

Riittääkö painovoimainen ilmanvaihto?

Ihminen viettää suurimman osan elämästään sisällä. Peräti 90 % ajastamme kuluu rakennuksissa ja 70 % asunnoissa. Siksi ilman laatua näissä tiloissa on tarkasteltava paitsi mukavuuden ja viihtyvyyden myös vakavasti pitkäaikaisten terveysvaikutusten kannalta. Kun muuttuneessa energiatilanteessa rakenteiden eristystä lisätään, höyrytiivyyttä parannetaan ja samanaikaisesti uusia rakennus- ja pintamateriaaleja tuodaan markkinoille, on aiheellista tarkastella, miten totutut ilmanvaihtoratkaisut, erityisesti painovoimainen ilmanvaihto, mukautuvat kehitykseen.

Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän käyttövoimana ovat tuuli sekä sisä- ja ulkoilman lämpötilaerosta johtuva savupiippuvaikutus. Tyynellä ja lämpimällä säällä painovoimainen ilmanvaihto ei juuri toimi. Ilmanvaihtoa on tehostettava silloin ikkunatuuletuksella. Talvella tuulella ja pakkasella painovoimaisuus vaihtaa ilmaa liiankin tehokkaasti, jos ilmanvaihtouukkoja ei säädetä pienemmälle.

Painovoimainen ilmanvaihto vaatii jatkuvaa tarkkailua ja säätämistä. Kuinka hyvin tässä onnistutaan, riippuu käyttäjän aktiivisuudesta ja taidoista. Jos säätäminen on puutteellista, ilmanvaihtomäärissä esiintyy toisinaan vajuusta ja toisinaan lämmitysenergiaa tuhlaavaa runsautta.

Ilmanvaihdossa ei päästä niin helpolla kuin esimerkiksi sähköpuolella. Sähköasennuksissa on perinteisesti saatu pelkkää kiitosta, jos tehoa varataan riittävä-

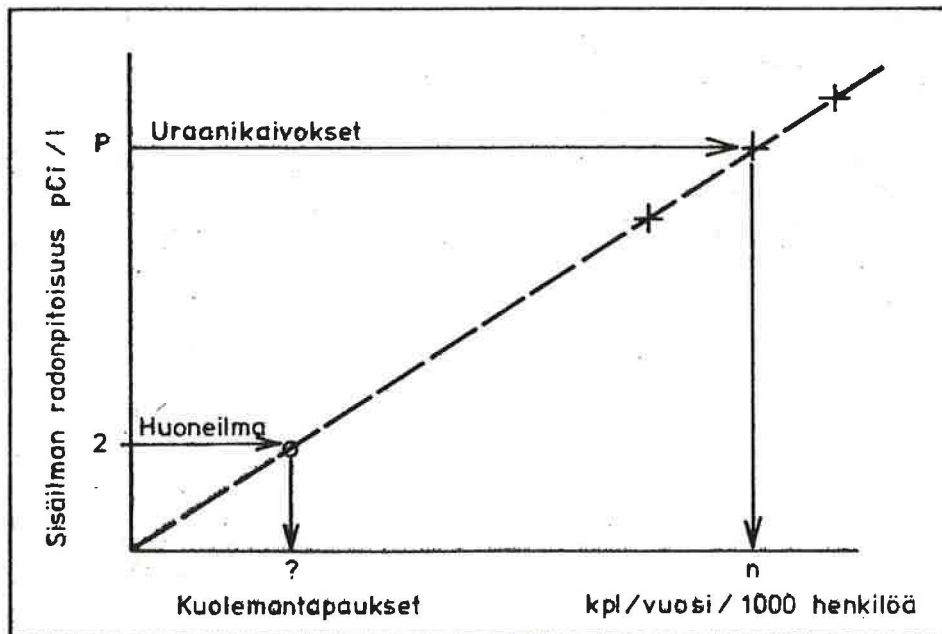
sti. Ja sähkönkulutusta ei ole tarvinnut laskea, ei ole edes kehitetty kaavoja sen laskemiseksi. Ilmanvaihdossa on totuttu aina olemaan "nuuka" ja kulutusta on laskettu jo kolmekymmentä vuotta aste-päiväluvuilla.

Ilmanvaihdossa ei ole voitu mennä varaamaan riittävää koneellista tehoa ja antaa käyttäjälle nappulat sen säätämiseksi, jos luonnonvoimat tulevat ilmanvaihdon avuksi. Huonosta ilmanvaihdosta ei näet aiheudu välitöntä vaaraa tai toiminnan katkeamista, kuten heikoissa valaistusoloissa saattaa käydä. Koska ilmanvaihdon pitkäaikaisia terveydellisiä vaikutuksia ei ole tunnettu ja tutkittu, hetkellisen mukavuuden tarpeet ovat sanelleet ilmanvaihtomäärät.

Viimeaikainen kehitys muovaa epäilemättä sähkön- ja ilmankäytön tottumuksia. Sähkönkulutustakin aletaan seurata ja ilmanvaihto pohjautuu yhä useammin oletettuihin pienten epäpuhtauspitoisuuksien pitkäaikaisiin terveyshaittoihin (kuva 1).

Esille nousee joukko kysymyksiä:

- Voidaanko painovoimaisella ilmanvaihdolla täyttää nykyiset (1980-luvun) hygieniavaatimukset?
- Voidaanko ilmanvaihdon säätely säilyttää käyttäjien tehtäväksi?
- Jos uudisrakennustuotannossa painovoimainen ilmanvaihto katsotaan riittämättömäksi, tuleeko silloin myös vanhat rakennukset saneerata paremman standardin saavuttamiseksi?



Kuva 1. Ilmanvaihtotarpeen peruskysymys: toteutuuko lineaarisuusolettaus eli aiheuttavatko pienet pitoisuudet tautitapauksia suhteessa suurten pitoisuuksien aiheuttamiin tunnettuihin sairastavuuslukuihin?

Nykytilanne mittausten valossa

Rakennuksia on tehty sekä painovoimaisella että koneellisella ilmanvaihdolla. Ilmanvaihtolaitosten perusasetus on heikko usein alusta alkaen ja yleensä siihen ei kosketa vuosien kuluessa lainkaan. Osa ilmanvaihtoventtiileistä luonnollisesti muuttua asentoon käyttäjien toimesta ja ties mistä syystä. Rakennuksen ilmanvaihtoa ja varsinkin sen jakautumista huoneittain ei juuri tunneta. Vuotoilman olemassaolo tiedetään, mutta kokonaisilmanvaihto jää aina tuntemattomaksi.

Ns. hallitun ilmanvaihdon mittaaminen on mahdollista tunnetuilla mitta-

Talo	Tilavuus m ³	Ilmanvaihto/h	m ³ /h	l/s	Ulkolämpötila °C	Tuuli m/s
1	256	0,21	54	15,0	-6,8	W 2
2	256	0,45	115	31,9	-6,8	W 2
3	280	0,41	115	31,9	-6,8	W 2
4	280	0,28 ¹⁾	78	21,7	-13,4	W 1
5	256	0,34	87	24,2	-9,0	W 1
6	256	0,27	69	19,2	-11,6	NNW 2
7	280	0,28	78	21,7	+0,4	W 4
8	256	0,39	100	27,8	-9,0	W 1
9	256	0,28	72	20,0	+0,4	W 4

¹⁾ Makuuhuone 0,22 l/h.

Taulukko 1. Kokonaisilmanvaihto vuosina 1974—75 rakennetuissa omakotitaloissa. Taloissa on painovoimainen ilmanvaihto ja liesituuletin. Keskiarvo = 0,32 l/h, keskihajonta S = 0,07.

Tilavuus m ³	Ilmanvaihto/h	m ³ /h	l/s	Ulkolämpötila °C	Tuuli m/s
322	0,18	58	16,1	+16,2	N 6
322	0,21	68	18,8	+16,2	N 6
322	0,29	93	25,9	+19,0	NNO 4
322	0,18	58	16,1	+14,0	N 9
322	0,28	90	25,0	+17,2	V 3
322	0,23	74	20,6	+17,2	V 3

Taulukko 3. Ilmanvaihto taloryhmässä 1. Keskiarvo = 0,23 l/h, S = 0,048.

Tilavuus m ³	Ilmanvaihto/h	m ³ /h	l/s	Ulkolämpötila °C	Tuuli m/s
219	0,41	90	25,0	+21,2	N 2—3,6
219	0,58	127	35,3	+20,6	NO 0—3
219	0,41	90	25,0	+22,2	N 1—2

Taulukko 5. Ilmanvaihto taloryhmässä 3. Keskiarvo = 0,47 l/h, S = 0,098.

laitteilla, joskin epätarkkaa. Kokonaisilmanvaihdosta saadaan karkea arvio jälkiainemittausten tai painekokeiden avulla. Yleensä mittaustulos edustaa vain senhetkistä ilmanvaihtoa, joka on laajennettavissa muihin olosuhteisiin vain laskennallisesti.

Rakennusten ilmapuotoja ja kokonaisilmanvaihtoa ei tunneta riittävästi. Kirjallisuudessa esiintyy ilmanvaihtokertoimelle vaihtelevia arvoja väliltä 0,1—2,0 l/h. Rakennuksen iällä, tyypillä, sijainnilla, ilmanvaihtoratkaisuilla jne. on huomattava merkitys ilmanvaihtuvuuteen. Mittaustapojen ja olosuhteiden erilaisuudesta johtuen eri tutkimusten keskinäinen vertailu on vaikeaa.

Suomessa arviot asuinrakennusten ilmanvaihdosta olivat luokkaa 0,5—0,7 l/h /1/ noin vuoteen 1975 saakka. Sen jälkeen asiasta on keskusteltu varsinkin uudistuotannon osalta ja tehty teoreettisia laskelmia, mutta systemaattiset mittaukset puuttuvat vielä.

Talo	Tilavuus m ³	Ilmanvaihto/h	m ³ /h	l/s	Ulkolämpötila °C	Tuuli m/s
10	281	0,13	27	10,1	-3,6	WSW 2
11	281	0,19	53	14,8	-2,4	SW 4
12	281	0,10	28	7,8	-2,4	SW 4
13	281	0,20	56	15,6	-2,4	SW 4
14	298	0,23	69	19,0	-1,3	SSW 7
15	281	0,15	42	11,7	-3,7	WNW 2
16	281	0,20	56	15,6	-2,2	WSW 9
17	281	0,22	62	17,2	-1,3	SSW 7
18	281	0,23 ¹⁾	65	18,0	-1,3	SSW 7

¹⁾ Makuuhuone 0,17 l/h. Liesituulettimen puoliteholla 0,5 l/h.

Taulukko 2. Kokonaisilmanvaihto vuonna 1974 rakennetuissa omakotitaloissa. Taloissa on painovoimainen ilmanvaihto ja liesituuletin. Keskiarvo = 0,18 l/h, S = 0,04.

Tilavuus m ³	Ilmanvaihto/h	m ³ /h	l/s	Ulkolämpötila °C	Tuuli m/s
412	0,23	95	26,3	+16,5	N 8
412	0,23	95	26,3	+19,0	NNO 4
412	0,22	91	25,2	+14,0	N 9
412	0,17	70	19,5	+25,0	VSV 2
412	0,24	99	27,5	+24,0	VSV 2

Taulukko 4. Ilmanvaihto taloryhmässä 2. Keskiarvo = 0,22 l/h, S = 0,028.

Tilavuus m ³	Ilmanvaihto/h	m ³ /h	l/s	Ulkolämpötila °C	Tuuli m/s
322	0,22	71	19,7	+12,5	NNV 2—5
322	0,15	48	13,4	+13,0	SO 0—2
322	0,29	93	25,9	+9,0	N 1—2
322	0,16	52	14,3	+7,5	NNV 2—3
322	0,34	110	30,4	+15,0	NNV 0—1
322	0,28	90	25,0	+10,0	V 0—1,5
322	0,18	58	16,1	+12,0	V 1—2
322	0,13	42	11,6	+8,5	ONO 0—1,5
322	0,23	74	20,6	+10,0	ONO 0—1,5

Taulukko 6. Ilmanvaihto taloryhmässä 4, keskiarvo 0,22 l/h, S = 0,072.

Ruotsissa arvioitiin painovoimaisesti tuuletettujen pientalojen kokonaisilmanvaihdoksi aikoinaan myös 0,5—0,7 l/h (Höglund, Elmroth 1973). Ensimmäisissä laajemmista vuotoilmamittauksissa saatiin vuotoilmavaihdoksi suljetuilla venttiileillä 0,09—0,50 l/h rakennustyyppin ja eristystavan mukaan vaihdellen /2/, /3/, /4/, Myöhemmissä mittauksissa /5/ saadaan kokonaisilmanvaihdoksi painovoimaisissa laitoissa huomattavan alhaisia lukemia, taulukot 1 ja 2.

Koneellisella poistolla varustetuissa taloissa mitatut vastaavat lukemat on esitetty taulukoissa 3—7. Mittauksissa poistopuhallin pyöri pienimmällä mahdollisella kierrosluvulla eli ns. perusilmanvaihdolla.

Tanskalaisten mittausten /6/ mukaan ilman epäpuhtauksien pitoisuus on uusissa asunnoissa oleellisesti suurempi kuin vanhoissa ja sisällä suurempi kuin ulkona. Ilmanvaihtokertoimet vaihtelivat mitatuissa kohteissa välillä 0,3—1,3 l/h.

Voidaan olettaa, että Suomessa rakentaminen noudattaa samoja kehityslinjoja kuin muissakin pohjoismaissa. Paksummat lämpöeristeet, ikkunoiden tiivistäminen ja teipatut höyrynsulut yms. johtavat siihen, että taloista tulee entistä tiiviimpiä ja talojen painovoimainen ilmanvaihto jää entistä vähäisemmäksi, usein alle rakentamismääräyskokoelman minimirajan 0,5 vaihtoa tunnissa.

Tilavuus m ³	Ilman- vaihto/h	m ³ /h	l/s	Ulkolämpö- tila °C	Tuuli m/s
412	0,17	70	19,5	+12,5	V 0—1
412	0,14	58	16,0	+12,5	NO 0—0,5
412	0,20	82	22,9	+13,4	N 1—5
412	0,18	74	20,6	+14,5	N 2—5
412	0,23	95	26,3	+9,0	NNV 1—3
412	0,18	74	20,6	+13,8	S 0—2
412	0,12	49	13,7	+11,0	NNV 1,5—2

Taulukko 7. Ilmanvaihto taloryhmässä 5, keskiarvo = 0,17 l/h, S = 0,036.

Tiivysaste	k1	k2	Z
Huono	$2,53 \cdot 10^{-2}$	$17,7 \cdot 10^{-2}$	1,75
Välttävä (DIN 4709)	$1,62 \cdot 10^{-2}$	$9,85 \cdot 10^{-2}$	1,75
Tyydyttävä	$7,8 \cdot 10^{-3}$	$4,46 \cdot 10^{-2}$	1,58
Hyvä	$3,64 \cdot 10^{-3}$	$2,40 \cdot 10^{-2}$	1,49

Taulukko 8.

Teoriat avuksi

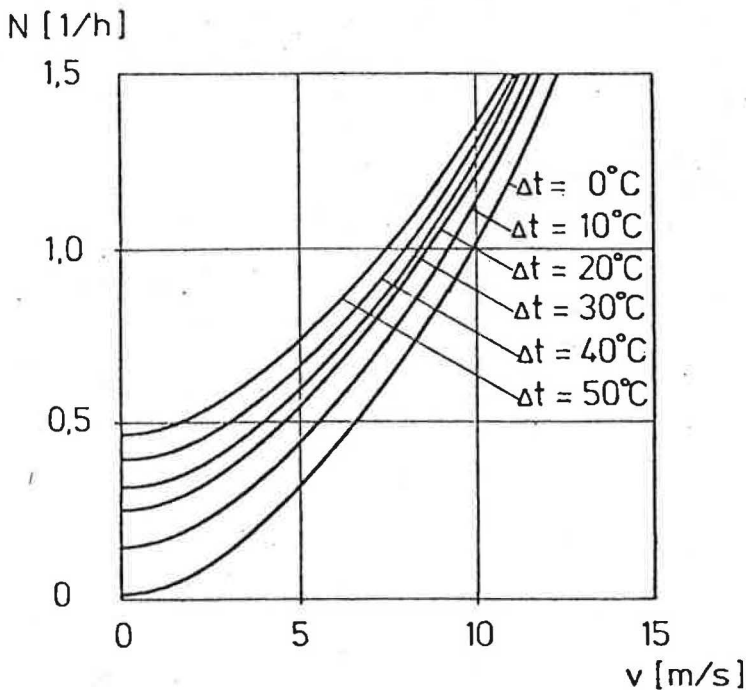
Mittaukset edustavat vain senhetkistä tilannetta. Koko vuoden keskimääräisen ilmanvaihtokertoimen määrittäminen voidaan tehdä useiden mittaustulosten muodostamasta lähtöarvojoukosta regressioanalyysillä. Myös rakovuotoyhtälöstä lähtevän teorian avulla voidaan tehdä samoja tarkasteluja. Vaikeutena on kuitenkin rakennuksen vuotoja oikein kuvaavien lähtöarvojen löytäminen.

Elmroth & Höglund kehittivät aikoinaan /7/ jälkiaiinemittausten pohjalta pientalojen painovoimaiselle ilmanvaihdolle funktion:

$$n = 0,15 + 0,012 \Delta T + 0,077 \times W \quad (1)$$

jossa

n = ilmanvaihtokerroin, l/h
 Δt = sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero, °C
W = tuulen nopeus, m/s



Kuva 2. Ilmanvaihtokerroin tiivysasteella huono.

Suomessa Enbom /8/ on kehittänyt pientalojen painovoimaiselle ilmanvaihdolle eksponenttifunktion.

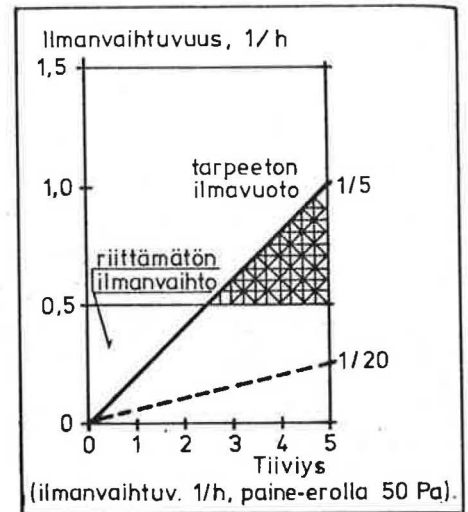
$$n = k_1 \cdot \Delta t^{0,75} + k_2 (\beta \times \frac{(124 + Tu/2)}{Ts} \times W)^Z \quad (2)$$

jossa kertoimet k_1 , k_2 ja Z saadaan taulukosta 8.

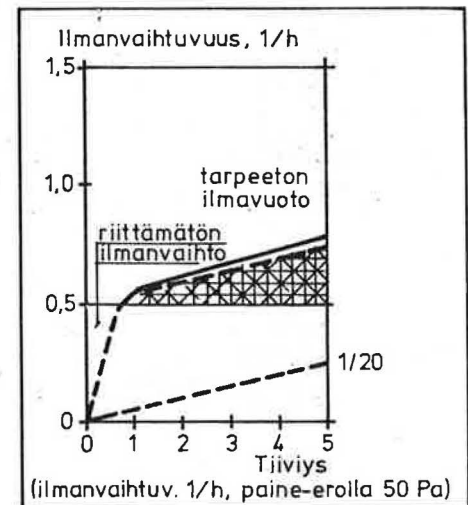
Ympäristön tuulisuuskerroin β vaihtelee maaston mukaan välillä 0,19—0,37 (avoin—suojainen).

Kuvassa 2 on esitetty kaavalla (2) laskettu ilmanvaihtokerroin eri tuulennopeuksilla tiivysluokassa: "huono".

Lindskougin laskelmien mukaan /9/ painovoimaisen pientalon kokonaisilmanvaihto on keskimäärin vuodessa noin 1/5 koepaineella 50 Pa aiheuttamasta vuodosta. Aiemmassa kirjallisuudessa esiintyvien tietojen pohjalta saadaan normaalin kokonaisilmanvaihdon ja koepaineilmavuodon suhteeksi 1:20.



Kuva 3. Pientalon painovoimainen ilmanvaihto.



Kuva 4. Pientalon koneellinen ilmanvaihto.

Kuvassa 3 nähdään vuoden keskimääräisen ilmanvaihtomäärän riippuvuus koepaineella 50 Pa saatavasta vuodosta. Vaaka-akselilla oleva tiivyslukema (0—5) osoittaa suoraan koepaineella vallitsevan vuotokertoimen. Viivoitettu alue osoittaa ilmanvaihtomääräysten mukaisen rajan 0,5 l/h ylittävän keskimääräisen vuotuisen ilmanvaihdon. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa pientalon tiivyyden tulisi olla kuvan mukaan täsmälleen 2,5 (2,5 vaihtoa tunnissa koepaineella).

paineella 50 Pa), jotta ilmanvaihto olisi tarkoituksenmukainen. Tällöinkin ke-
sällä ilmanvaihdossa olisi ilmeisesti va-
jausta sekä ikkunatuuletuksen tarvetta
ja talvella ylimääräistä tehokkuutta ja
lämmöntuhlausta.

Koneellisessa poistossa on suurempi
ilmanvaihdon käyttövoima kuin paino-
voimaisessa ja toimintalinjatkin poik-
keavat, kuva 4. Kuvan mukaan talo saa
olla nyt tiiviimpi, 1—2 vaihtoa tunnissa
koepaineella 50 Pa. Riittävät korvaus-
ilma-aukot tuloilmalle on toki järjestet-
tävä, muuten talo tulisi tehdä tiiviiksi.

Lopuksi

Nykyaikaiset pientalot ovat mitrausten
mukaan jo varsin tiiviitä. Painovoimai-
nen ilmanvaihto jää niissä huomattavan
usein tasolle 0,2—0,3 vaihtoa tunnissa
eli selvästi alle Suomessa ja Ruotsissa ra-
kentamismääräyksissä annetun rajan 0,5
l/h. Tästä alituksesta aiheutuu epätyy-
dyttävää ilman laatua asuntoihin.

Radon, jonka mukaan minimitaso on
valittu, ei ole yksin haittatekijänä. Tans-
kalaisissa mittauksissa /10/ on huoneil-
masta löydetty jopa 75 erilaista raken-
nusmateriaaleista peräisin olevaa ainet-
ta. Näistä yleisimpiä olivat tolueneeni, n-
decane, 3-xyleeni, n-undecane ja 1.24
TMB.

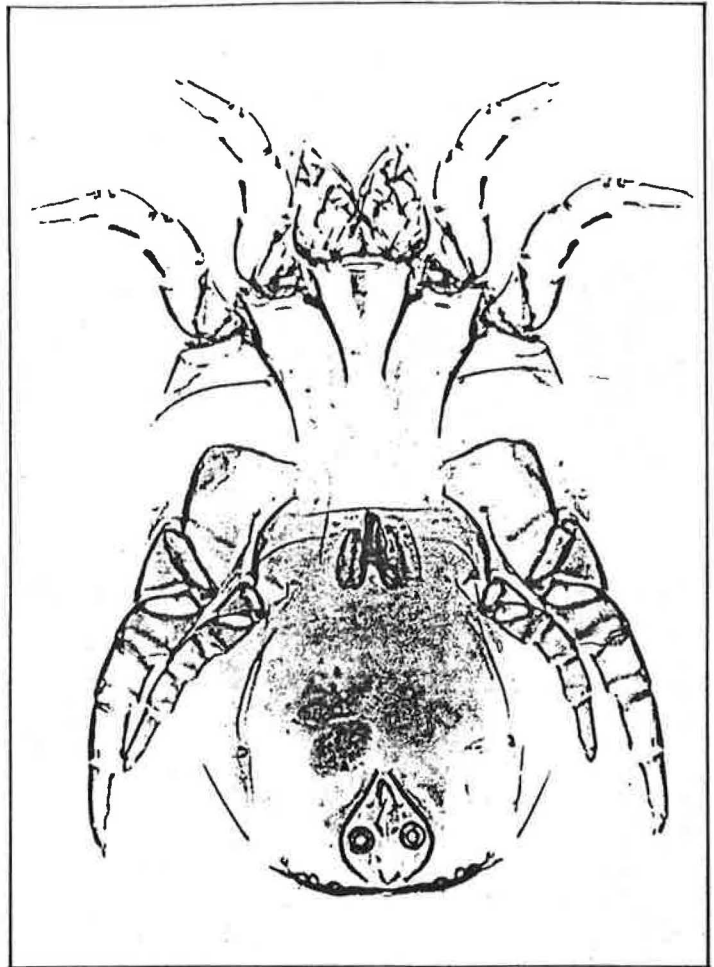
Aineiden biologisia vaikutuksia ei tie-
detä. Mittauksissa havaittiin kotipölyn
sisältävän runsaasti allergisoivia aineita.
Näistä merkittävimpinä pidettiin pöly-
punkkien (*Dermatophagoides pteronyssi-*
sina) suurta määrää. Kaikista tutkituista
kohteista löydettiin punkkeja ja eniten
vuodevaatteista eli noin 150 kpl/g pölyä
(kuva 5).

Näyttää siltä, että energiansäästö-
myötä pienentyvät ilmavirrat tuovat
mukanaan paljon uusia epäpuhtauksia
ja epämukavuuksia. Hajuhaitat eivät
ehkä olekaan ilmanvaihdon lopullisesti
mitoittava tekijä, vaan pitkäaikaisesti
vaikuttavat ja toistaiseksi vähän tunnet-
ut epäpuhtaudet. Kun ASHRAEn
energiastandardi 90—75 suosittelee il-
mavirtojen alentamista 30 %:lla (Fun-
damentals 77:sta), tämän todetaan ai-
heuttavan 43 %:n nousun epäpuhtauk-
sien pitoisuuksissa ja 20 %:n nousun
hajujen voimakkuudessa /11/.

Nykyisten ilmanvaihdon raja-arvojen
saavuttaminen painovoimaisella ilman-
vaihdolla on vaikeaa uusissa tiiviissä ta-
loissa. Jos 80-luvun hygieniakäsitykset
korottavat määräysten mukaisia ilmavir-
toja, painovoimaisen ilmanvaihdon li-
sääminen ei ole helppoa, mutta koneel-
lisessa siihen olisi mahdollisuuksia.

Myös koneellisessa poistossa perusil-
manvaihto jää usein alle vaatimustason.
Tämä on korjattavissa tuotekehittelyllä
ja käyttäjien opastuksella. Laitteet on
kehitettävä jäätymisvarmoiksi, melutto-
miksi, vetoa aiheuttamattomiksi ja niitä
on käytettävä oikein.

Herää kysymys, onko meillä varaa ja



Kuva 5. Huonepölypunkki, *Dermatophagoides pteronyssinus* (koiras
285 kertaa suurennettuna).

syötä jättää käyttämättä täysin koneelli-
sen ilmanvaihdon tarjoamat potentiaali-
set parannusmahdollisuudet:

- riittävä ilmanvaihto kaikissa olo-
suhteissa,
- kohtuullinen "yli-ilmanvaihto"
talviolosuhteissa,
- vedoton ilman sisääntuonti,
- energian säästö lämmön talteen-
otolla 30—40 %,
- tasainen ilman laatu joka huonees-
sa,
- toivottu ilman virtaussuunta kaikis-
sa käyttötilanteissa,
- ilman suodatus,
- aurinkoenergian helppo käyttöön-
otto talon lämmitykseen.

Lähdeviitteet:

- /1/ Aittomäki A., Seppänen O.: Rakennus-
ten lämmitys-, ilmanvaihto- ja lämpimän
käyttöveden laitteiden energiatalous. Esitut-
kimus. VTT/Lämpötekniikan laboratorio,
Tiedonanto 18. Otaniemi 1973.
- /2/ Lindqvist T.: Spärgasmätningar av 9
Modulenthus i Göteborgstrakten. Rapport
1976:8. Chalmers tekniska högskola, avdeln.
för byggnadskonstruktion. Göteborg 1976.
- /3/ Lindqvist T.: Spärgasmätningar av 6
småhus med Jurator mekaniskt frånluftssys-

tem. Rapport 1976:9. Chalmers tekniska
högskola, avdeln. för byggnadskonstruktion.
Göteborg 1976.

/4/ Lindqvist T.: Spärgasmätningar av 8
Modulenthus i Göteborgstrakten. Rapport
1976:10. Chalmers tekniska högskola, av-
deln. för byggnadskonstruktion. Göteborg
1976.

/5/ Erikson B., Håkansson B., Löfstedt B.,
Swedjemark G.: Ventilationskrav i en och
flerfamiljshus. Meddelande från SIB
17:1976.

/6/ Mølhav L., Møller J.: The atmospheric
environment in modern Danish dwellings-
measurements in 39 flats. University of Aar-
hus, Denmark. International Indoor Climate
Symposium. Copenhagen 1978.

/7/ Elmroth A., Höglund I.: Analys av ofri-
villig ventilation i småhus. VVS 2, 1970.

/8/ EKONO Oy: Vuotoilmatutkimus. SIT-
RA. Rakennusten lämpötaloustutkimus.
Helsinki 1976.

/9/ Lindskou N-E.: Ventilation och luft-
läckning i olika typen av byggnader. VVS 9,
1977.

/10/ Mølhav L.: Indoor air pollution due
to building materials. University of Aarhus,
Denmark. International Indoor Climate
Symposium. Copenhagen 1978.

/11/ Cain W.: Interactions among odours,
environmental factors, and ventilation. John
Pierce Foundation Laboratory, New Haven
USA. International Indoor Climate Sympo-
sium, Copenhagen 1978.