

Dipl.ins. Markku Rantama
Ekono Oy
UDK 699.86

Rakennusten ilmapuotojen aiheuttajista ja vaikutuksista

Eri rakennuksen lämpötekni- sen hallinnan hankalimpia kohtia on ilmapuoto — niin laskennallisesti kuin käytännössäkin. Vuotojen suuruutta ja kulkureittejä ei tarkoin tunneta. Myöskään ei tiedetä vuotojen osuutta rakennuksen energiankulutukseen, lämmitystehontarpeeseen tai ilmanvaihdon tarpeeseen. Rakennuksen painesuhteet ja ilmapuodot kiinnostavat myös paloteknisesti savukaasujen leviämisen kannalta. Kosteuden siirtyminen rakenteisiin tapahtuu usein — ja haitallisesti — ilmapuotojen mukana.

Edellämainittuja asioita toki tutkitaan niin meillä kuin muual- lakin. Painesuhteet ja ilmapuodot riippuvat niin monista tekijöis- tä ettei yleispäteviä, erilaiset rakennustavat ja -tyypit kattavia laskenta- tai mitoitusmenetelmiä ole onnistuttu luomaan.

ILMAVUOTOJEN SYNTYMINEN

Rakennuksen eri osien välille sekä rakennuksen osien ja ulkoilman välille syntyy paine- eroja. Nämä paine-erot aiheut- tavat vuotoilmavirtoja mikäli tiloja erottavat seinämät eivät ole absoluuttisen tiiviitä. Paine- eroja aiheuttavia voimia ovat:

- tuuli
- lämpötilaerot (savupiippu- vaikutus)
- mekaaniset voimat (ilman- vaihtolaitteet)

Yleensä edellämainittuja voi- mia on vaikuttamassa samanai- kaisesti. Käsittelyä tosin helpot- taa se, että eri voimien erikseen aiheuttamat paine-erot on las- kettavissa yhteen. Näin synty- vät resuloivat paine-erot sit- ten määrittelevät vuodon suun- nan ja suuruuden.

Tuuli

Tuulen rakennuksen seinämälle aiheuttama paine-ero on:

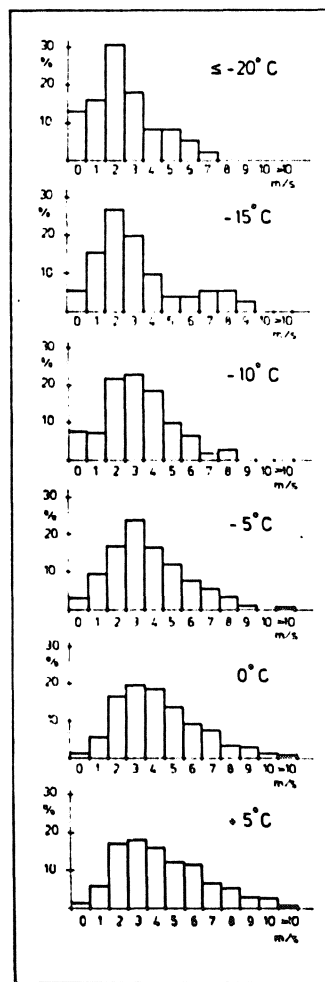
$$\Delta p = C \cdot \frac{\rho}{2} v^2$$

missä C on seinämän tai raken- nuksen muodosta johtuva vakio, jonka on todettu saavan arvoja 0...1,6. Toisaalta tuulen paine vaihtelee seinämän eri osilla ympäristössä olevien häiriöteki- jöiden ansiosta (rakennukset, puut, maasto jne.). Myös itse ra-

kennus voi olla aerodynaamises- ti sellainen, ettei ilman tuulitun- nelikokeita voida tietystä suun- nasta osuvan tuulen aiheutta- maa painejakautumaa etukä- teen määrätä. Ks. esim. [1].

Tuuli, joka rakennukseen osuu, riippuu nopeudeltaan ra- rennupaikan korkeudesta ja pinnanmuodostuksesta. Sääha- vaintoasemilla mitataan tuuli paikassa, jossa ympäröivät ra- kennukset eivät vaikuta mit- taukseen. Rakennuspaikan tuu- len nopeus on yleensä aina jon- kin verran tätä pienempi, 0,4 ... 0,8-kertainen. Edellinen arvo vastaa tiivistä kaupunkialuet- ta, jälkimmäinen avointa ra- kennuspaikkaa. Edellytyksenä luonnollisesti on, että raken- nuspaikka on tuulisuudeltaan säähavaintoasemaa vastaavalla seudulla. Rakennuksen ilma- vuotojen selvittämisen kan- nalta merkittävää — ja kiusal- lista — on myös se, että todelli- nen tuuli vaihtelee lyhyellä ai- kavälillä sekä suunnaltaan että nopeudeltaan. Erittäin lyhyellä — sekunneissa mitattavalla — aikavälillä tuuli on lisäksi aina puuskaista heilahdellen keskiar- vonsa molemmin puolin. Eng- lantilaisten mittausten mukaan "puuskaisuuskerroin" on yleen- sä 1,5...1,8. Säähavaintomit- taukset ovat yleensä 10 minuut- tin keskiarvoja, tietyin aikavä- lein otettuna.

Tuulen vaikutusta ilmapuoto- jen ja rakennuksen lämpötalou- den kannalta tarkasteltaessa tu- lee tuulen nopeuden lisäksi tun- tea myös samanaikainen lämpö- tila. Kuvassa 1 on vuosina 1970 —74 Helsingin lentoasemalla tehtyjen säähavaintojen perus- teella lasketut tuulennopeusja- kautumat muutamilla lämpöti- loilla [2].



Kuva 1. Tuulen nopeuden esiintymistodennäköisyys erillä lämpötiloilla. Seutula 1970—74.

Savupiippuvaikutus

Rakennuksen sisälämpötilan poiketessa ulkolämpötilasta syntyy paine-ero ulkoseinämälle:

$$\Delta p = h g \Delta \rho \quad (2)$$

missä $\Delta \rho$ = tiheysero sisä- ja ulkoilman välillä

h = tarkastelukohdan korkeus paine-eron nollakohdasta eli neutraalitasosta laskestuna

g = putouskiihtyvyys

Tätä paine-eroa kutsutaan savupiippuvaikutukseksi. Savupiippuvaikutuksen ansiosta pyrkii ilma virtaamaan rakennuksen alaosaan, neutraalitasoin alapuolelta sisälle päin ja neutraalitasoin yläpuolelta ulospäin. Näinollen rakennuksen ylä- ja alaosan välille muodostuu pystysuoria virtauksia. Neutraalitasoin sijainnin määrää rakennuksen ulkoseinien aukkojakautuma. Pystysuorille virtauksille aiheutettu painehäviö taas määrätty välipohjissa, hormistoissa, jne. olevista aukoista. Nämä tekijät — aukot ulkoseinissä ja aukot pystysuunnassa — määräävät yhdessä savupiippuvaikutuksen aiheuttaman ilma-vuodon suuruuden.

Korkeissa rakennuksissa pyritään vähentämään savupiippuvaikutusta katkaisemalla suuria pystysuuntaisia kuiluja kuten hissikuilut ja porraskuilut pystysuunnassa. Samoin ilmanvaihtohormistot jaetaan usein pystysuunnassa osiin juuri tästä syystä.

Mekaaniset voimat

Koneellinen ilmanvaihto muuttaa rakennuksen painesuhteita yleensä aina — tulo- ja poistoilmavirrat eivät koskaan ole rakennuksen kaikissa osissa täysin tasapainossa. Äärimmäisenä tapauksena on asunnoissa tyyppillinen koneellinen poisto, joka voi muuttaa koko rakennuksen paineen negatiiviseksi ulkoilmaan nähden.

Ilmanvaihtolaitteet toimivat myös välillisesti yhdessä savupiippuvaikutuksen ja tuulen kanssa. Voimat vaikuttavat hormistoihin ja ilmanvaihtoaukkoihin ja muuttavat tätä tietä puhaltimien toimintapisteitä. Usein käytännössä esiintyvissä ta-

pauksissa lisäksi tuloilmavirta kasvaa samalla kun poistoilmavirta pienenee ja paine-eron muuttuminen täten korostuu.

VUOTOREITIT

Ilman vuotoreitit rakennuksessa voivat olla tarkoituksellisia tai tarkoituksettomia. Edellisessä tapauksessa puhutaankin mieluummin esim. korvausilmareiteistä.

Eniten on tutkittu ikkunoiden ja ovien vuoto-ominaisuuksia, ns. rakovuotoja. Suurimman osan rakennuksen ulkovaipan läpi tapahtuvasta vuodosta otaksutaan yleensä tapahtuvan näiden rakojen kautta. Tosin eräät tutkimustulokset antavat aiheen olettaa, että huomattava osa vuodosta löytää itselleen muita reittejä — ja näinhän tiedämme käytännössäkin monista elementti- tai puutaloista.

Rakovuodot

Vuoto rakennuksen seinämässä olevan kapean raon läpi noudattaa kaavaa

$$\dot{V} = a l \Delta p^a \quad (3)$$

missä \dot{V} = ilmavirta

a = raolle ominainen vuotokerroin

l = raon pituus

Δp = paine-ero seinämän eri puolilla

a = raolle ominainen eksponentti

Vuotokerroin riippuu raon dimensioista sekä esim. mahdollisen tiivisteiden ominaisuuksista. Eksponentti n vaihtelee välillä 0,5...1,0 siten, että se lähenee arvoa 1 raon tiiveyden tai paine-eron kasvaessa. Viimeaikaisen ruotsalaisten tutkimusten [3] mukaan eksponentti riippuisi sekä paine-erosta että vuotokertoimesta seuraavasti:

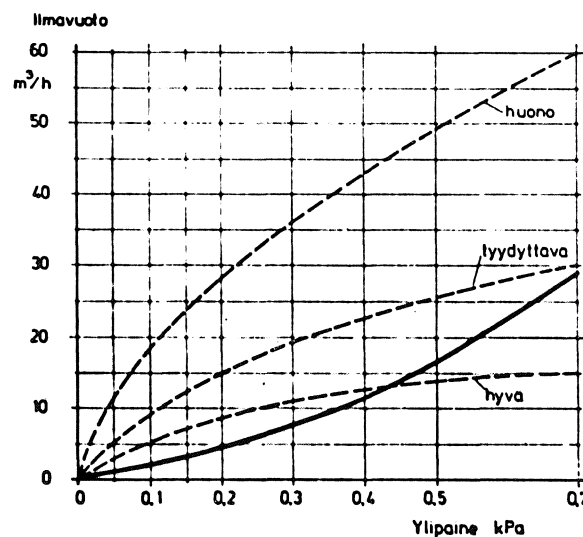
$$1/n = 2,0 - e^{-5,0 \cdot a \cdot \Delta p}$$

missä merkinnät ovat samat kuin kaavassa (3).

Ikkunarakovuotojen merkitys on suuri, siksi niitä on tutkittu runsaasti. Tutkimustulosten hyväksikäyttöä Suomessa häiritsevät usein hyvin erilaiset ikkunatyyppit tutkimuksen kohteina olleisiin verrattuna.

Käynnissäolevan SITRA:n rakennusten lämpöaloustutkimuksen osaprojektin "Ikkunat" yhteydessä on käynnissä myös huomattava ikkunan tiiveyteen vaikuttavien tekijöiden selvitystyö. Esimerkkinä tiivisteiden ominaisuuksien selvittämiseen tähtäävästä mittausarjasta on kuva 2.

Ikkunarakojen osalta on lisäksi huomattava, että erityisesti karmin ja seinän välinen rakovuoto on käytännössä tapahtuvan rakentamisen jäljiltä usein varsin erilainen kuin laboratorio-olosuhteissa. Tältä osin olisikin selvitettävä lähinä työtapoja. →



Kuva 2. Esimerkki ikkunatiiviyyskokeen tuloksesta (SITRA), laaturajat norjalaisten ikkunastandardien mukaan.

Kokonaan omia lukujaan ikkunavuotojen osalta ovat ns. raitisilma- ja poistoilmaikkunat.

Pystysuuntaisten vuotojen reitit

Varsin oleellisia rakennuksen painesuhteiden hallitsemisen kannalta ovat ne virtaukset, jotka sallivat ilman liikkua rakennuksissa alhaalta ylöspäin. Tällaisia vuotoreittejä voivat olla.

- hormistot
- porras- ja hissikuilut niihin johtavine ovineen
- epätiivit välipohjalävistyksen putkia, sähköjohtoja ym. varten
- välipohjien rakenteellinen epätiivius

Näitä reittejä voivat epäpuhtaudet siirtyä huoneistosta toiseen, samoin savukaasut. Ilmavuotoja ja painesuhteita laskevien tietokoneohjelmien tärkein sovellutuskohte onkin ollut näiden painesuhteiden toivotun suuntaiseksi johtavien tekijöiden etsiminen.

ILMAVUOTOJEN LASKEMINEN

Edellämainittujen vuotoihin vaikuttavien tekijöiden lukuisuu-

desta huolimatta on niitä pyritty käsittelemään laskennallisesti. Rakennuksen painesuhteita ja ilmavuotoja voidaan hallita käsinlaskennalla vain varsin yksinkertaisissa tapauksissa. Tästä syystä eri maissa onkin laadittu tietokoneohjelmia tätä tarkoitusta varten. Suomessa on Ekonolla ollut suhteellisen yksinkertainen laskentaohjelma [4], ja SITRA:n lämpöaloustutkimuksen yhteydessä on Ekonon tietokoneelle laadittu uusi, varsin monimutkaisia rakennuksia salliva ohjelma. Ohjelman osat esittävä lohkoakaavio on kuvassa 3.

Yleensä kaikkien laskentaohjelmien periaate perustuu kullekin huonetilalle laadittuihin ilmavirtojen taseyhtälöihin. Taseyhtälönsarja pyritään ratkaisemaan iteroimalla siten että huoneiden paineita tai yksittäisiä ilmavirtoja korjataan portaittain tai jonkin kaavan mukaan, kunnes sallitun virherajan sisään päästään.

VUODOT JA ENERGIANKULUTUS

Ilmavuotojen tutkimustulokset ovat yleensä hetkellisiä. Vuodon riippuvuutta säästä — tuulesta

ja lämpötilasta — ei ole kokonaisrakennuksia käsittelevänä tutkittu siten, että vuodon osuus pitemmän aikavälin energiankulutuksesta olisi tunnettu.

Erityisesti asuinrakennusten ilmanvaihdon tutkimisen yhteydessä on näitä tekijöitä kuitenkin pyritty selvittämään [5]. Tätä tarkoitusta varten on edellämainitulla laskentaohjelmalla kehitetty vuotofunktioita joillekin erityyppisille rakennuksille. Nämä vuotofunktiot antavat ilmavuodon lämpötilan ja tuulen nopeuden funktiona. Funktioita käytetään edelleen laajemmassa laskentaohjelmistossa, joka sisältää tarvittavat säätiedot. Näin tähdätään kahteen tavoitteeseen — toisaalta halutaan saada rakennuksen energiankulutuksen laskennassa huomioiduksi tuuli — toisaalta taas tutkitaan vuodon osuutta koko energiankulutuksesta.

Esimerkkinä on seuraavassa n. 120 m² suuruisen pientalon (A 70) vuotofunktiot. Rakennuksessa on painovoimainen ilmanvaihto. Kaava antaa suoraan ilmanvaihtokerroimen:

$$N = k_1 \Delta t^{0,75} + k_2 \left(\frac{\beta \cdot (124 + \frac{T_u}{2}) \cdot v}{T_i} \right)^Z \quad (5)$$

missä N = ilmanvaihtokerroin

Δt = lämpötilaero sisä-

ja ulkotilan välillä

β = maastokerroin (0,19 ... 0,37)

T_u = ulkolämpötila

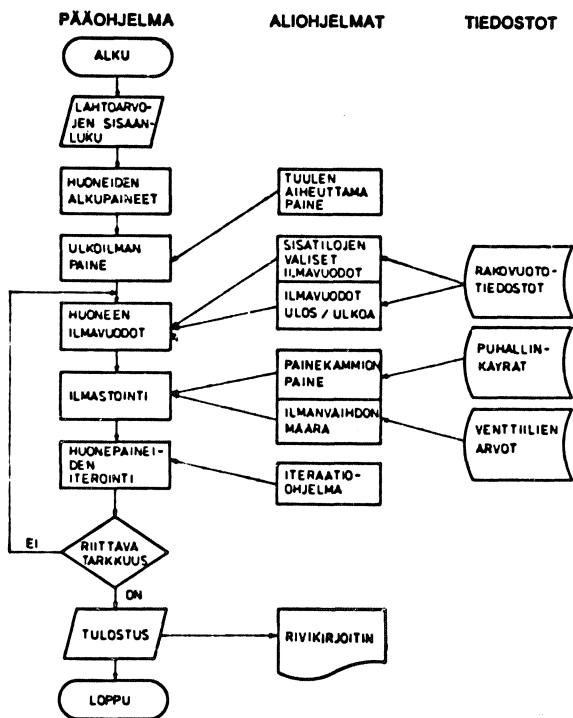
T_i = sisälämpötila

v = tuulen nopeus

k_1, k_2 ja Z ilmenevät taulukosta 1.

Näiden tuloksena syntyneet ilmanvaihtokerroimet on esitetty kuvissa (4 a—c). Esimerkkirakennuksen pohjapiirroksen on piirretty vuotoilmavirrat eräässä laskentapisteessä, kuva 5. Edellä esitetyt tiiviysasteet tarkoittavat ikkunoille ja oville määriteltyjä vuoto-ominaisuuksia, ja on valittu eri standardien ja mittauksien perusteella sopivin väle.

Laskelmien tuloksista voidaan todeta, että vuotomäärät vaikuttavat varsin pieniltä, ja verrattaessa niitä tietoihin pientalojen kokonaisilmanvaihdon mittauksista voidaan olettaa to-



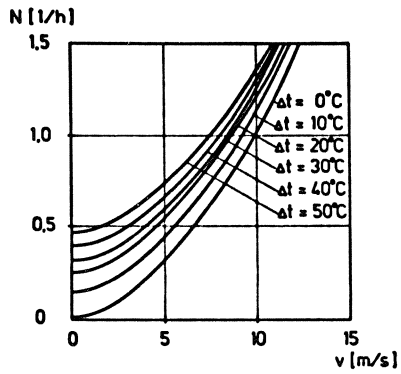
Kuva 3. Rakennuksen painesuhteet ja ilmavuodot laskevan tietokoneohjelman "ILMAV" lohkoakaavio.

dellisten rakennusten vastaa-
van edellämainituista tiiviys-
luokista lähinnä huonoja —
välttäviä.

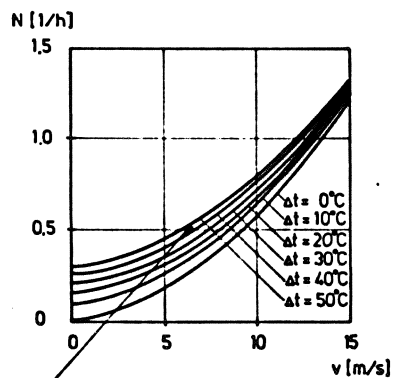
Vastavia vuotofunktioita on
laadittu jatkotutkimuksia var-
ten myös erälle kerrostaloty-
peille.

Tiiviysaste	k_1	k_2	Z
Huono	$2,53 \cdot 10^{-2}$	$17,7 \cdot 10^{-2}$	1,75
Välttävä	$1,62 \cdot 10^{-2}$	$9,85 \cdot 10^{-2}$	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 1. Kaavan (5) vakiot

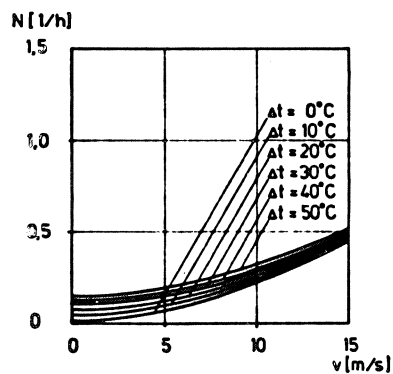


4 a



Kuvan 5 laskentapiste

4 b



4 c

Kuva 4 a—c. Pientalon ilmanvaihto-
kerroin lämpötilan ja tuulen funk-
tiona. 4a: huono tiiviys, 4b: välttävä
tiiviys, 4c: tyydyttävä tiiviys.

Yleisesti ottaen laskelmien
oikeellisuuden selvittäminen
vaatisi rinnakkaisia mittaustut-
kimuksia.

Vuoto otetaan edellämaini-
tuissa tutkimuksissa huomioon
ilmanvaihdon osana. Tämän li-
säksi ne voivat aiheuttaa lisäku-
lutusta välillisesti — kylmät
vuotoilmasuihkut aiheuttavat
huonelämpötilojen nostamisen
tarvetta. Hallitsemattomien il-
mavirtojen siirtämät hajut ai-
heuttavat ilmanvaihdon lisätar-
vetta jne.

VUOTOJEN HUOMIOON- OTTAMINEN LÄMPÖLAI- TEIDEN MITOITUKSESSA

Meillä yleisimmin tunnetut
"Lämmitys- ja ilmanvaihtolait-
teiden suunnittelun normaalioh-
jeet" ottavat vuotoilman huo-
mioon useinakin erilaisina lisi-
nä:

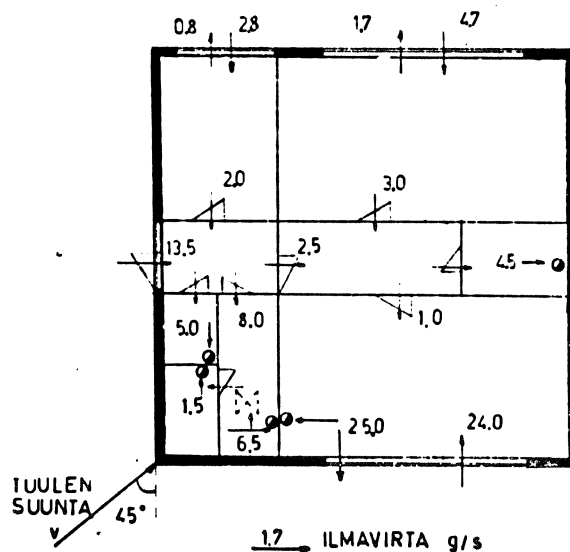
- ilmanvaihtolisät
- tuulilisät
- ilmansuuntalisät
- k-arvon ilmanvuotolisä

Näissä ohjeissa tulee todelli-
nen vuoto helposti huomioiduk-
si moninkertaisesti, eikä raken-
nuksen sisäisiä painesuhteolo-
suhteita oteta huomioon.

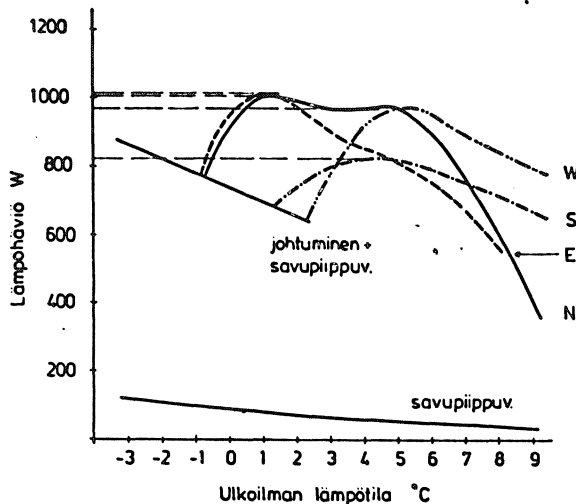
Myöhemmissä Lämpöinsi-
nöriyhdistyksen julkaisemissa
laskentaohjeissa on menty to-
dellisempaan, mutta melko mo-
nimutkaiseen menettelyyn esi-
kuvana mm. saksalaiset DIN
4701-ohjeet.

Englantilaisissa laskentaohjei-
den kehittämiseen tähtäävissä
tutkimuksissa [6] on selvitetty
tuulen ja lämpötilan yhteisvai-
kutusta. Kuvan 5 esimerkki
osoittaa, ettei koko lämmöntar-
peen huippu edes esiinny kyl-
mimmällä säällä. Yksittäisissä
rakennoissa voidaan meilläkin
usein todeta kuormitushuipun
olevan hyvin tuulisina päivinä.
Edellä esitetyn englantilaisen
tapauksen tuulihuipun ja mitoi-
tusulkolämpötilan ero oli kui-
tenkin vain 5...8°C, kun taas
Helsingissä se on 20...25°C.

→



Kuva 5. Esimerkkitalon pohjapiirros. Piirroksen mer-
kitty ilmavirrat erässä laskentapisteessä (ks. kuva 4).



Kuva 6. Esimerkki yhdistetyistä vuoto- (tuuli + savupiippuvaikutus) ja johtumislämpöhäviöistä eri ilmasuuntiin (W, S, E, N) [6].

Näinollen ilmeisesti ainakin tiiviin rakennuksen mitoitushuippu esiintyy meillä huippupakkasella — sensijaan harvan tai erittäin tuulille alttiilla paikalla

olevan rakennuksen kohdalla tilanne voi olla toinen. Tämänkin varsin merkityksellisen asian selvittäminen vaatii vielä runsaasti tutkimustyötä.

Lähdeviitteet

[1] Byggnadsaerodynamik Rapport 25. 1969, Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm 1969.

[2] SITRA, Rakennusten lämpö- taloustutkimus, Ilmavuodot, raportti 1975.

[3] Honma, H: Ventilation of Dwellings and its Disturbances, Tekniska Meddelanden Nr 63, Instr. för Uppvärmnings- och Ventilationsteknik KTH, Stockholm 1975.

[4] Gabrielsson, J: Rakennusten painesuhteet ja ilmavuodot, esitelmä INSKO:n kurssilla 8—70, Helsinki 1970.

[5] Kännö, K: Rakennusten vuotoilmat energiankuluttajina, Rakennustekniikka 8/1975.

[6] Jackman, P: Heat loss in Buildings as a Result of Infiltration Building Service Engineering, April 1974.

ÄLKÄÄ OSTAKO KAASUPULLOJA

AGAn vapaakirja tulee edullisemmaksi

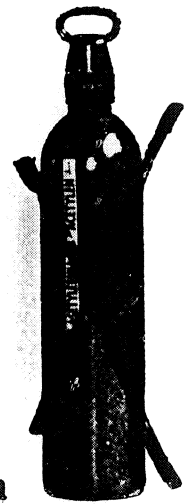
Nyt saatte AGAsta pullon hinnalla 10 vuoden vapaakirjan joka

- vapauttaa Teidät pullon ylläpitokustannuksista
- päästää Teidät täyttöjonoista ja katsastuksista
- ei teknisesti vanhene eikä ole sidottu tiettyyn pullotyyppiin
- säilyttää arvonsa ja on myytävissä
- tulee myös vuokrapulloja edullisemmaksi, sillä kustannustason nousun aiheuttamat vuokrien korotukset eivät siihen vaikuta

Harkitkaa siis ennen kuin ostate vaivoiksenne omia kaasupulloja. Yksi vapaakirja on käytännössä huomattavasti enemmän kuin yksi oma pullo, sillä sen käyttö ei keskeydy täytön ajaksi. Vapaakirjat merkitsevät joustavampaa ja nopeampaa palvelua.

Lisätietoja ja vapaakirjoja lähimmästä AGAn toimipaikasta.

Espoo, 02610 Espoo 61, puh. 90-590 011 • Tampere, Kuokkamaantie 12, 33800 Tampere 80, puh. 931-29 280 • Turku, Akselintie 16, 20200 Turku 20, puh. 921-301 811 • Varkaus, Relanderinkatu 40, 78200 Varkaus 20, puh. 927-23 411 • Vaasa, Mäkikaivontie 5, 65140 Vaasa 14, puh. 961-246 711 • Rauma, Laiurintie 24, 26100 Rauma 10, puh. 938-13 600 • Pori, Puunaulakatu 4, 28100 Pori 10, puh. 939-17 941 • Kotka, Runeberginkatu 21, 48200 Kotka 20, puh. 925-15 090 • Oulu, Kasarmitie 22, 90100 Oulu 10, puh. 981-221 322.



AGA