

ILMANPUHDISTIMIEN VAIKUTUKSET PIENHIUKKAS-, MIKROBI- JA VOC-ALTISTUMISEEN SEKÄ OPPILAIDEN OIREISIIN KOULULUOKKISSA (PUHHO)

Arto Pennanen¹, Martin Täubel¹, Anni-Mari Pulkkinen¹, Hanna Leppänen¹, Maria Valkonen¹, Asko Vepsäläinen¹, Hanna Hovi², Anne Hyvärinen¹, Raimo O. Salonen¹

¹ Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL), Terveyturvallisuusosasto

² Työterveyslaitos, Työympäristölaboratoriot

TIIVISTELMÄ

PUHHO-tutkimuksessa selvitettiin kolmen erityyppisen huoneilman puhdistimen vaikutusta sisäilman mikrobien ja kemiallisten epäpuhtauksien pitoisuuksiin sekä oppilaiden päivittäisiin oireisiin. Kuiden koulun yhteensä 18 luokassa tehtiin mitauksia kolmella puhdistimen tarkastelujaksolla (ei puhdistinta, normaali-iltoiminto, sham-toiminto). Luokkien keskimääräiset PM_{2.5}, PM₁₀, BC ja TVOC-pitoisuudet olivat pääosin pieniä. Kaikki kolme huoneilmapuhdistinta pienensivät PM_{2.5} (54-63%) ja BC (43-63%) -pitoisuuksia selvästi verrattuna lähtötilanteeseen. Sen sijaan sisäilmanäytteiden mikrobitasoisissa (qPCR) havaittiin vain pieni alenema. Puhdistimien normaali käyttö lisäsi oireettomien päivien määrää 12-15 prosenttisyksikköä verrattuna lähtötilanteeseen, mutta lähes saman suuruisen vaikutus nähtiin myös ilmapuhdistimien sham-toiminnolla.

JOHDANTO

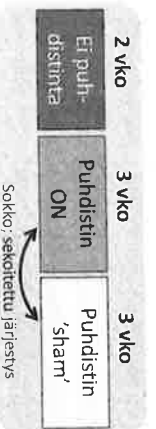
Kosteusvaurion ja siitä syntyneen home- ja bakteerikasvuston takia korjausta odottavia kouluja ja päiväkotia on Suomessa satoja ja uusia korjausta tarvitsevia kohteita löytyy jatkuvasti lisää. Korjausta joudutaan usein odottamaan vuosia ja vain osalle näissä rakennuksissa olevista toimintoista pystytään osoittamaan vaihtoehtoiset tilat 1/1. Monet kunnat käyttävät tilapäisaratkaisuna sisäilman puhdistimia kosteus- ja homevauriorakennuksissa tavoitteena pienentää koululaisten, päiväkotilaisten ja työntekijöiden altistumista ja terveysriskejä. Tarvitaan kontrollioituja tutkimuksia siitä, voidaanko huoneilman puhdistimilla pienentää merkittävästi altistumista sisäilman epäpuhtauksille ja samalla vähentää tilaa käytävien oireita. Lisäksi liikennemympäristöissä tai runsaan puunpoltton ympäristöissä tulee sisätiloihin näistä lähilähteistä ja alueellisesta kulkemasta peräisin olevia pienhiukkasia, jotka saattavat lisätä oireita herkillä yksilöillä. PUHHO-tutkimuksessa selvitettiin kolmen erityyppisen huoneilmapuhdistimen vaikutuksia oppilaiden altistumiseen sisäilman mikrobeille, hiukkasille (PM₁₀, PM_{2.5}), mustalle hiilelle (BC) ja VOC-yhdisteille sekä tähän altistumiseen liittyviin hengityste- tai muihin oireisiin.

MENETTELMÄT

Tutkimusasetelma

Tutkimus tehtiin kuudessa koulussa ja yhteensä 18 luokassa lukuvuonna 2015-16. Kunkin koulun kolmeen luokkaan sijoitettiin erityyppinen ilmapuhdistin. Samanaikaisesti seurattiin kahta koulua (kuutta luokkaa) 8 viikon ajan. Mitaukset ja oireseuranta tehtiin ensin 2 viikkoa lähtötilanteessa ilman puhdistinta, mitä seurasivat sekoitettussa sötkö-

asetelmassa 3 viikkoa ilmanpuhdistimen normaalia toimintaa (ON) ja 3 viikkoa puhdistin 0-toiminnolla ('sham'). Koulun oppilaat tai henkilökunta eivät tieneet milloin puhdistin toimi normaalisti ja milloin sham-toiminnolla.



Kuva 1. Tarkastelujaksot luokissa. Puolesta luokista (9) sham-jakso oli ennen ON-jaksoa.

Koulut ja ilmanpuhdistimet

Tutkimukseen valittiin Helsingistä kuusi eri-ikäistä peruskoulua, joissa oli vaihtelevia sisäilmaongelmia (taulukko 1). Koulurakennuksissa oli todettu perus- tai vauriokorjauksen tarve viimeisen 1-5 vuoden aikana kuntotutkimuksella tai sisäilmaselvityksellä, mutta missään koulussa ei ollut selkeitä mikrobiölöydöksiä. Selkeästi kosteus- ja homevaurioituneet koulut oli poisitettu käytöstä. Tutkimukseen valittiin ensisijaisesti 3.-6. luokka-asteen luokkia, joissa oli havaittu oireilua tai epäilyä sisäilman laadusta, mutta jossa ei sillä hetkellä ollut ilmanpuhdistinta käytössä.

Taulukko 1. Koulujen perustiedot.

Koulu No.	Rak.-vuosi	Korjattava vaurio tai sisäilmatekijä	IV-koneiston asennusvuosi /suodatusaaso	Tutkimus-aika
1	1905	Katovuotoja, maanvastaisen seinien kosteusvaurioita.	2006 / F7	26.10.-17.12.2015
2	1969-78	Julkisivujen tiivirhous, betonirakenteita, IV-järjestelmä, salaajat + kaivot.	2008 / F7	26.10.-17.12.2015
3	1908	Katovuotoja, ulkoseinässä kosteutta pöly- ja hajuhaittoja. Ilmanvaihto koneelliseksi.	Painovoimainen (luokissa)	11.1.-11.3.2016
4	1955-56	Ulkoseinät, ikkunat, alapoljat, maanalaiset rakenteet. IV-järjestelmä uusittava.	1956 / G3	11.1.-11.3.2016
5	1967	IV-järjestelmän perussäätö ja puhdistus.	1998 / F7	21.3.-13.5.2016
6	2003	Runsaasti oireilua, ulkoseinissä vaurioita.	2003 / F7	21.3.-13.5.2016

Tutkimuksessa käytettiin kolmea erityyppistä huoneilman puhdistinta (P1-P3), joista yksi oli Helsingin kouluissa yleisesti käytetty malli ja kaksi oli hiukkaseroskuvyyn testeissä tehokkaaksi todettua laitetta. Luokkaan sijoitettiin aina kaksi samaa laiteyksikköä eri puolelle luokkaa ja ne säädettiin mahdolliselle puhallusteholle (200-400 m³/h). Puhdistimissa P1 ja P3 oli kärkeä esisuodatinta ja HEP-A-suodatinta, kun taas P2 perustui korkeajännitevaraaajaan ja sähkösuodattukseen. Kaikissa laitteissa oli lisäksi aktiivihitiisuodatinta. Sham-jakso toteutettiin P1 ja P3 -puhdistimissa poistamalla laitteesta HEP-A-suodatinta ja aktiivihitiisuodatinta, sekä P2:ssa poistamalla keräysjännite ja aktiivihitiisuodatinta. Puhallusteho oli sama kuin normaali-toiminnon aikana.

Yleisten kemiallisten epäpuhtauksien mittaukset

Kaikista luokista otettiin hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) näyte PTFE-suodattimelle viiden päivän jaksossa (ma-pe) käyttäen Harvard-keräintä virtauksen ollessa 10 l/min. Suodatimet punnittiin ennen ja jälkeen keräyksen tasapainottaen niitä 24 h olosuhte-

vakioidussa vaakahuoneessa. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) näyte kerättiin kerran viikossa koulupäivän aikana 90 minuutin ajan Tenax TA/CarboGraph 5 TD-adsorptioputkiiin 100 ml/min virtauksella luokista sekä koulun pihalta ulkoilmasta. VOC-yhdisteet ja kokonaispitoisuus (TVOC, tolueniekvivalentina) analysoitiin termodesorptio-GCMS-menetelmällä Työterveyslaitoksella.

Lisäksi puolesta luokista (yhdestä koulusta kerrallaan) mitattiin jatkuvaroisesti pienhiukkasten massapitoisuus (PM_{2.5}) optisella pienlatiteella (DustTrak DRX 8533), sekä mustahiipipitoisuus yhden aallonpituuden (880 nm) optisella mitalaitteella (Aethalometer AE31). Sisäilman olosuhteita (hiilidioksidi (CO₂), lämpötila, kosteus) seurattiin VelocCalc 9565-P-mittarilla.

Mikrobinäytteet ja määritykset

Kaikista luokista kerättiin laskeunanäyte kunnalle rinnakkaiselle petrimallalle 2-3 viikon jaksossa eli tarkastelujaksojen ajan. Lisäksi puolesta luokista otettiin mikrobinäyte aktiivikeräimellä (Button-sampler) kahdelle rinnakkaiselle suodattimelle 5 päivän keräysjaksolla (ma-pe). Keräimet oli ajastettu toimimaan koulupäivän ajan n. klo 8-14. Sekä laskeunna- että aktiivinäytteestä tehtiin mikrobianalyyysi käyttäen qPCR-menetelmää (quantitative polymerase chain reaction). Tuloksissa on käytetty indikaattorina qPCR-sovellusta, joka mittaa *Penicillium*- ja *Aspergillus*-sieniryhmien sekä *Paeclionomyces variotii*-sienen yhteistä pitoisuutta (PenAsp) /2, 3/.

Oireseuranta

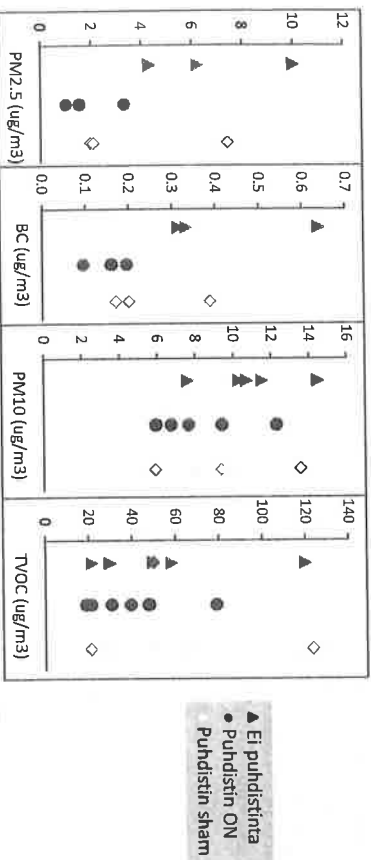
Tutkimuksen 18 luokan oppilaiden huoltajilta pyydettiin oireseurantaan varten kirjallinen suostumus, jota saatiin 294 kappaletta. Oppilaat täyttivät jokaisena koulupäivänä opettajan johdolla lomakkeen, jossa kysyttiin erikseen alahengitysteihin (mm. yskä, hengityksen viinkuma/ahdistus) ja ylähengitysteihin (nuha, nenän tukkoisuus, kurkkukipuu) liittyviä oireita sekä muita oireita (silmäoireet, päänsärky, kuume). Päivittäisten oireseurantalomakkeiden palautusprosentti vaihtelivat suuresti koulujen ja seurantaajaksoiden välillä. Opettajat pitivät myös päivittäin kirjaa oppilasmäärästä.

ILMANPUHDISTIMIEN KÄYTTÖN VAIKUTUKSET

Yleiset kemialliset epäpuhtaudet

Koulupäivän aikaisissa CO₂-pitoisuusarvoissa ei ollut merkittäviä muutoksia tutkimuksen aikana missään luokassa, mikä osoitti että oppilasmäärät ja toiminta pysyivät samantasuisina eri tarkastelujaksoilla. Yhdeksän luokan keskimääräiset PM_{2.5} (4,3-11 µg/m³) ja BC (0,3-0,6 µg/m³) -pitoisuudet, sekä 18 luokan PM₁₀ (7-18 µg/m³) ja TVOC (15-150 µg/m³) -pitoisuudet olivat pääosin tavanomaisen matalia. Ainoastaan koulussa 3 oli muuta korkeammat CO₂- ja TVOC-pitoisuudet.

Keskimääräinen PM_{2.5}-pitoisuus luokissa pieneni selvästi (54-63%) kaikkien puhdistusmallien normaali-toiminnolla (ON) verrattuna ei puhdistinta-jaksoon. Myös sham-jaksolla mitattiin hieman pienemmät pitoisuudet kuin ei puhdistinta-jaksolla (kuva 2). Mustan hilen (BC) alenema (43-63%) oli hyvin samankaltainen kuin PM_{2.5}:llä. PM_{2.5}- ja BC-pitoisuuksien ajalliset vaihtelut korreloivat voimakkaasti kaupunkitausta-asmalla mitattuihin ulkoilman pitoisuuksiin, ja tämä ulkoilman vaikutus on otettu huomioon laskehtaessa tarkastelujaksojen keskinäisiä suhteita.



Kuva 2. Epäpuhdistuksen kouluhuoneissa keskimääräiset eri tarkastelejäjaksotilla.

PM₁₀-pitoisuudessa havaittiin pienempi (14-30%) ja epäyhtenäinen alenema, ja vaikutus oli lähes sama ON- ja sham-jaksolla. TVOC-pitoisuus pieneni myös ON-jaksolla (33-35%), mutta sham-jaksolla ei juurikaan tullut muutosta ei puhdistinta-jaksoon verrattuna. TVOC:n ja yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet olivat selvästi alle Asumisterveysasetuksen toimenpiderajojen /4/. Kaikissa luokissa mitattiin pieniä määriä 2-etyyli-1-heksanolia (0,5-1,5 µg/m³) ja muutamassa luokassa TXIB:tä (2,2,4-trimeyyli-1,3-pentaaniidoli di-isobutyraatti). Ulkoilman TVOC-pitoisuudet olivat kaikissa kouluissa pieniä ja havaintorajan tuntumassa.

Mikrobit

Mikrobitasossa oli merkittäviä eroja koulujen välillä, mutta keskimääräiset sisäilman pitoisuudet olivat melko matalia (PenAsp: 10-60 CFU/m³). Aktiivikerman näytteissä nähtiin puhdistimen ON- ja sham-jaksolla pieni alenema suhteessa ei puhdistinta-jaksoon, mutta laskemattomissa ei vastaavaa muutosta havaittu.

Taulukko 2. Oireettomien (vahvennettu), 1-2 ja yli 2 oireutuksen tuottaneiden päivien lukumäärät ja osuudet (%) eri tarkastelejäjaksotilla.

Oireyryppi / esiintyminen	Ei puhdistinta n (%)	Puhdistin sham n (%)	Puhdistin ON n (%)
Alahengitystie	773 (48)	1513 (59)	1666 (60)
1-2	621 (39)	713 (28)	744 (27)
>2	212 (13)	353 (14)	374 (13)
Ylähengitystie	697 (44)	1394 (54)	1634 (59)
1-2	617 (39)	727 (28)	708 (25)
>2	283 (18)	459 (18)	448 (16)
Muut oireet	728 (45)	1447 (56)	1625 (58)
1-2	593 (37)	697 (27)	770 (28)
>2	289 (18)	437 (17)	396 (14)

Oireet

Oireiden ensivaikheen analysoinnissa katsottiin erityisesti niiden päivien osuutta, jolloin yksikään oppilas ei raportoinut oireita (oireettomat päivät). Muut oireiden esiintymislukemat olivat 1-2 ja >2 oireilevaa oppilasta per päivä. Oireettomien päivien osuus vaihteli koulujen välillä lähötilanteessa (ei puhdistinta-jaksot) 27 ja 58% välillä. Puhdistimen käyttö lisäsi yleisesti ottaen oireettomia päiviä 12-15% kaikissa oireyryryissä. Siirtymä tapahtui pääosin 1-2 oireen luokasta ja sham-jaksolla oli lähes sama vaikutus oireiden esiintyvyyteen kuin ON-jaksolla (taulukko 2).

ILMANPUHDISTIMEN VERTAAILU

Yleiset kemialliset epäpuhdistukset

PM_{2.5}:n ja BC:n osalta kaikki puhdistimet olivat suhteellisen tehokkaita, ja puhdistimen P3 tuottama pitoisuuden alenema (63%) oli hieman suurempi kuin kahdella muulla mallilla (43-58%), PM₁₀-pitoisuuden vaikutus oli pienempi ja vaihtelevampi, ja siinä puolestaan P1 ja P2 suorittivat hieman paremmin kuin P3. P2:n huuhtelutuksessa erotuivat parhaiten ON- ja sham-jaksot. TVOC-pitoisuus aleni P1- ja P2-puhdistimilla keskimäärin noin kolmannesosa, kun taas P3:lla ei havaittu vaikutusta.

Oireet ja mikrobit

Mikrobitien suhteen puhdistimien välillä ei ollut merkittäviä eroja. Oireettomien päivien esiintyvyydessä tuli pieniä eroja puhdistimien välillä. Kaikkien puhdistimien käytöllä oireettomat päivät lisääntyivät, mutta P1 ja P3 -laitteilla ei tullut eroa ON- ja sham-toimintojen välillä. P2-puhdistimella sen sijaan näkyi tilastollisesti merkitsevä muutos ylähengitysoireissa ON- ja sham-toimintojen välillä (taulukko 3).

Taulukko 3. Oireettomien päivien osuus (%) eri puhdistimilla oireyryryryissä.

Oireyryryppi	Ei puhdistinta	P1 sham	P1 ON sham	P2 sham	P2 ON sham	P3 sham	P3 ON
Alahengitystie	48	55	57	58	61	64	62
Ylähengitystie	44	53	54	49	64	62	59
Muut	45	55	55	55	63	59	58

POHDINTA JA PÄÄTELMÄT

Luokkien sisäilman epäpuhdistusten pitoisuustasot olivat yleisesti ottaen matalia ja sisäympäristöille tavanomaisia. Missään kouluhuoneissa ei havaittu poikkeavan runsasta pölyisyyttä tai outoja hajuja. Koulussa 3 useimpien epäpuhdistusten pitoisuus oli korkein tutkituista kouluista, mikä todennäköisimmin liittyy koneellisen ilmanvaihdon puuttamiseen. Heikompi ilmanvaihto heikentää sisälähteistä tulevien epäpuhdistusten laimennusta ja toisaalta ulkoa tuleva korvausilma ei tule suodatettuna kuten koneellisissa jäätelötiloissa. Kaikissa kouluissa PM_{2.5} ja muusta hihi oli alajallisen korrelaation perusteella pääosin peräisin ulkoilmasta, kun taas PM₁₀ ja erityisesti TVOC yhdistyivät sisälähteisiin.

Useimpien epäpuhdistusten pitoisuudet olivat myös puhdistimien sham-jaksolla pienempiä kuin ei puhdistinta-jaksolla. Tämä voi selittyä osittain ulkoilman pitoisuusvaihtelulla ja osittain luokkien toiminnasta johtuvalla sisälähteiden vaihtelulla. Puhdistimien tuottama ilman kierrätys sham-tilassa todennäköisesti paransi ilman sekoroitumista luokissa ja sitä kautta tehosi ilmanvaihtoa. Koneellisen tuloilman heittopinnat saattavat olla isoissa sisätiloissa riittämättömiä jolloin ilman vaihtuvuus ei ole niin hyvä kuin se ilmajäätöjen

mitoituksen mukaan voisi olla. Näin ollen puhdistimien sham-toinnollakin saattoi olla todellista pitoisuuksia alentavaa vaikutusta.

Missään tutkituista koululuokista ei havaittu näkyviä kosteus- tai homeaurion merkkejä. Mikroobien pitoisuudet olivat selvästi pienempiä kuin qPCR-menetelmän validoinnissa havaittu asuntojen kosteusvaurioon viittaava arvo /2/. Toki koulujen mikrobpitoisuudet ovat yleisesti pienempiä kuin asuntojen pitoisuudet /5/. Ylä- ja alahengitysteiden ja muiden oireiden esiintyminen oli yleisesti ottaen melko pientä. Kutakin oireyhtyppiä oli yli 2 lapsella per luokissa (ON-jakso) lisäksi oireettomien päivien määrää Huoneilman puhdistimien käyttö luokissa (ON-jakso) lisäsi oireettomien päivien määrää tilastollisesti merkittävästi 12-15 prosenttiyksiköllä. Sham-jaksolla havaittiin lähes yhtä suuri vaikutus oireiden raportointiin, mikä osittain selittynee puhdistimien läsnäolon tuomalla placebo-vaikutuksella. Toisalta monien epäpuhtauksien pitoisuuksien olivat sham-tuomalla pienemmät kuin ei puhdistinta-jaksolla, joten myös parantuneella ilmanlaadulla saattoi olla vaikutusta. Lisäksi luokissa ei ollut selviä mikrobi- tai homeaurion vaikutuksia, joten raportoidut oireet saattoivat liittyä osaltaan tavalliseen huonepölyyn, jota puhdistimien (P1, P3) sham-tilassakin paikallaan olleet karkeat eissuodatimet poistivat. Puhdistimallien vertailussa vain elektrostaattiseen hukkasten poistoon perustuva puhdistin (P2) oli oireiden suhteen ON-tilassa tehokkaampi kuin sham-toinnolla.

Yhteenvetona todetaan, että huoneilman puhdistimet voivat vähentää altistumista sisäilman epäpuhtauksille koululuokissa ja toimia tilapäisenä helpotuskeinoena kotiausta odotavissa rakennuksissa. Puhdistimien käyttö suunnitellaessa olisi otettava huomioon laitteen testattu hukkasten suodatustehoisuus ja mahdollinen kaasumaisten yhdisteiden poisto sekä laitteen optimaalinen käyttötieto ja tarvittavien laiteyksiköiden määrä luokkaa kohti.

LÄHDELUETTELO

1. Yle Uutiset (2016) Homekoulukone. <http://yle.fi/uutiset/3-8946781>.
2. Valkonen, M., Täubel, M., Jalkanen, K., Vepsäläinen, A. ja Hyvärinen, A. (2016) qPCR-menetelmän validointi ilmanäytteille. Sisäilmastoseminaari 2016, SIY Raportti 34, s. 279-282.
3. Hangland, R.A., Varma, M., Wymner, L.J., Vesper, S.J. (2004) Quantitative PCR analysis of selected Aspergillus, Penicillium and Paecilomyces species. Syst Appl Microbiol. 27(2):198-210.
4. Asunusterveysasetus. (2015) Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Asetus 545/2015.
5. Meklin, T. (2002) Koulurakennusten kosteusvaurioiden ja niiden korjaamisen vaikutus mikrobitasutukseen ja koululaisten terveyteen. Ympäristö ja terveys, Vol. 33 (10), s. 49-52.

SISÄILMASTOSEMINAARI

2017

Messukeskus, Helsinki
15.3.2017

Sisäilmäyhdistys ry

Puheenjohtaja prof. Risto Kosonen
Toiminnanjohtaja dipl.ins. Jorma Säteri

Sisäilmäseminaarin ohjausryhmä 2017:

Heidi Salonen, puheenjohtaja
Anne Hyvärinen
Helena Järnström
Paavo Kero
Risto Kosonen
Marjaana Lahtinen
Sami Niemi
Pertti Pasanen
Juha Pekkanen
Anna-Mari Pessi
Jorma Säteri
Marianna Tuomainen
Mika Vuolle

Sisäilmäyhdistys raportti 35

SISÄILMASTOSEMINAARI 2017
Jorma Säteri ja Mervi Ahola (Toim.)

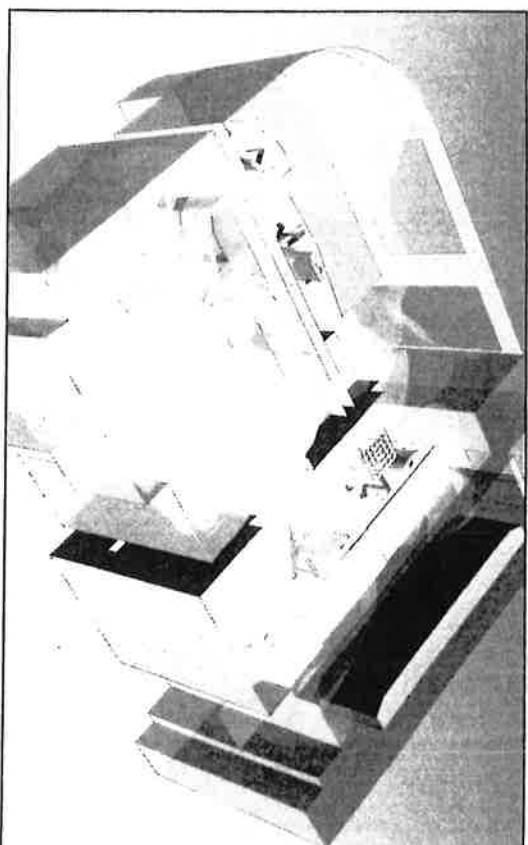
Kannen kuva Pekka Saarinen

SIY Sisäilmätieto Oy

ISSN 1237-1866

ISBN 978-952-5236-45-3

Painopaikka Bookwell Oy, Juva 2017



Sisäilmäyhdistys ry
Aalto-yliopisto, Energiatekniikan laitos