta. Direktiivejä toteutetaan erilaisin kansallisin säädöksin ja ohjelmin, joissa tavallisimmin keskitytään vähentämään rakennusten energiankulutusta. Energiatehokkuuden parantaminen voi kuitenkin vaikuttaa myös sisäympäristön laatuun sekä asukkaiden terveyteen ja hyvinvointiin, joskin tutkimustietoa asiasta on niukasti.

INSULAtE-projektin tavoitteena oli selvittää asuinrakennusten energiatehokkuuden parantamisen vaikutuksia rakennukseen, sisäilman laatuun ja asukkaiden terveyteen sekä kehittää kokonaisvaltainen malli näiden vaikutusten arviointiin. Viisivuotisessa hankkeessa (2010–2015) tutkittiin energiakorjausten vaikutuksia lukuisissa rakennuksissa Suomessa ja Liettuassa (alueet, joilla rakennukset sijaitsevat, on merkitty kuvaan 1).



Kuva 1. Tutkimuspaikat sekä tutkimuksessa mukana olleiden rakennusten sijainnit Suomessa ja Liettuassa.

Suurin osa tutkimuksessa mukana olleista rakennuksista oli vuosina 1960–1980 rakennettuja asuinkerrostaloja, joissa tehtiin energiatehokkuutta parantavia korjauksia. Tutkimusmenetelminä käytettiin erilaisia mittauksia ja asukaskyselyitä, jotka suoritettiin remontointia ennen ja sen jälkeen. Lisäksi arviointimallia testattiin muutamissa rakennuksissa myös Virossa, Latviassa ja Ilossa-Britanniassa.

Tutkimuskohteet ja menetelmät

Suomessa mukana oli 46 ja Liettuassa 20 kerrostaloa (keskimäärin 5 asuntoa per kohde). Tutkimukset suoritettiin ensimmäisen kerran hankkeen alussa (ennen mahdollisia remontteja) ja toisen kerran mahdollisten remonttien jälkeen, pääsääntöisesti lämmityskauden aikana. Tutkimuksissa mitattiin seuraavia sisäympäristön laatuun vaikuttavia tekijöitä, jotka saattavat vaikuttaa myös asukkaiden terveyteen ja hyvinvointiin:

- sisälämpötila (T) ja huoneilman suhteellinen kosteus (RH)
- ilmanvaihto (ACR)
- hiilidioksidi (CO₂) ja hiilimonoksidi eli häkä (CO)
- hiukkasmaiset epäpuhtaudet (PM_{2,5}, PM₁₀)
- typidioksidi (NO₂)
- haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)
- formaldehydi (CH₂O)
- radon
- mikrobit ja kuidut pinnoille laskeutuneessa pölyssä.

Tietoja kerättiin myös pyytämällä asukkaita täyttämään asumiseen ja terveyteen liittyvä kysely ja pitämään asumisterveyspäiväkirjaa.

- Kyselylomakkeessa oli 49 lähinnä asuntoon ja asumisympäristöön, hygieniaan, sisäympäristöön sekä terveyteen ja hyvinvointiin liittyvää kysymystä.
- Kysely perustui aikaisemmin kehitettyyn asumisterveyskyselyyn, jonka avulla kerättiin tietoa suomalaisista asunnoista vuosina 2007 ja 2011 [1, 2].
- Asukkaat täyttivät asumisterveyspäiväkirjaa kerran päivässä kahden viikon ajan. Päiväkirjaan merkittiin mm. ajankäyttöön ja erilaisiin toimintoihin liittyviä asioita (esimerkiksi kuinka usein asuntoa tuuletettiin avaamalla ikkuna).

Arviointimalli on esitelty yksityiskohtaisesti hankkeen kotisivuilla osoitteessa www.insulateproject.eu.

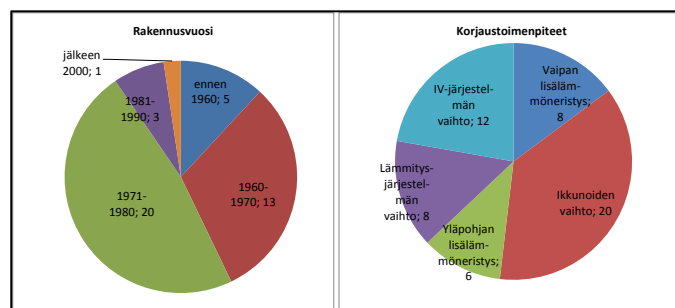
TUTKIMUSKOHTEET

Tutkimuskohteiksi valittiin kerrostaloja, joita oli tarkoitus peruskorjata hankkeen aikana. Kuvassa 2 on esimerkki yhdestä tutkimuksessa mukana olleista rakennuksista ennen remonttia ja sen jälkeen. Tutkimuksessa oli mukana myös verrokitaloja, joita ei remontoitu hankkeen aikana. Asukkaiden (ja taloyhtiöiden) osallistuminen tutkimukseen oli vapaaehtoista.



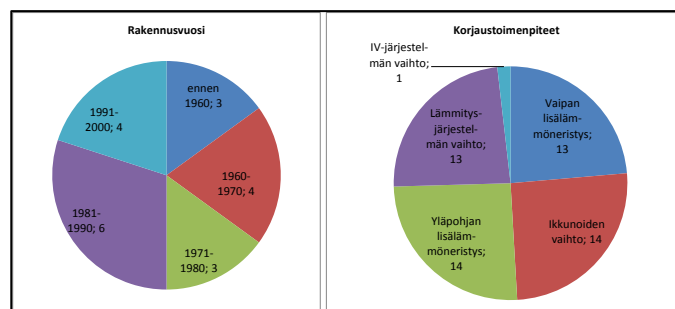
Kuva 2. Esimerkki yhdestä tutkimuksessa mukana olleista rakennuksista ennen remonttia ja sen jälkeen.

Suomessa hankkeen alussa tutkittiin 46 kerrostaloa (241 asuntoa). Tutkituista taloista 39 remontoitiin hankkeen aikana ja loput olivat verrokitaloja (näissä ei tehty korjauksia hankkeen aikana). Talot sijaitsevat pääosin Tampereen ja Kuopion seudulla. Valtaosassa on käytössä koneellinen poistoilmanvaihto (painovoimainen ilmanvaihto alle 10 prosentissa). Kuvassa 3 on esitetty rakennusten määrät rakennusvuoden mukaan sekä tehdyt korjaukset.



Kuva 3. Suomessa tutkimuksessa mukana olleiden rakennusten lukumäärät rakennusvuoden mukaan ja rakennuksiin tehdyt korjaukset.

Liettuassa hankkeen alussa tutkittiin 20 kerrostaloa (96 asuntoa). Näistä 15 remontoitiin hankkeen aikana ja loput olivat verrokitaloja. Valtaosa rakennuksista sijaitsee Liettuan toiseksi suurimman kaupungin, Kaunasin alueella. Rakennuksista suurimmassa osassa on painovoimainen ilmanvaihto ja vain muutamissa koneellinen poisto keittiössä ja kylpyhuoneessa. Kuvassa 4 on esitetty rakennusten määrät rakennusvuoden mukaan sekä tehdyt korjaukset.



Kuva 4. Liettuassa tutkimuksessa mukana olleiden rakennusten lukumäärät rakennusvuoden mukaan ja rakennuksiin tehdyt korjaukset.

Objektiiviset tutkimukset ja subjektiiviset arviot

Huoneiston omistaja ja asukkaat voivat hyötyä mittaustulosten vertaamisesta ohjearvoihin ja suosituksiin, koska vertailutulosten perusteella voidaan todeta, onko sisäympäristön laatu normien mukainen.

Asukkaiden kokemus sisäympäristön laatu ja terveellisyys eivät aina vastaa mittaustuloksia.

Asukkaiden kokemus miellyttävästä ja turvallisesta sisäympäristöstä on tärkeä, koska he voivat toimillaan vaikuttaa paitsi sisäympäristön laatuun ja terveellisyteen myös energiankulutukseen. Asukas saattaa esimerkiksi sammuttaa koneellisen ilmanvaihdon melun takia ja heikentää siten sisäilman laatua. Esimerkiksi ikkunoiden avaaminen sisäilman heikon laadun takia tai sisälämpötilan säätäminen suuremmaksi vedon vuoksi voivat lisätä energian kulutusta huomattavasti.

MENETELMÄT

Sisäympäristön laatua tutkittiin objektiivisesti suorittamalla mittauksia, vertaamalla mittaustuloksia ohjearvoihin ja suosituksiin sekä tarkastelemalla mahdollisia eroja ensimmäisen ja toisen mittauksen tuloksissa. Tutkimukset ennen ja jälkeen korjausten tehtiin jokaisessa rakennuksessa mahdollisuuksien mukaan samana vuodenaikana (pääsääntöisesti lämmityskaudella). Kuvassa 5 on esimerkki asuntoon asennettujen mittalaitteiden sijoittelusta.



Kuva 5. Mittalaitteita liettualaisessa asunnossa.

Sekä maailman terveysjärjestö WHO [3] että Euroopan unioni [4] on julkaissut sisäympäristön laatuun liittyviä ohjearvoja, esimerkiksi ilman epäpuhtauksien enimmäispitoisuuksia, joiden tavoitteena on ehkäistä niiden haitallisia vaikutuksia terveyteen ja hyvinvointiin. Suomessa aikaisemmin laajasti käytössä olleet asumisterveysohje ja -opas [5, 6] korvattiin vuonna 2015 uudella asumisterveysasetuksella [7] ja sen soveltamisohjeella [8]. Lisäksi suosituksia on mm. sisämastoluokituksessa [9]. Liettuassa vastaavat ohjearvot on esitetty hygieniasäädöksissä [10, 11]. Taulukkoon 1 on koottu tutkimuksessa mitattujen, sisäilman laatuun vaikuttavien parametrien ohjearvot.

Taulukko 1. Mitatut sisäilman laatuun vaikuttavat parametrit ja niiden kansalliset ja kansainväliset ohjearvot.

Parametri	Yksikkö	Maailman terveysjärjestö	EU	Kansalliset ohjearvot	
				Suomi	Liettua
T	°C	–	–	18–26 ^a	18–22
RH	%	–	–	20–60	35–60 ^b
CO ₂	ppm	–	–	1150 > ulkoilma	1200
CO ^c	ppm	8,6 (8 h), 25 (1 h)	10 (8 h)	7	2,43 (24 h)
PM _{2,5}	µg/m ³	25 (24 h)	25 (v)	–	40 (24 h)
PM ₁₀	µg/m ³	50 (24 h)	50 (24 h), 40 (v)	–	50 (24 h)
NO ₂	µg/m ³	40 (v), 200 (h)	200 (h), 40 (v)	–	40 (24 h)
CH ₂ O	µg/m ³	100 (30 min)	–	50 (v)	100 (30 min) 10 (24 h)
Radon	Bq/m ³	100 (v)	–	100/200/400 ^d	400
TVOC	µg/m ³	–	–	400	100 ^e

^a Hyvä sisälämpötila on 21 °C (18 °C on vielä tyydyttävällä tasolla) eikä sisälämpötila saisi olla yli 26 °C muutoin kuin siinä tapauksessa, että se johtuu ulkoilman lämpötilasta. Lämmityskauden aikana sisälämpötila ei saisi olla yli +23...24 °C.

^b Liettuassa huoneilman kosteuden (RH) ohjearvo koskee vain lämmityskautta.

^c Vuorokauden korkein kahdeksan tunnin keskiarvo.

^d Ohjearvot Suomessa: 100 Bq m⁻³ (uudisrakennukset), 200 Bq m⁻³ (rakennettu vuoden 1992 jälkeen).

^e Liettuassa ohjearvo koskee alifaattisia C1-C10-hiilivetyjä (100 mg/m³).

Tärkeimmät löydökset

Ryhmäkohtaisten tulosten perusteella asuinolosuhteet pääsääntöisesti parantuivat korjausten jälkeen:

- Liettuassa asuntojen sisälämpötila parani huomattavasti.

→ **Energiatehokkuuden parantamiseen tähtäävät korjaukset voivat parantaa asukkaiden hyvinvointia.**

- Suomessa asuntojen lämpötila talvella ylitti suositellun ohjearvon (23 °C) noin 40 % ajasta sekä ennen remonttia että sen jälkeen, ja suhteellinen kosteus jäi usein alle suositusten.

→ **Korkean sisälämpötilan laskeminen auttaisi säästämään energiaa ja ylläpitämään sopivampaa suhteellista kosteutta.**

- Sisäilman laatu vaikutti paranevan rakennuksissa, joissa on koneellinen poistoilmanvaihto. Seuraukset olivat päivittäin eräissä niistä rakennuksista, joissa on painovoimainen ilmanvaihto.

→ **Rakennuksen energiatehokkuutta parannettaessa on myös huolehdittava ilmanvaihdon riittävydestä ja säädettävä järjestelmät uudelleen.**

- Valtaosassa asunnoista sisäympäristön laatu vastasi ohjearvoja, mutta joidenkin epäpuhtauslähteiden merkitys korostui remontoinnin jälkeen.

→ **Erityistä huomiota on kiinnitettävä epäpuhtauslähteiden hallintaan.**

TULOKSET

Rakennukset ja energiankulutus

Tutkimuksessa mukana olleet rakennukset jaettiin kahteen ryhmään niissä suoritettujen korjausten perusteella: kohdistetussa korjauksessa peruskorjattiin esimerkiksi LVI-järjestelmä tai vaihdettiin ikkunat. Laaja-alaisessa korjauksessa pyrittiin parantamaan energiatehokkuutta kokonaisvaltaisemmin päivittämällä useita eri järjestelmiä.

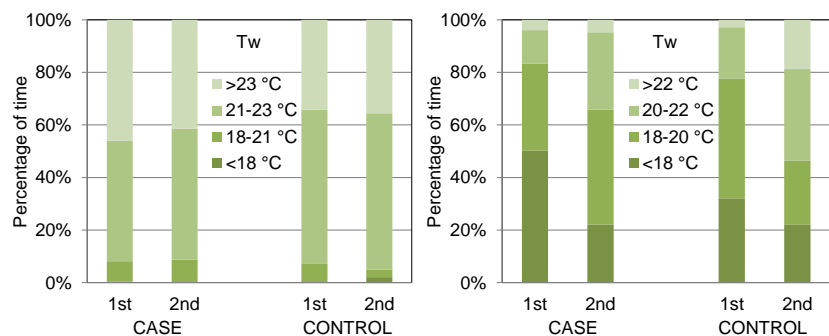
Kohdistettuja korjauksia tehtiin Suomessa 29 rakennuksessa ja laaja-alaisia korjauksia 9 rakennuksessa. Vakioitu lämmitysenergiankulutus pieneni remontin jälkeen keskimäärin 21 prosenttia.

Liettuassa kohdistettuja korjauksia tehtiin kahdessa rakennuksessa ja laaja-alaisia korjauksia 13 rakennuksessa. Jälkimmäisessä ryhmässä energiankulutus pieneni 30–60 % rakennuksissa, joissa on kaukolämmitys (yhteensä 12 rakennusta). Kahteen näistä oli lisäksi asennettu aurinkopaneelit, mikä pienensi energiankulutusta molemmissa taloissa 56 %. Kolmessa taloista oli erillinen lämmitysjärjestelmä (kaasukattila) ja niissä energiankulutus pieneni 40 %. Lämmitysenergian kulutus pieneni yksittäiseen järjestelmään kohdistuneen remontin jälkeen keskimäärin 10 prosenttia.

Sisälämpötila

Sisälämpötilaa (T) ja huoneilman suhteellista kosteutta (RH) seurattiin lämmityskauden aikana vähintään kahden kuukauden ajan. Mittauspisteitä oli kaksi: 1) oleskeluvyöhyke (asunnon keskimääräiset olosuhteet) ja 2) lähellä rakennuksen ulkovaipan viileintä kohtaa, joka määritettiin mitattujen pintalämpötilojen perusteella (tavallisimmin lähellä parvekkeen ovea).

Suomessa keskimääräinen sisälämpötila ennen remointia oli lämmityskaudella 22,7 °C ja huoneilman suhteellinen kosteus (RH) 27,0 %. Yhdessäkään asunnossa sisälämpötila ei ylittänyt tai alittanut toimenpiderajoja (eli lämpötila ei ollut alle 18 °C tai yli 26 °C) [5]. Ohjearvojen [6] mukaan sisälämpötila ei lämmityskauden aikana saisi olla yli 23–24 °C. Mittauksissa havaittiin, että sisälämpötila oli yli 23 °C noin 40 % ajasta ja yli 24 °C noin 17 % ajasta (kuva 6). Huoneilman kosteus (RH) alitti suositellun ohjearvon (20 %) noin 20 % ajasta. Remontin jälkeen keskimääräinen sisälämpötila oli 22,6 °C ja huoneilman suhteellinen kosteus 29,0 %. Ohjearvo (23 °C) ylittyi 39 % ajasta. Huoneilman kosteus (RH) alitti suositellun ohjearvon 11 % ajasta.



Kuva 6. Kansalliset ohjearvot ylittävien sisälämpötilojen osuus Suomessa (vasemmalla) ja Liettuassa (oikealla) ennen remointia ja sen jälkeen.

Muita huomioita

Korjausten jälkeen:

- Tutkimuksessa mukana olleissa rakennuksissa asukkaiden tyytyväisyys sisäilman laatuun parani merkittävästi erityisesti Suomessa.
- Liettuassa tyytyväisyys asunnon lämpötilaan parani tutkimuksessa mukana olleissa rakennuksissa merkittävästi.
- Asukkaat raportoivat vähemmän päivittäistä tieliikennemelua, mutta Suomessa tutkimuksessa mukana olleiden rakennusten asukkaat raportoivat ilmanvaihdon ja putkistojen pitävän enemmän melua verrattuna remonttia edeltäneeseen tilanteeseen.

→ **Ilmanvaihtojärjestelmän muutokset tulisi suorittaa siten, että ilmanvaihdoista aiheutuu asukkaille mahdollisimman vähän haittaa.**

Liettuassa keskimääräinen sisälämpötila ennen remonttia oli lämmityskaudella 19,5 °C ja huoneilman kosteus (RH) 43,4 %. Remontin jälkeen keskimääräinen sisälämpötila oli 20,4 °C ja huoneilman suhteellinen kosteus 48,7 %. Liettuassa sisälämpötilan ohjearvoksi on määritetty 20–40 °C ja suositeltu huoneilman suhteellinen kosteus on 35–60 %. Tutkimuksissa todettiin, että aika, jona lämpötila alitti ohjearvon (18 °C), pieneni 28 prosentilla tutkimuksessa mukana olleissa rakennuksissa, mutta vain 10 prosentilla verrokkitaloissa (kuva 6).

Sisäilman laatu

Suomessa keskimääräinen ilmanvaihtokerroin (ACR) parani korjausten jälkeen hieman (ACR 0,48 h⁻¹) niissä tutkimuksessa mukana olleissa rakennuksissa, joissa on koneellinen poistoilmanvaihto, verrattuna remontoitua edeltäneeseen tilanteeseen (ACR 0,45 h⁻¹). Niissä rakennuksissa, joissa on painovoimainen ilmanvaihto, ilmanvaihdossa ei tapahtunut muutosta (ACR 0,25 h⁻¹). Liettuassa tutkimuksessa mukana olleiden rakennusten keskimääräinen ilmanvaihtokerroin heikkeni korjausten jälkeen (0,32 h⁻¹) remontoitua edeltäneeseen tilanteeseen verrattuna (0,38 h⁻¹). Ilmanvaihto oli kuitenkin toisella mittauskerralla keskimäärin alhaisempi myös verrokkitaloissa (0,28 h⁻¹) ensimmäiseen mittaukseen verrattuna (0,40 h⁻¹), minkä perusteella voi olettaa, että ainakin osa erosta johtui mittausajankohdan sääolosuhteista. Esimerkiksi poikkeava säätila on saattanut aiheuttaa muutoksia ilmanvaihtuvuudessa tai asukkaiden käyttäytymisessä (esimerkiksi ikkunoiden avaaminen).

Hengitysilman hiilidioksidipitoisuus antaa viitteitä siitä, onko ilmanvaihto riittävä. Suomessa hiilidioksidipitoisuus sisätiloissa oli keskimäärin 731 ppm ennen remonttia ja 722 ppm remontin jälkeen, mitä voidaan pitää hyvänä tuloksena [5]. Yhdeksässä prosentissa huoneistosta hiilidioksidipitoisuus oli ennen remonttia yli 1000 ppm, mutta näin oli vain yhdessä prosentissa remontin jälkeen. Liettuassa keskimääräinen hiilidioksidipitoisuus oli yli 1200 ppm ensimmäisellä mittauskerralla 26 prosentissa asunnoista ja toisella mittauskerralla 35 prosentissa asunnoista. Tutkimuksessa mukana olleissa rakennuksissa aika, jona hiilidioksidipitoisuus oli yli 1200 ppm, lisääntyi 9 % remontin jälkeen, kun verrokkitaloissa vastaava aika lyheni 5 prosentilla.

Taulukossa 2 on mitattujen sisäilman laatuparametrien mediaanit.

Taulukko 2. Mitattujen sisäilman laatuparametrien mediaanit tutkimuksessa mukana olleissa rakennuksissa ja verrokkitaloissa Suomessa ja Liettuassa.

	Suomi		Liettua		Suomi		Liettua	
	Tutkimuksessa mukana		Verrokkitalo		Tutkimuksessa mukana		Verrokkitalo	
	1. (N)	2. (N) ¹	1. (N)	2. (N)	1. (N)	2. (N) ¹	1. (N)	2. (N)
CO ₂ (ppm)	687 (186)	653 (133)	629 (32)	609 (30)	957 (66)	993 (57)	1013 (22)	1002 (8)
PM _{2,5} (µg/m ³)	5,3 (157)	4,3 (107)	4,4 (18)	2,3 (13)	9,2 (71)	9,9 (55)	6,6 (22)	5,4 (8)
PM ₁₀ (µg/m ³)	14,6 (157)	12,4* (107)	11,9 (18)	9,6 (13)	18,5 (71)	24,8* (55)	17,8 (22)	18,3 (8)
CH ₂ O (µg/m ³)	18,2 (140)	16,4* (103)	15,9 (16)	13,5 (13)	24,1 (71)	28,0* (57)	16,5 (24)	32,9* (8)
BTEX (µg/m ³)	6,5 (134)	9,1* (102)	5,4 (16)	7,0 (13)	16,0 (71)	19,4 (55)	7,3 (24)	7,7 (8)
NO ₂ (µg/m ³)	6,2 (145)	6,0 (104)	3,9 (16)	4,9 (13)	11,9 (71)	11,7 (57)	16,0 (22)	13,8* (8)
Radon (Bq/m ³)	60 (132)	50 (88)	40 (13)	40 (12)	28 (33)	38* (31)	14 (12)	18 (4)

¹ Korjausten jälkeen. N = havaintojen lukumäärä

*Ensimmäisen ja toisen mittauksen välinen ero on tilastollisesti merkittävä (p<0,05).

Tärkeimmät tulokset

- Kokonaisvaltainen arviointimalli, jonka avulla voidaan selvittää kerrostalojen energiatehokkuutta lisäävien parannusten vaikutuksia sisäympäristön laatuun ja terveellisyteen.
- Mittaristo, jonka avulla voidaan arvioida sisäympäristön laatua energiatehokkuutta lisäävien parannusten ja laajempien peruskorjausten yhteydessä ja joka voi täydentää energiaselvitysten tekemistä.
- Suuri tietokanta, jossa on tietoja suomalaisten ja liettualaisten kerrostalojen tilasta remonttia ennen ja sen jälkeen.

Asumisterveyspäiväkirjat

- Asumisterveyspäiväkirjoja käytettiin osana INSULAtE-arviointimallia. Asukkailta kerätyt tiedot voivat antaa lisätietoja sisäympäristön laadusta sekä sen vaikutuksista asukkaiden käyttäytymiseen. Menetelmä vaatii kuitenkin vielä kehittämistä.

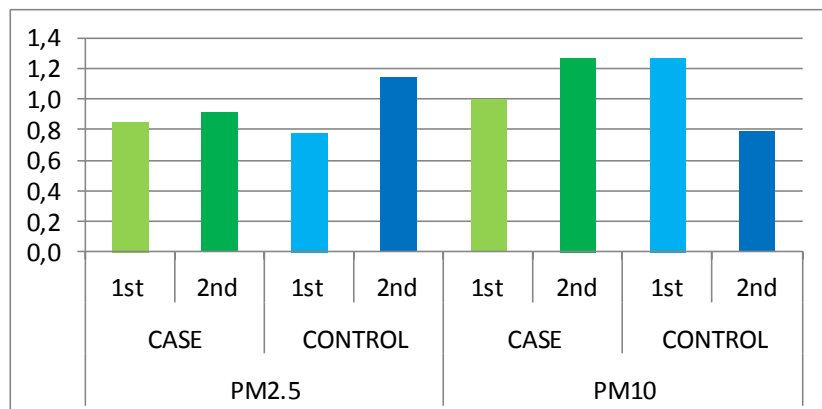
Suomessa hiukkasten (PM), formaldehydin (CH₂O) ja haihtuvien yhdisteiden (VOC), mukaan lukien bentseenin, toluenin, etyylibentseenin ja ksyleenien, pitoisuudet pienenevät korjausten jälkeen. Liettuassa hiukkasten (PM), formaldehydin (CH₂O) ja radonin pitoisuudet (radon-näytteiden otossa käytetyt laitteet on kuvassa 7) kasvoivat. Samantyyppisiä muutoksia havaittiin kuitenkin myös verrokkitaloissa eli ne eivät välttämättä liity remontointiin.



Kuva 7. Suomessa (vasemmalla) ja Liettuassa käytetyt radon-näytteiden ottolaitteet.

Hiukkaspitoisuuksien mittauksessa sisäilman hiukkaspitoisuutta verrataan ulkoilman hiukkaspitoisuuteen ja viitearvona käytetään näiden lukujen suhdetta. Jos suhde on alle yksi, sisätiloissa ei ole epäpuhtauslähteitä ja sisäilman laatuun vaikuttaa pääsääntöisesti ulkoilma. Jos suhde on alle yksi, mutta suurempi kuin 0,5, myös sisätiloissa on epäpuhtauslähteitä, mutta niiden merkitys on pieni. Jos suhde on suurempi kuin yksi, sisätiloissa on runsaasti sisäilman laatuun vaikuttavia epäpuhtauslähteitä.

Suomessa tehtyjen mittausten perusteella pienhiukkaspitoisuuksien (PM_{2.5}) suhdelukujen mediaani oli seurantamittauksissa (toinen mittauskerta) hieman ensimmäistä mittauskertaa suurempi niin tutkimuksessa mukana olleissa rakennuksissa kuin verrokkitaloissakin (kuva 8). Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) pitoisuuksien suhdelukujen mediaani kasvoi tutkimuksessa mukana olleissa rakennuksissa, mutta pieneni verrokkitaloissa. Vaikka ero ei ole tilastollisesti merkittävä, se saattaa olla merkki siitä, että sisätiloissa olevien hiukkaslähteiden vaikutus voi olla korjausten jälkeen suurempi ainakin osassa rakennuksista.



Kuva 8. Sisä- ja ulkoilman hiukkaspitoisuuksien suhdeluvut Suomessa sijaitseissa rakennuksissa.

LÄHTEET

1. Anttila M, Pekkonen M, Haverinen-Shaughnessy U. Asuinympäristön laatu, terveys ja turvallisuus Suomessa 2007-2011 - ALTTI 2011 -tutkimuksen tuloksia. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos (THL). Työpäpaperi 29/2013.
2. Pekkonen M, Haverinen-Shaughnessy U. Asumisterveyden ja turvallisuuden kohdekohtainen arviointi. Valtakunnallisen lähiöohjelmahankkeen tuloksia. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos (THL). Työpäpaperi 32/2014.
3. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. 2005.
4. EC, 2008. Air quality standards, directive 2008/50/EC. <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>.
5. Asumisterveysohje 2003. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003. Sosiaali- ja terveysministeriö. Helsinki, 2003.
6. Asumisterveysopas. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2009. Sosiaali- ja terveysministeriö. Helsinki, 2009.
7. Asumisterveysasetus 525/2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista.
8. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje. 2016. Valvira.
9. Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot. Sisäilmatie. 2008.
10. LRS, Lietuvos higienos norma HN 35:2007, Didžiausia leidžiama cheminių medžiagų (teršalų) koncentracija gyvenamosios aplinkos ore (liettuaksi). http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=297779, 2007.
11. LRS, Lietuvos higienos norma HN 42:2009, Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas (liettuaksi).

ASUKASKYSELYT

Suomessa ensimmäiseen kyselyyn vastasi yhteensä 234 asukasta 45 kerrostalosta (vastausprosentti 94 %). Toiseen kyselyyn (seuranta) vastasi yhteensä 187 (vastausprosentti 75 %) asukasta, joista 161 asui remontoitussa talossa. Vastajien keski-ikä oli 58 vuotta. Liettuassa ensimmäiseen kyselyyn vastasi yhteensä 57 asukasta 96 kerrostalosta (vastausprosentti 59 %). Toiseen kyselyyn (seuranta) vastasi yhteensä 27 asukasta (vastausprosentti 28 %). Vastajien keski-ikä oli 54 vuotta.

Korjatuissa rakennuksissa asuntoonsa tyytyväisten asukkaiden määrä kasvoi Suomessa 11 % ja Liettuassa 16 % (Taulukko 3). Tyytyväisyys sisäilman laatuun parani merkittävästi molemmissa maissa: Suomessa 23 % ja Liettuassa 13 %. Suomessa tyytyväisyys asunnon lämpötilaan ei muuttunut, mutta Liettuassa sisälämpötilaa talvella sopivana pitävien osuus kasvoi 31 %:sta 78 %:iin. Asukkaat raportoivat vähemmän päivittäistä tai lähes päivittäistä tieliikenteeseen ja teollisuuteen liittyvää melua molemmissa maissa: Suomessa 10 % ja Liettuassa 23 % vähemmän. Sen sijaan putkistojen, ilmanvaihdon, sähkölaitteiden jne. melusta raportoitiin Suomessa 6 % enemmän remontin jälkeen.

Taulukko

3. Tutkimuksessa mukana olleiden rakennusten ja verrokkitalojen asukkaiden raportoima tyytyväisyys asuntoonsa, sisäilman laatuun, sisälämpötilaan ja meluhäiriöihin.

Arviointi	Tutkimuksessa mukana		Verrokkitalo	
	1. ^a % (N)	2. ^b % (N)	1. % (N)	2. % (N)
Suomi				
Tyytyväinen asuntoon	41 (82)	52 (82)	58 (18)	46 (5)
Tyytyväinen sisäilman laatuun	22 (42)	41* (65)	45 (14)	36 (4)
Sopiva sisälämpötila				
	kesällä	58 (111)	57 (92)	48 (15)
	talvella	64 (130)	65 (105)	55 (17)
Päivittäinen melu				
	tieliikenne, teollisuus	28 (52)	18* (26)	7 (2)
	ilmanvaihto, putkisto jne.	12 (22)	18 (26)	21 (6)
Liettua				
Tyytyväinen asuntoon	19 (9)	35 (9)	22 (2)	–
Tyytyväinen sisäilman laatuun	20 (9)	33* (9)	13 (1)	–
Sopiva sisälämpötila				
	kesällä	45 (23)	56 (15)	44 (4)
	talvella	31 (16)	78* (21)	44 (4)
Päivittäinen melu				
	tieliikenne, teollisuus	49 (19)	26* (6)	57 (4)
	ilmanvaihto, putkisto jne.	7 (2)	0 (0)	20 (1)

^a ennen remonttia ^b remontin jälkeen *ensimmäisen ja toisen kyselyn välinen ero $p < 0,05$

JOHTOPÄÄTÖKSET

Hankkeen puitteissa luotiin kokonaisvaltainen arviointimalli, jonka avulla voidaan selvittää asuinkerrostalojen energiatehokkuutta lisäävien parannusten vaikutuksia sisäympäristön laatuun ja terveellisyteen. Energiatehokkuuden parantamisen vaikutukset sisäympäristön laatuun ja terveellisyteen ovat korjauksia ennen ja niiden jälkeen tehtyjen objektiivisten mittausten ja subjektiivisten arvioiden perusteella pääsääntöisesti positiivisia. Asukkaiden tyytyväisyys asuntoon ja sisäympäristön laatuun parani useimmissa tapauksissa. Liettuassa asukkaiden tyytyväisyys asunnon lämpötilaan parani merkittävästi, mutta ilmanvaihto saattoi joissakin tapauksissa heikentyä. Suomessa sisäilman epäpuhtauslähteiden merkitys näytti eräissä tapauksissa kasvavan. On huomattava, että mahdollisista pitkän aikavälin vaikutuksista ei ole toistaiseksi tutkittua tietoa.

KIITOKSET

- Kiitämme kaikkia hankkeeseen osallistuneita rakennusten omistajia ja asukkaita.
- Hankkeen ohjausryhmän jäsenet: Aino Nevalainen (THL), Ralf Lindberg (TTY), Kati Takala (Energiateollisuus), Derrick Crump (Cranfieldin yliopisto, Iso-Britannia) ja Matthias Braubach (Maailman terveysjärjestön Euroopan ympäristö- ja terveyskeskus, Saksa).
- Seuraavat henkilöt osallistuivat hankkeen valvontaan ja tarjosivat hankkeelle tilat: Anne Hyvärinen, yksikönjohtaja, Asuinympäristö ja terveys (THL) Matti Pentti, laitoksen johtaja, Rakennustekniikka (TTY) ja Eugenijus Valatka, laitoksen johtaja, Chemical Technology (KTU).
- Radonmittausvälineet Liettuassa saatiin käyttöön Liettuan säteilyturvakeskuksesta.
- Hankkeen rahoitukseen osallistuivat Euroopan komission LIFE+ rahoitus (LIFE09 ENV/FI/000 573), Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (ARA) sekä Energiateollisuus.

Tuloksia voidaan soveltaa ohjearvojen kehittämisessä ja rakennusten energiatehokkuusdirektiivin toimeenpanon tukemisessa. Hankkeessa kehitetyn mittariston avulla voidaan arvioida sisäympäristön laatua energiatehokkuutta lisäävien parannusten ja laajempien peruskorjausten yhteydessä. Mittaristoa voidaan hyödyntää myös energiaselvitysten tekemisessä. Yksittäisen huoneiston kohdalla arviointimallia soveltamalla voidaan varmistaa, että sisäympäristön laatu vastaa ohjearvoja (kuvassa 9 on esimerkki suomalaisen asunnon sisäympäristön laadun raportista). Rakennusten tutkiminen antaa hyödyllistä tietoa korjausrakentamista ja peruskorjauksia koskevien päätösten ja suunnitelmien tueksi. Lisäksi tutkimukset antavat hyvän kokonaiskuvan rakennuksen kunnosta ja toimintatehosta, ja tutkimustuloksilla voidaan mahdollisesti täydentää energiaselvitysten ja -todistusten tietoja.

Sisäympäristön laadun arviointiraportti, [osoite] Päiväys 05-10-2015

Raportti sisältää sisäympäristön laatuun vaikuttavien parametrien mittaustulokset. Mittaukset perustuvat INSULATE-hankkeessa luotuun arviointimalliin. Lisätietoja tulosten tulkinnasta on osoitteessa www.insulateproject.eu.

Parametri (yksikkö)	Tulokset		Tulosten tulkinnassa on sovellettu sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysohjetta (2003)
	Ennen korjausta	Korjausten jälkeen	
T (°C)	24	24	Hyvä lämpötila (T) on 21 °C, ja tyydyttävä 18 °C. Lämmitetyn asunnon lämpötila ei saisi olla yli 23–24 °C.
RH (%)	32	32	Huoneilman suhteellinen kosteus (RH) 20–60 %.
TI	60	71	Lämpöindeksi (TI) on riittävä, kun se on vähintään 61, ja hyvä, kun se on vähintään 65.
CO ₂ (ppm)	1543	1246	Ilmanvaihto ei vastaa terveydenhuoltolain vaatimuksia, jos huoneilman hiilidioksidipitoisuus on yli 1500 ppm. Sopiva hiilidioksidipitoisuus on noin 1200 ppm.
CO (ppm)	0	0	Hiilimonoksidi- eli häkäpitoisuus ei saa olla yli 8 mg/m ³ (6,9 ppm).
CH ₂ O (µg/m ³)	22	21	Sisätiloissa formaldehydipitoisuus (CH ₂ O) ei saa olla yli 100 µg/m ³ .
Radon (Bq/m ³)	100	70	Keskimääräinen vuotuinen radonpitoisuus ei saa olla yli 400 Bq/m ³ .

Värit	T (°C)	RH (%)	TI	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	CH ₂ O (µg/m ³)	Radon (Bq/m ³)
Hyvä	18 ≤ T ≤ 21	20–60	≥65	<1200		<35	<200
Tyydyttävä	21 < T ≤ 24		≥61	1200–1500		<100	<400
Huono	T < 18 tai T > 24			>1500	>6,9		

Kuva 9. Esimerkki hankkeessa kehitetystä sisäympäristön laaturaportista.

Kansallisella tasolla vastaavien tutkimusten avulla voidaan arvioida kansallisten ohjelmien ja säädösten vaikuttavuutta. Hankkeen yhteydessä kerättyä tietokantaa voidaan käyttää viitetietolähteenä, kunnes saadaan riittävästi tietoa kansallisten tietokantojen luomiseksi. Monissa maissa ei ole objektiivista tietoa rakennuskannan ja sisäympäristön laadun tilasta. Esimerkiksi sisälämpötilojen ja ilmanvaihdon selvittäminen kansallisella tasolla antaa tietoa mahdollisesta liiallisesta lämmittämisestä tai viilennyksestä, mikä vaikuttaa suoraan energiankulutukseen. Hyvinkin yksinkertaisin toimenpitein energiaa voidaan säästää merkittävästi ja myös sisäympäristön laatua parantaa. Euroopan unionissa ainakin osaa mittaristosta voidaan soveltaa jo olemassa olevissa kyselyissä ja tietokannoissa (esimerkiksi Eurostat ja WHO ENHIS).

Tämän julkaisun viite: Turunen M, Leivo V, Martuzevicius D, Prasauskas T, Kiviste M, Aaltonen A, Du L, Haverinen-Shaughnessy U. Asuinkerrostalojen energiatehokkuuden parantaminen ja sen vaikutukset sisäympäristön laatuun ja terveellisyteen. Tutkimuksesta tiiviisti 14/2016. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, Helsinki.

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos
PL 30 (Mannerheimintie 166)
00271 Helsinki
Puhelin: +358 29 524 6000
ISBN 978-952-302-691-9 (painettu julkaisu)
ISSN 1798-0070
ISBN 978-952-302-692-6 (verkkojulkaisu)
ISSN 2323-5179
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-302-692-6>

www.insulateproject.eu