

Rakennusten tiiviyyden vaikutus ilmanvaihtoon ja sen energiankulutukseen

Rakennusten lämmitysenergian tarpeesta on ilmanvaihdon osuus noin puolet. Yleisen käsityksen mukaan rakennuksissa vallitsee tarpeettoman suuri ilmanvaihto, johon pääsyyllisenä pidetään ulkovaipan, lähinnä ovien ja ikkunoiden, epätiiviyttä. Kuitenkin lähes koko rakennuskannassa on tarvittava tuloilma otettava sisään juuri ulkovaipan epätiiviytskohtien kautta.

Tiiviyyden vaikutusalueet

Tiiviyyden ja ilmavuotojen vaikutukset ovat laajat:

— Ilmanvaihto: jollei ilmaa puhalleta sisään koneellisesti, on se tuotava sisään ulkovaipan epätiiviytskohtien kautta, mikä sopivien korvausilmareittien avulla on mahdollista toteuttaa hallitusti. (Ilmanvaihtosuunnittelussa ei ulkovaippaa ole otettu huomioon juuri ollenkaan, ilma on saanut tulla mistä tahansa.)

— Viihtyisyys: runkeutuessaan oleskeluvyöhykkeelle kylmä vuotovirtaus voi aiheuttaa huomattavaa vedon tunnetta.

— Painesuhteet: hatarat rakenteet aiheuttavat tuulisella säällä vuotoa rakennuksen läpi; virtaukset ulospäin voivat aiheuttaa kosteushaittoja. Hyvin tiiviissä rakennuksissa taas esim. ovien avaaminen vaikeutuu suurten paine-erojen vuoksi.

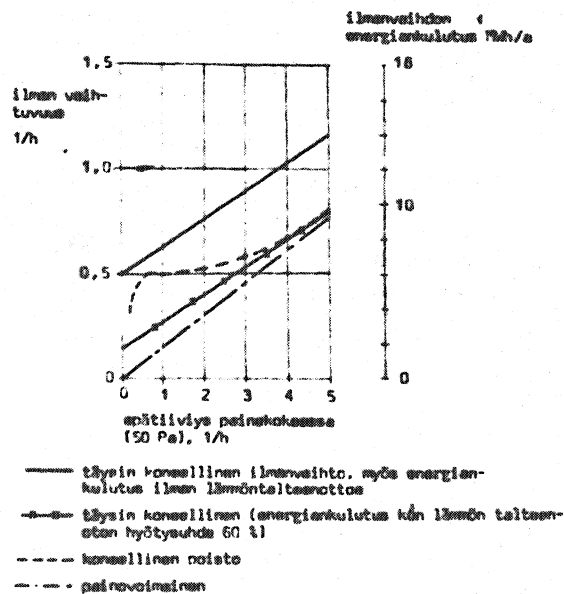
— Lämmön talteenotto: kaikki ilmavuodot heikentävät koneellisen lämmön talteenoton kokonaishyötysuhdetta; vuodot voivat kuitenkin ottaa talteen seinämien läpi johtamalla poistuvaa lämpöä.

— Energiatalous: jos asuinrakennuskannan ilmanvaihtuvuus pienee määrällä 0,1/h, on vuotuinen energiansäästöpotentiaali on arvioitu paljon suuremmaksi, jopa luokkaa

0,5–1/h ylimääräistä ilmanvaihtoa voi esiintyä /1/.

— Lämmitysjärjestelmä: satunnaisesti jakautuvat ilmavuodot aiheuttavat suuren hajonnan eri huoneistojen ja huoneitilojen lämmönkulutuksessa ja lämmitysjärjestelmän tasapainous vaikeutuu.

— Välilliset energiavaikutukset: vedon tunne aiheuttaa sisälämpötilan nostamisen tarvetta. Lämmitysverkosto jätetään usein tasapainotta-



Kuva 1. Tiiviyyden vaikutus ilmanvaihtuvuuteen, edellä pienitalotyyppille tehdyt laskelmat.

matta, ja tällöin aiheutuu tarpeeton energiankulutusta lämmitettäessä kylmimmän (= hatarimman) huoneiston mukaan.

Tasällistä tietoa tiiviyden merkityksestä tai olemassaolevan rakennuksen tiivistämisen vaikutuksista ja kannattavuudesta ei tällä hetkellä voida antaa. Hatarista rakenteista ja luallisesta ilmanvaihdosta aiheutuva energianhukka on sitä luokkaa, että ongelmien perusteellisen selvittämisen uskoisi kannattavan. Aktiivista tutkimustyötä on suoritettu Suomessa SITRAn lämpöaloustutkimuksen yhteydessä ja Ruotsissa Bygghörsningsrådetin rahoituksella; molemmilla tahoilla on todettu tehty työ vasta esiselvityksen luonteiseksi.

Tiiviyden ja ilmanvaihtuvuus eri ilmanvaihtojärjestelmissä

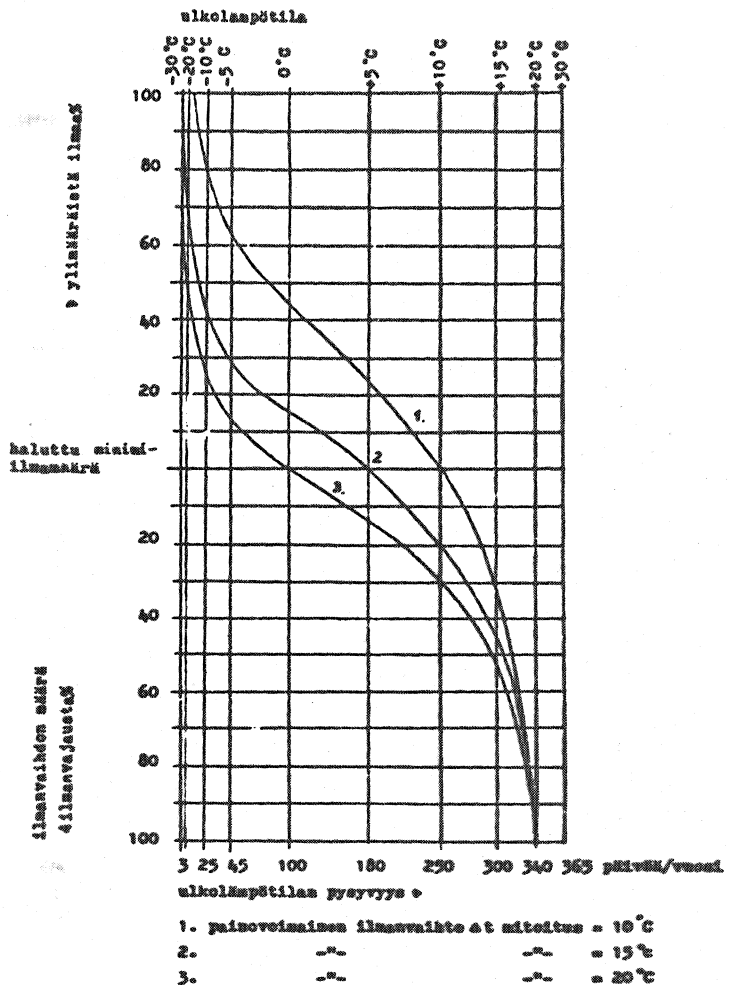
Laskennallinen arvio pientalon tiiviyden vaikutuksesta ilmanvaihtuvuuteen /2/ on antanut kuvan 1 mukaisia tuloksia. "Epätiiviyden" tarkoittaa tässä rakennuksen ilmanvaihtuvuutta sisä- ja ulkoilman paine-erolla 50 Pa, kun ilmanvaihtoaukot ovat suljetut. Koneellisen poiston järjestelmä havaitaan selvästi stabiileimmaksi. Laskenta antaa vain keskimääräisiä sääolosuhteita vastaavan ilmanvaihtuvuuden; kuvassa 2 on esitetty eräs arvio painovoimaisen järjestelmän ilmanvaihtuvuuden pysyvyydestä eri vuodenaikoina /3/.

Epätiiviyden ja ilmanvaihtuvuuden välistä yhteyttä on yritetty koekäytännöllisesti selvittää, saatu aineisto on kuitenkin suppeaa ja erittäin ristiriitaista /4/ luotettavien normioitujen koemenetelmien puuttuessa. Eräitä tuloksia ja vertailu laskelmiin on esitetty kuvassa 3. Kaikkiin rakennuksiin pätevää suhdetta ei luonnollisestikaan voida löytää, koska vuotoreittien laatu, määrä ja jakautuma voi olla mikä tahansa ja vaihtelee ajallisesti rakenteiden "eläessä" ja koska virtausten tiikkeellepaneelien voimien (tuuli, lämpötilaerot) vaikutus riippuu mm. rakennuksen sijainnista ja muodosta. Jonkinlaisen keskiarvon tunteminen on kuitenkin tärkeää yleisten tiiviyden vaatimusten asettamista silmälläpitäen.

Ilmavuotojen vaikutus viihtyisyyteen

Epätiiviyden kohdasta purkautuva kylmä vuotovirtaus tunkeutuu usein melkoisella nopeudella oleskeluvähykkeelle asti, ja aiheuttaa tällöin vedon tunnetta.

Ahtailla raoilla, korkeus < 1 mm



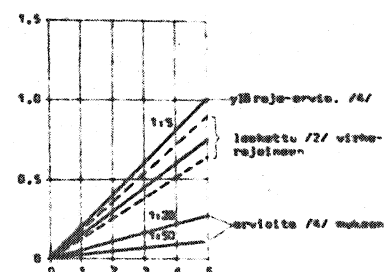
Kuva 2. Ilmanvaihtuvuus painovoimaisen ilmanvaihdon osittamiseksi, mitoitettujen parametreinä.

suoritetut alustavat mittaukset /5/ osoittavat jo varsin selvästi, että myös paikalliselle tiiviydelle on asetettava melko tiukat vaatimukset. Lattian rajasta purkautuvat vuotovirtaukset ovat kriittisimmät, sallittu vuoto on luokkaa 1-3 m³/h saumametriä kohden. Ikkunan yläreunasta voidaan sallia n. 5 m³/h virtaus; tälläkään ei pystytä täysin tyydyttämään huoneen ilmanvaihdon tarvetta. Koska virtauksen heittopituus riippuu olennaisesti lähtönopeudesta, ovat väljät raot ja aukot tässä suhteessa turvallisempia.

Korvausilman hallittu sisäänotto

Korvausilman sisäänotto ulkovaipan kautta on tiedostettava osaksi ilmanvaihtojärjestelmäkokoaisuutta. Sa-

moin kuin muun ulkovaipan (seinät, ik'inat, liitossaumat) tiiviyden, on myös korvausilmareittien ilmavirrat ja paine-erot tunnettava. Korvausil-



Kuva 3. Painekokeella mitatun epätiiviyden ja todellisen ilmanvaihtuvuuden välinen yhteys, eri arvioiden ja vertailulaskelmien mukaan. Pientalo, painovoimainen ilmanvaihto.

mareitit on mitoitettava siten, että

- ulkoisten olosuhteiden vaikutus ei nou. merkittäväksi;
- mekaaniset rasitukset eivät nouse merkittäväksi (esim. yli 40 Pa paine-ero vaikeuttaa oven tai ikkunan avattavuutta);
- ilma saadaan sisään vedottomasti;
- meluhaittoja ei esiinny.

Mahdollisia lisäkehittämisen arvioita korvausilmareittejä ovat

- ratkaisilmaikkuna;
- vakiovirtausventtiilit; asennus esim. lämmityspatterin taakse;
- huokoinen tasaisesti vuotava seinä.

Rakennustekniikan taso

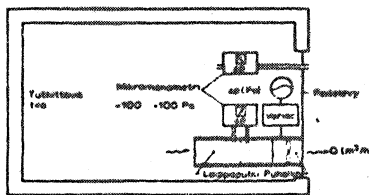
Puhuttaessa korvausilma-aukoista herää aina kysymys, eikö ulkovaippa muutenkin vuoda sen verran, että sieltä saadaan sopivasti ilma sisään. Jo edellä esitety perusteella (veto) voidaan vuotojen satunnaisuus todeta haitalliseksi. Lisäksi tällä hetkellä on rakennusteknisesti mahdotonta toteuttaa "sopivan epätiivistä rakennusta" /6/, /7/.

Rakennusvirheistä aiheutuva epätiivisyys on usein haitallista huokkaa; huolimattoman rakennustavan myötä ovat kriittiset alanurkka- ja lattiarajavuodot lisääntyneet. Puurakennusten ohella vuoto-ongelmia esiintyy runsaasti myös kivirakenteisissa elementtitaloissa. Puurakenteisen pientalon "epätiivisyys" (vuoto 50 Pa paine-erolla) on huolellisestikin rakennettaessa 0,6—0,8/h /7/, mikä aiheuttaa 0,05—0,1/h huokkaa olevan ylimääräisen ilmanvaihtuvuuden. Eräissä hiljattain suoritettussa kenttäkoeksarjassa /12/ olivat "epätiivyydet" kuudessa 1970-luvulla rakennetussa pientalossa 3,5—13/h.

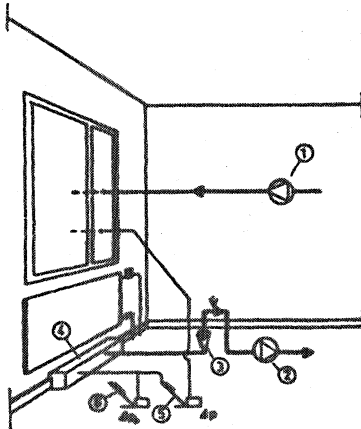
Tiivyyden ja ilmanvaihtuvuuden toteaminen

Kuten esim. ilmanvaihtolaitoksen ilmamäärät, on myös rakennuksen ulkovaipan vuodot voitava kokeellisesti todeta vastaanottotarkastuksissa ja myös tarvittaessa käyttöaikana (käyttö tarkoituksen muuttaminen, perusparannukset, valitustilanteet). Verrattuna ilmanvaihtolaitoksen toimintaa kartoitettaviin menetelmiin on tiivysmittauksiin käyttökelpoisten menetelmien määrä erittäin vähäinen.

Suurimpana ongelmana on kuitenkin se, että nykyisillä tiivyyden ja ilmanvaihtuvuuden mittausmenetelmillä ei luotettavasti osata arvioida todellista hallitsematonta ilmanvaiht-



Kuva 4. Koejärjestely painekokkeissa.



Kuva 5. Paikallisen tiivyyden (vuotofunktion) mittaaminen valmiissa rakennuksessa. Kuvassa on hohkotsesta ulkoseinän ja lattian liitos.

- 1 säädettävä apupuhallin
 - 2 säädettävä mittauspuhallin
 - 3 tilavuusvirran mittari (tilin rocametri)
 - 4 keetykammio
 - 5,6 paine-eron mittarit (mittarimonometri)
- Δp paine-ero ulkoilmaan ja keetykammion välillä (= huopaine)
- Δp₀ paine-ero keetykammion ja huoneilman välillä (noollapoikkeama)
- ∇ keetykammioista tuleva ilmavirta

toa ja rakennuksen tiivistämistarvetta. Päähuomio on siis kiinnitettävä mittausmenetelmien kehittämiseen.

Tiivyyttä ja ilmanvaihtuvuutta on mitattu mm. seuraavin keinoin:

Kokonaistiivisyys: Pientalojen ja huoneistojen tiivyyden mittaamiseen soveltuu ns. painemenetelmä /8/ (kuva 4), jossa mitataan tilan ilmanvaihtuvuus ilmanvaihtoaukkujen ollessa peitettyinä yli- tai alipaineen (yleensä 50 Pa) vallitessa.

Paikallinen tiivisyys: Paikallisen tiivyyden mittaamiseen soveltuu ns. keetykammio-menetelmä /9/ (kuva 5). Paikallisen tiivyyden perusteellinen tutkiminen esim. rakennusten

vastaanottotarkastuksissa on hyvin työllistä, joten pistokoe metodiikka tulisi tältä osin kehittää. Ratkaiseva merkitys on tällöin termokameran hyväksikäytöllä.

Ilmanvaihtuvuus: Ilmanvaihtuvuutta mitataan yleisimmin jälkierneiden avulla. Mittaus antaa melko luotettavasti keskimääräisen ilmanvaihtuvuuden mittausjaksolta. Tuloksen edustavuutta heikentää kuitenkin suuri satunnainen riippuvuus ulkoisista olosuhteista, mikä esim. painemenetelmässä on saatu osittain eliminoiduksi.

Rakennusosien laaduntarkkailu on osa kokeellista tiivyyden määrittystä. Tiivyyden valmistustekninen hajonta on suuri (pieni, näkymätön virhe voi aiheuttaa jopa satakertaisen vuodon), mikä on valvontamethodiikka luotaessa otettava huomioon.

Kenttämittausten luotettavuutta heikentävät:

- ulkoisten häiriöiden vaikutus mittaustulokseen tai vääristyneet paineolosuhteet (paine-ero);
- rakenteiden eläminen (lämpötila ja kosteus vaikuttavat).

Rakennuksen tiivyyden ja ilmanvaihdon suunnittelu ja toteutus

Rakenne- ja LVI-suunnittelijan yhteistoiminta on välttämätöntä tiivyydeltään tarkoituksenmukaisen rakennuksen toteuttamiseksi. Lisäksi tarvitaan kentällä runsaasti palautteita jo tehtyjen ratkaisujen toimivuudesta, jotta itse rakentamiseen liittyvät ongelmat voitaisiin ottaa huomioon.

Suunnittelun ja toteutuksen tulisi voida tapahtua kuvan 6 kaavion mukaisesti. Huomautussarakkeeseen on pyritty kokoamaan myös puutteet nykytietämyksessä. Vasta kun avoimena olevat kysymykset on selvitetty, voidaan asettaa rakennuksille mielekkäitä tiivyytsvaatimuksia.

Tiivyytsvaatimusten määrittelyn yleiset perusteet voidaan koota kuvan 7 kaavioon. Vaikutukset ilmanvaihtosuunnitteluun ovat lyhyesti:

- painovoimaisen ilmanvaihdon hallittavuus on heikko, — koneellisia järjestelmiä tulisi suosia uudistuotannossa;
- korvausilma on otettava hallitusti sisään;
- täysin koneellinen järjestelmä tulee suunnitella siten, että sisällä vallitsee alipaine; poistoilmavirta mitoitetaan n. 20 % suuremmaksi kuin tuloilmavirta kondenssivaaran välttämiseksi.

Ongelmat olemassaolevissa rakennuksissa

Uudisrakentamiseen kohdistuvien toimenpiteiden vaikutukset tuntuvat koko rakennuskannan huomioon ottaen hyvin hitaasti. Lisälämmöneristämisen tai ikkunoiden uusimisen yhteydessä on aina toteutettavissa myös tiivistäminen.

Nykytiedolla voidaan yksittäisen rakennuksen tiivistämisestä ja tiivistämistarpeen arvioinnista antaa ainoastaan karkeita ohjeita:

— Selvin oire tiivistämisen tarpeesta on sisäilman jäähtyminen tuulisella säällä (kokonaisvuoto) tai vedon tunne (paikallinen vuoto).

— Ikkunoiden (myös karmien ja seinän liitos) ja ovien lisäksi kannattaa tarkastaa myös ainakin lattian raja, joka on vedon kannalta kriittisin.

— Kerrostaloissa kannattaa tiivistys tehdä keskitetysti, jotta tiivistystyön hyödyntää lämmitystehon avulla pienentämällä sisätiloissa on aktiivisesti tarkkailtavana tiivistämisen vaikutusta on loton tarkasti arvioida.

Ikkunoissa tiivistetään sisäpuolelle riittävästi (paitsi raitisilmaikkunaa taessa), muut puitteet jätetään in osin tiivistämättä kondensoitien välttämiseksi /11/. Samoin tiivistystoimenpiteet suositellaan sisällyttäväksi.

issanat

uoto- ja tiiviysohjelmien rat- edellyttää systemaattista tutki- ja kehitystyötä, jonka painopis- ret tulevat olemaan tiiviyden ja vaihdon laskentamenetelmät, usmetodiikka, tiiviyys ja raken- noksen tiivistäminen, tiiviyden yys rakennuksen iän mukana, isyystarkastelut sekä tiiviyteen i parantamiseen liittyvät talou- t tarkastelut.

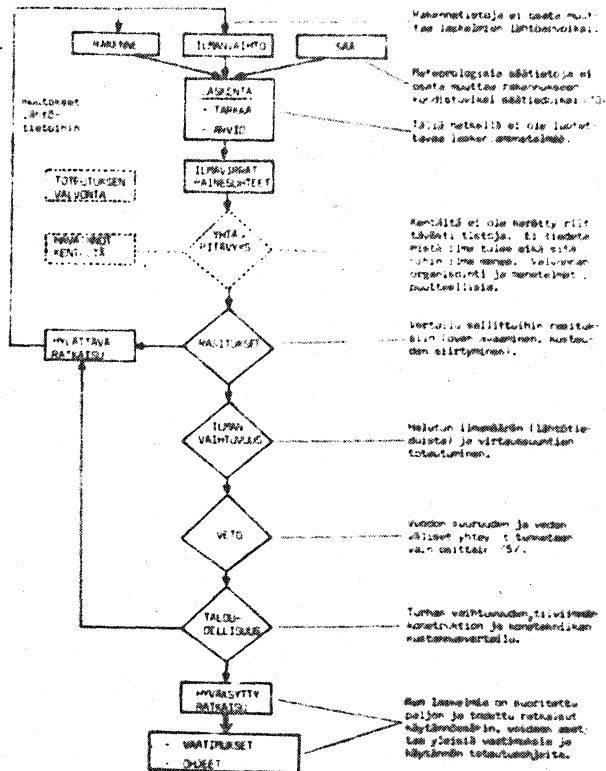
Elmroth, A & Höglund, I.: Värme- i smähus. Stockholm 1973. Bygg- forskningen, Rapport R7:1973.

12/ Nylund, P.-O.: Systemanalys. Täthet i byggnader, BFR-bonnmittet 1. (toistaiseksi julkaisematon).

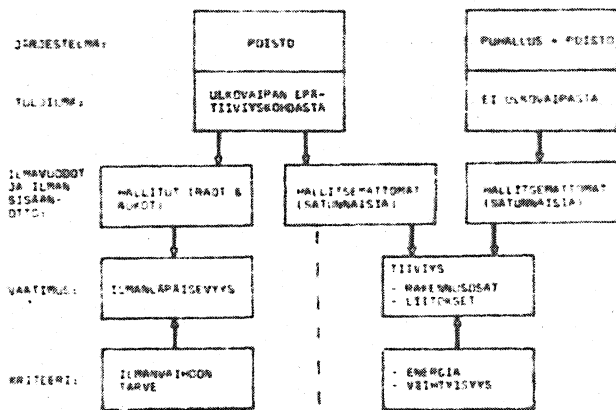
13/ Rantama, M.: Rakennusten tiiviyys ja vuotoilmavirrät. Helsinki 1977. Suomen LVI-yhdistys, Energian käyttö ja säästö rakentamisessa, s. 221—236.

14/ Lindskoug, N.-E.: Ventilation och luftläckning i olika typer av byggnader. VVS 48 (1977) 9, s. 53—58.

15/ Railio, J. & Saarnio, P.: Seinämien tiiviyysvaatimusten määrittelyperusteet. Espoo 1978. VTT, LVI-tekniikan laboratorio, tiedonanto 32. 82 s.



Kuva 6. Tiiviyden ja ilmanvaihdon suunnittelu- ja toteutusmetodiikka.



Kuva 7. Tiiviyysvaatimusten määrittelyyn yleiset periaatteet.

16/ Elmroth, A.: Well insulated airtight buildings, design and construction. IEA Seminar on R & D in infiltration in buildings, Paris April 3—7 1978. 29 s.

17/ Björndahl, B. & Matson, C.: Väloolerade lufttäta smähus, konstruktion och utförande. Stockholm 1978. KTH, Inst. för byggnadsteknik. 68 s.

18/ Hildingsson, O. & Holmberg, S.: Byggnaders lufttäthet. Undersökning och utveckling av mätmetoder. Lund 1976. LTH, institutionen för byggnadsteknik. Rapport 4:76. 38 s.

19/ Siitonen, V.: Rakenteiden tiiviyden mittaaminen kenttöolosuhteissa. Espoo 1978. VTT, LVI-tekniikan laboratorio, tiedonanto 33. 15 s.

110/ Hando, K., Kärrholm, G. & Lindquist, T.: Mikroklimat och luftutbyte. Göteborg 1978. CTH, Avd. för byggnadskonstruktion. Rapport 1978: 19. 34 s.

111/ Railio, J.: Tiivistämisen vaikutus ikkunan kondensoitumisaltuuteen ja lämpöolosuhteeseen. LVI 29 (1977) 4, s. 32—38.

112/ Kouhi, J.: Vertailuva tutkimus eriden pientalojen kokonaisenergian kuluksessa ja rakenteiden tiiviydestä. Rakennustekniikka 34 (1978) 3, s. 133—158.