

Analys av ofrivillig ventilation i småhus

Den ofrivilliga ventilationen bidrar vintertid till ett småhus värmeförluster. Då den är beroende av en mängd faktorer som är svåra att bestämma i förväg saknar man preciserade uppgifter om dess storlek.

I en serie om fem småhus representerande de vanligaste material- och konstruktionstyperna har experimentella och teoretiska bestämningar av husens värmebalans utförts. För analys av denna och för bedömning av husens lufttäthet har kännedom om den ofrivilliga ventilationen varit nödvändig.

I artikeln diskuteras främst storleken av den ofrivilliga ventilationen och hur denna vintertid beror på vind och temperatur. Undersökningarna har utförts med anslag från Statens råd för byggnadsforskning. Provhuset har ställts till Institutionens förfogande av Gullfiber AB, AB Lättbetong och Rockwool AB.

Klimatförhållandena och luftens fysikaliska egenskaper orsakar i allmänhet olika tryck mellan ute- och inneluft i byggnader. Trycken strävar att utjämnas genom luftströmningar i tryckfallets riktning, s k ofrivillig ventilation. Luftströmmens styrka bestäms av tryckdifferensen och konstruktionens egen täthet.

Ofrivillig ventilation av ett hus sker genom ventiler, springor och andra otätheter kring t ex fönster och dörrar och i viss mån också genom väggar och bjälklag. Storleken av denna ventilation beror främst på konstruktionstyp, utförande och klimatförhållanden. Den ofrivilliga ventilationen kan normalt inte i någon nämnvärd omfattning påverkas av de boende.

Tryckdifferensen mellan ett hus ut- och insida, som utgör drivkraften för den ofrivilliga ventilationen, orsakas av vinden och/eller temperaturskillnaden mellan inne- och uteluften. Vid ventilation på grund av vinden kommer luften in genom ventiler eller otätheter på vindsidan och lämnar huset på läsidan eller genom ventilationsskorstenar på taket. Det senare torde vara det vanligaste vid småhus. Temperaturskillnaden orsakar en differens i densitet mellan inne- och uteluften. På grund härav uppstår luftrörelser vanligen på så sätt att varm luft strävar att stiga uppåt. Denna effekt kallas därför ofta "skorstensverkan". Den kan dominera åtminstone vid högre byggnader. Ventilationsluften kommer in i byggnaden nära marken och lämnar densamma högre upp när drivkraften beror på skillnaden i densitet hos luften.

Vintertid får man på grund av skorstenverkan avsevärda tryckskillnader mellan ute- och inneluft vid högre

byggnader. Dessa tryckskillnader har i många fall visat sig uppgå till 5 à 6 mm vp. Även vinden inverkar starkt. Undersökningar i svenska kontorshus (Rydberg 1968) har t ex visat att redan tryckskillnader mellan inne- och uteluft på några tiondels mm vp kan orsaka läckning som uppgår till flera tiotals procent av det totala ventilationsflödet.

Vindens inverkan

Vid fasader orsakar vinden vanligen ett övertryck på vindsidan (lovartsidan) och ett undertryck på läsidan. Flacka tak och tak med liten lutning får normalt ett undertryck, medan det vid större taklutningar blir ett övertryck på vindsidan och ett undertryck på läsidan. Om en vägg eller ett icke flackt tak blir utsatt för över- eller undertryck beror på anblåsningsriktningen. Det lokala vindtrycket, d v s det lokala lufttryckets avvikelse från atmosfärtrycket, i en viss punkt mot en husyta är proportionellt mot luftens densitet, vindhastighetens kvadrat samt en tryckkoefficient som beror på ytans form.

Det lokala vindtrycket kan sålunda uttryckas med ekvationen

$$P_v = C_p \frac{v^2}{16} \quad (1)$$

där P_v = vindtryck, kp/m²

v = vindhastighet, m/s

C_p = tryckkoefficient

Tryckkoefficienten kan vara högst +1,0 och är sällan lägre än -4. Den kan vara mycket svår att bestämma. (Ingelman-Sundberg 1966.)

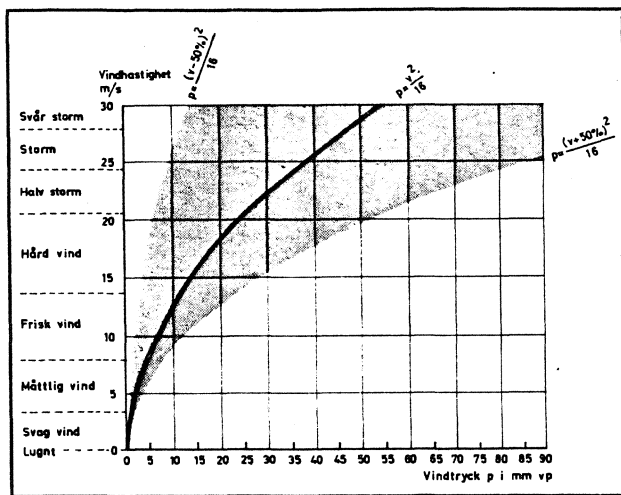


Fig. 1. Samband mellan vindhastighet och vindtryck. De vindhastigheter som uppges av meteorologiska stationer är i regel 10-minuters medeltal. I byig och inte alltför stark vind kan hastigheten variera $\pm 50\%$ från detta medeltal. Vindtrycken kan därför variera inom det streckade området.

I figur 1 visas en kurva över vindens tryck mot lovarts fasad vinkelrätt mot vindriktningen som funktion av vindstyrkan.

Lufttrycket inomhus beror på vindtryck, vindriktning, luftmotstånd hos springor och öppningar samt hur de senare är belägna i förhållande till vindriktningen. Om öppningarna är någorlunda jämnt fördelade runt huset kan trycket variera mellan ca $\pm 0,2 \cdot P_v$. Om öppningarna på vindsidan dominerar blir inomhustrycket avsevärt större — upp till $0,8 \cdot P_v$. Om öppningarna huvudsakligen är belägna på läsidan kan ett undertryck av $0,2$ — $0,4 \cdot P_v$ eller större uppkomma. (ASHRAE Handbook of Fundamentals 1967.) Vid bebyggelse med småhus har försök av Andersson 1967, Dick 1949 samt Tamura och Wilson 1966 visat att tryckdifferensen över en fasad mot vinden (lovartsidan) blir ca 1 mm vp vid en medelvindstyrka av 5 m/s.

Vindhastighet och vindriktning kan variera avsevärt dels med tiden dels vid olika platser. Data från meteorologiska stationer kan därför vara vilseledande eftersom dessa ofta är fritt belägna — vid exempelvis flygfält — och dessutom bestäms vinddata på relativt stor höjd över marken. Terrängens och bebyggelsens utformning har stor inverkan. I synnerhet i tätbebyggda områden kan både vindhastighet och vindriktning avsevärt påverkas av bebyggelsen.

Temperaturens inverkan

Om lufttemperaturen i ett hus avviker från utetemperaturen uppstår en tryckskillnad mellan in- och utsidan beroende på skillnad i luftens densitet. Detta brukar benämnas skorstensverkan. När temperaturen inne är högre än ute uppstår det på lägre nivåer ett undertryck och luft pressas in. Högre upp uppstår ett övertryck så att luften läcker ut. Om lufttemperaturen

är lägre inne än ute blir förhållandena omvända. På en viss höjdnivå uppkommer en s k neutral zon där det inte finns någon tryckdifferens mellan in- och utsidan. På varje annan nivå finns följaktligen en tryckskillnad som beror dels på avståndet till neutrala zonen dels på skillnaden i luftens täthet inne och ute. Denna tryckskillnad kan uttryckas med ekvationen: (Se ASHRAE Handbook of Fundamentals 1967 och Tamura och Wilson 1966.)

$$P\vartheta = C \cdot P \cdot h \left(\frac{1}{\vartheta_u} - \frac{1}{\vartheta_i} \right) \quad (2)$$

där $P\vartheta$ = lufttrycksskillnad på grund av skorstens-effekt

P = luftens absoluta tryck

h = avstånd till neutrala zonen eller s k effektiv höjd

ϑ_u = uteluftens temperatur

ϑ_i = inneluftens temperatur

C = konstant

Läget på neutrala zonen beror på otätheternas eller öppningarnas fördelning i höjdlöd och på deras motstånd mot luftläckning. Om det t ex endast finns en öppning och om denna är stor i förhållande till övriga kommer den neutrala zonen att ligga nära centrum av denna öppning. Är otätheterna jämnt fördelade i husets höjdlöd kommer neutrala zonen att ligga nära husets halva höjd. Om otätheterna inte står i förbindelse med varandra på insidan kommer varje otäthet att få sin egen skorstensverkan och läget på den neutrala zonen är oberoende av huset i övrigt. I allmänhet förekommer vissa förbindelser mellan olika lokaler inne i huset (ex vid trappor), varför detta vanligen kan studeras som en enhet (Tamura och Wilson 1966). Vid småhus har skorstenar som mynnar ovan tak stor inverkan på neutrala zonen läge och på ventilationens storlek.

Bestämningar av den neutrala zonen läge i höga hus har utförts i Nordamerika. För konventionella byggnader har man därvid funnit att neutrala zonen är belägen på ungefär 0,7 gånger husets höjd. I ett modernt hus som är förhållandevis tätt och försedda med fasta isolerrutor har man dock funnit att neutrala zonen är belägen på nivån 0,3 gånger husets höjd. (Min 1958.)

Samtidig inverkan av temperatur och vind

Under den kalla årstiden samverkar vanligen vinden och temperaturen till en tryckdifferens mellan in- och utsida.

I figur 2 visas schematiskt hur tryckförhållandena påverkas av

I. enbart skorstensverkan

II. enbart vindens inverkan

III. samtidig inverkan av skorstensverkan och vind.

I fallet III är vindens inverkan så stor att den balanserar skorstensverkan vid husets topp, d v s att tryckskillnaden mellan in- och utsidan på vindsidan är lika

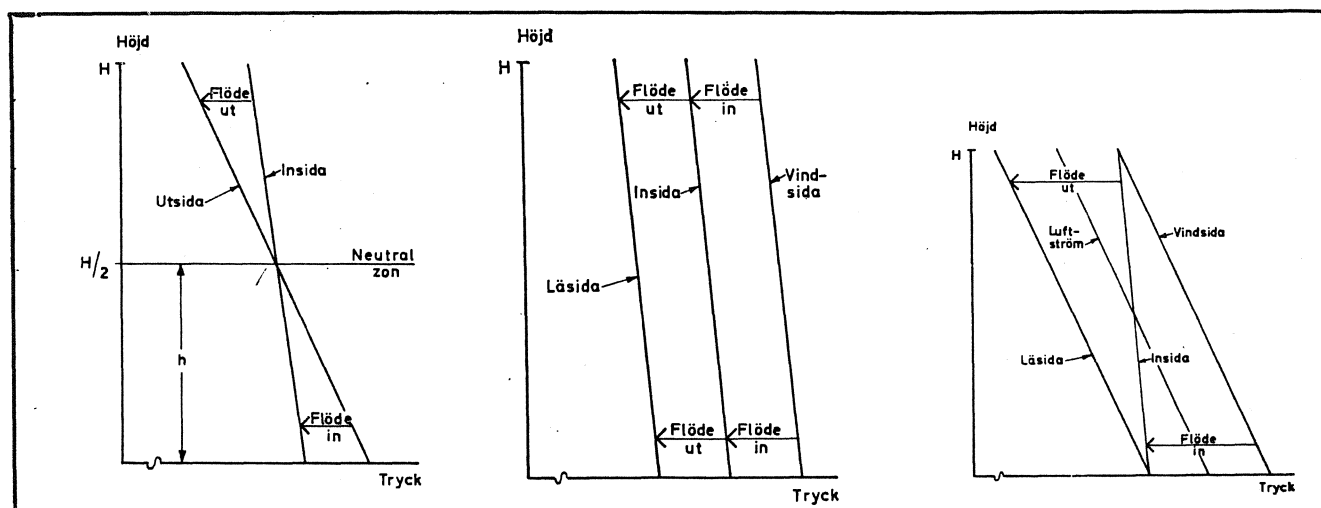


Fig 2. Fördelning i höjded av lufttrycket på in- och utsidan av ett hus. Figuren t. v. visar enbart skorstensverkan, varvid neutrala zonen antas ligga på halva hushöjden. I mitten visas inverkan av enbart vinden som ger i princip samma tryck på alla nivåer. Till höger slutligen visas trycken vid samtidig skorstensverkan och vindpåkänning. I detta fall är vindens inverkan så stor att den balanserar skorstensverkan vid husets topp, d. v. s. att tryckskillnaden mellan in- och utsidan är på vindsidan lika med noll. Detta senare är i det närmaste ett teoretiskt fall när förhållandena ständigt växlar.

med noll. Vid markytan är tryckskillnaden däremot noll på läsidan. Detta är i det närmaste ett teoretiskt fall eftersom förhållandena ständigt växlar.

Vid småhus har terrängen kring husen ofta en avgörande betydelse för vindhastigheten och sålunda också för relativa inverkan av temperatur och vind på luftomsättningen.

Bestämningar av ofrivillig ventilation

Den totala ofrivilliga ventilationen har bestämts i fem olika provhus. Dessutom har luftläckningen genom enbart golv-, vägg- och takkonstruktionerna bestämts separat. Luftomsättningarna per timme bestämdes nämligen dels när fönster- och dörrspringor var tätade med lufttät tape och alla ventiler stängda och övertejpade dels vid normala förhållanden utan dylika extra tätningar. Bestämningarna utfördes enligt den s k spår-gasmetoden se Höglund 1963. Själva mätningarna har utförts i samråd med civilingenjör Stig Lublin och ingenjör Bengt Eriksson. Lufttemperaturer och vindhastighet har registrerats i omedelbar närhet av provhusen. Deras konstruktion framgår av figurerna 3—7.

Tidigare undersökningar av antalet luftomsättningar i småhus har utförts främst i USA och Canada. Spår-gasmetoden har använts i ett flertal fall. Systematiska undersökningar av antalet luftomsättningar har utförts av Bahnfleth, Moseley och Harris 1957. Genom att utföra ett stort antal försök under olika årstider har de kunnat separera vindhastighetens och temperaturens inverkan på ventilationen. Resultaten visar bl a att dessa två faktorer överlagrar varandra. Bahnfleths m fl undersökningsresultat har bearbetats av Coblentz och Achenbach 1963, varvid antagits att följande samband gäller:

$$n = a + b\Delta\vartheta + cv \quad (3)$$

- där n = antal luftomsättningar per timme
 $\Delta\vartheta$ = lufttemperaturskillnaden inne—ute ° C
 v = vindhastigheten m/s
 a, b och c är konstruktionsberoende konstanter

Samma ansats för analys av mätresultatet har också använts av Laschober och Healy 1964. De har dessutom diskuterat betydelsen av att ha med termer av högre dignitet i denna analys. Dessa termer visar sig dock ha en försumbar inverkan på slutresultatet.

En analys av mätdata enligt denna metod har åtminstone två stora fördelar:

- mätvärden från enskilda observationer kan omräknas till andra klimatbetingelser så att värden från olika hus kan jämföras på ett någorlunda adekvat sätt
- vid beräkning av ett hus årliga värmebehov kan värmeförluster på grund av ofrivillig ventilation teoretiskt bestämmas med hänsyn tagen till inverkan av både lufttemperatur och vindhastighet.

Hus	Datum	Ute-luft-temp °C	Vindhast m/s	Vindrikt	Luftomsättn ggr/h	Anmärkning
A	7.3.61	+9,0	3,0	V	0,65	Utan "tätning"
A	8.3.61	+5,0	2,0	V	0,25	Med "tätning")
B	7.3.61	+9,0	3,0	V	0,50	Utan "tätning"
B	8.3.61	+5,0	2,0	V	0,09	Med "tätning")

Tabell 1. Den ofrivilliga ventilationens storlek i tegelhusen. Ventiler har varit stängda och fönster och dörrspringor tätade. Lufttemperaturen i bostadsdelen har varit konstant +22° C.

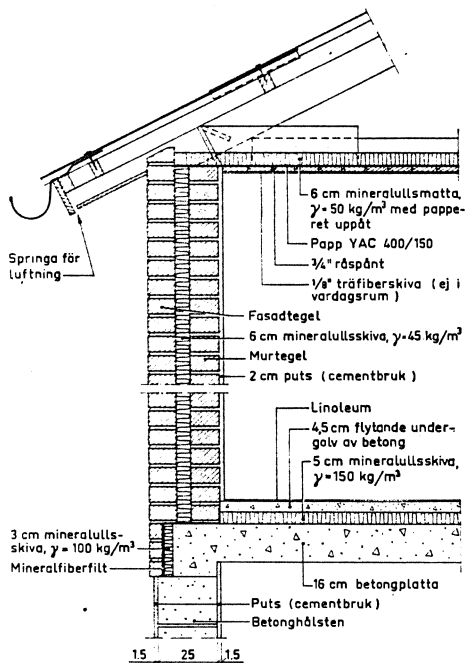


Fig. 3. Sektion genom tegelhus A.

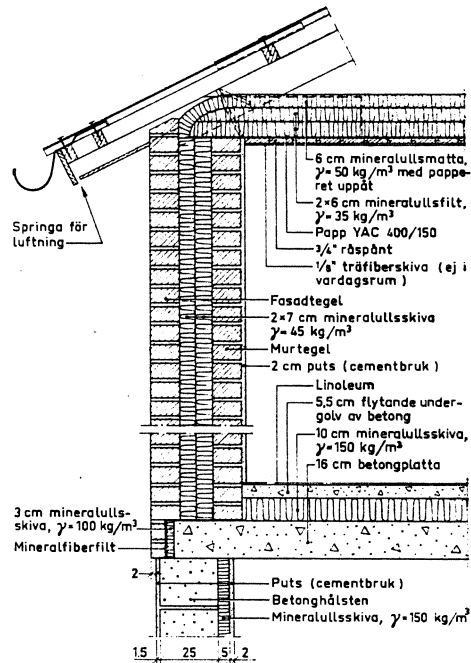


Fig. 4. Sektion genom tegelhus B.

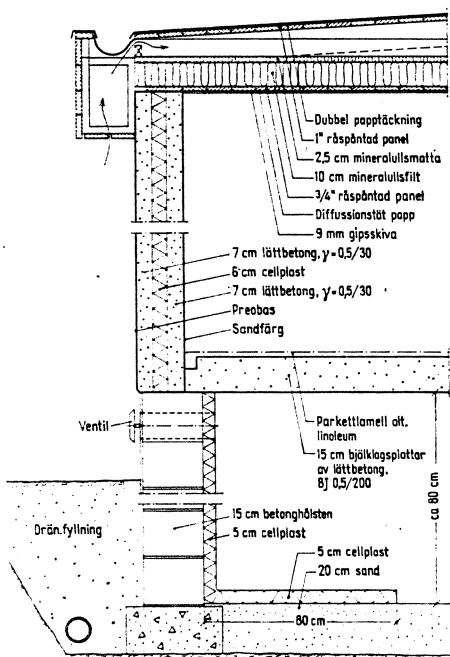


Fig. 5. Sektion genom gasbetonghus S.

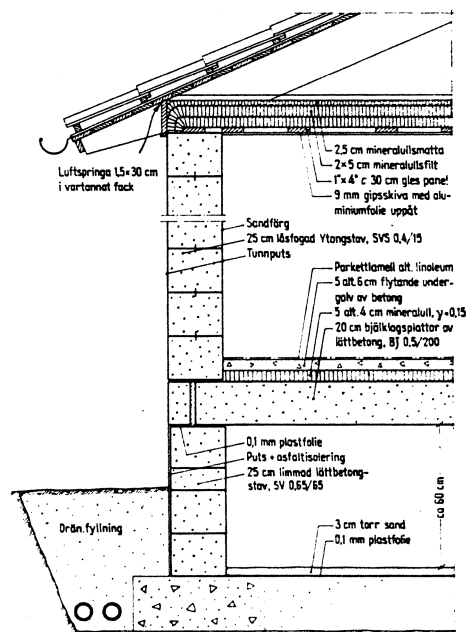


Fig. 6. Sektion genom gasbetonghus Y.

I det följande analyseras mätresultaten i några fall enligt angiven metod. Anpassning har också gjorts till det enklare sambandet

$$n = a + cv \quad (4)$$

Resultat och analys av bestämningarna

a) Tegelhusen

I tegelhusen, som har källare och platsbyggda ytterväggar av skalmurskonstruktion bestämdes ventilationsstorlek i mars 1961 (Höglund 1963). Resultaten

redovisas i tabell 1. Luftomsättningen var störst i hus A. Skillnaden vid tätade fönster- och dörrspringar i de två husen är relativt stor — 0,25 luftomsättningar per timme i hus A mot 0,09 i hus B — till en del beroende på att en uteluftsventil i ett skefferi inte hade stängts och tätats i hus A. Man kan konstatera att även med noggrant tätade fönster- och dörrspringar hade husen en viss, om än svag, luftomsättning. Utan sådana "tätningar" var luftomsättningarna i husen 0,65 resp 0,50 ggr/h. Samtliga fönster saknade tätninglistor. ▶

b) Gasbetonghus S (Siporex)

Resultaten av ventilationsbestämningarna i detta hus med ytterväggar och kryprumsbjälklag av gasbetongelement redovisas i tabell 2 liksom temperatur- och vindförhållanden. Antalet luftomsättningar per timme i detta hus var relativt stort, högst 1,2. Även med tätade fönster- och dörrspringor fanns viss ventilation ca 0,2 luftomsättningar per timme. Av de sju bestämningarna i bostadsdelen gjordes tre i januari 1964 efter det att vissa förändringar vidtagits i två av rummen. Dessa saknade nämligen från början golvbeläggning. Dessutom fanns en provisorisk lucka i golvet för att man skulle kunna komma ned i kryprummet. En plastfolie lades därför ut på golvet i stället för golvbeläggning. På så sätt blev golvet praktiskt taget lufttätt. Antalet luftomsättningar per timme förändrades påtagligt efter denna åtgärd, högsta värdet blev 0,8.

Sambandet mellan vindhastighet och ventilationsgrad har antagits vara linjärt och har för de fyra första bestämningarna beräknats till:

$$n_I = 0,43 + 0,15 v \quad (5)$$

För de tre sista har motsvarande samband beräknats till:

$$n_{II} = 0,39 + 0,07 v \quad (6)$$

där n = antal luftomsättningar per timme

v = vindhastighet m/s

Resultaten antyder ett linjärt samband mellan ventilation och vindhastighet. Vindriktningen har med något undantag varit nära västlig vid samtliga bestämningar. Enligt ekvationerna (5) och (6) ökar antalet luftomsättningar relativt kraftigt med vindhastigheten. Detta är mest påtagligt i det första fallet, ekv (5), vilket torde bero på att visst luftutbyte skett via kryprummet och de rum som saknat golvbeläggning. I grundmurarna finns nämligen ett flertal ventiler, varför luftväxlingen liksom tryckförhållandena i kryprummet påverkas av vindhastigheten.

Det relativt höga värdet på den konstanta termen i ovanstående ekvationer antyder att enbart vindhastigheten inte är en tillräckligt god parameter för att bestämma den ofrivilliga ventilationens storlek.

c) Gasbetonghus Y (Ytong)

Resultaten av ventilationsbestämningarna i detta hus med ytterväggar av låsfogad gasbetongstav redovisas i tabell 3 liksom temperatur- och vindförhållanden. Åtta bestämningar har gjorts i bostadsdelen vid varierande klimatbetingelser. Antalet luftomsättningar har varierat mellan 0,58 och 0,85 ggr/h. Vid tätade fönster- och dörrspringor har antalet luftomsättningar uppgått till 0,10 ggr/h. Resultaten visar att väggarna av låsfogad gasbetongstav blivit tillfredsställande täta genom behandling med utvändig tunnputs och sandfärg + tapet eller målning invändigt. Det kan dock tänkas att tätheten ändras sig med ökad ålder. Amerikanska undersökningar visar att ventilationen är större i äldre hus än i nya (Coblentz och Achenbach 1963).

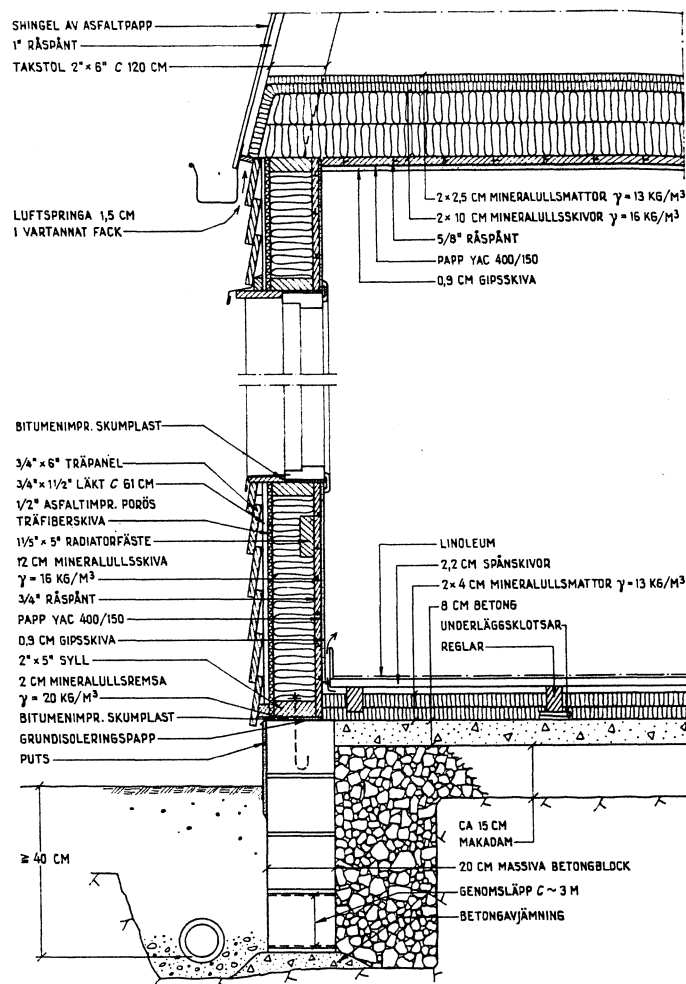


Fig 7. Vertikalsektion genom ytterväggskonstruktionen i regelhuset omfattande även anslutningar mot fönster, vindsbjälklag och yttertak, samt golv och grund.

Datum	Uteluft-temp °C	Vindhastighet m/s	Vindriktning	Luftomsättning ggr/h	Mätplats och förutsättningar
21.3.63	-3,0	1,2	V	0,65	Bostadsdelen ²⁾
9.4.63	+8,0	3,2	V	0,80	"
10.4.63	+1,0	2,1	O	0,75	"
15.4.63	+6,5	4,7	—	1,20	"
10.1.64	-0,4	1,0	SV	0,45 ¹⁾	"
21.1.64	+6,2	6,1	V	0,80 ¹⁾	"
22.1.64	+4,0	4,2	NV	0,70 ¹⁾	"
17.4.64	+8,8	2,0	S	0,18	Bostadsdelen. Ventiler stängda. Fönster- och dörrspringor tätade

Tabell 2. Den ofrivilliga ventilationens storlek i gasbetonghus S, (Siporex). 1) Vid mätningarna i januari 1964 har en plastfolie varit utlagd på golvet i två mindre sovrum som saknade golvbeläggning. 2) Lufttemperaturen i bostadsdelen har varit konstant vid +22° C.

Datum	Uteluft-temp °C	Vindhastighet m/s	Vindriktning	Luftomsättning ggr/h	Mätplats och förutsättningar
7.11.63	-6,4	1,8	SO	0,65	Bostadsdelen ¹⁾
16.11.63	+3,0	5,1	NV	0,80	"
19.11.63	+6,5	5,0	V	0,60	"
5.12.63	+2,5	1,1	V	0,67	"
10.12.63	+1,4	0,4	V	0,67	"
8. 2.64	-4,7	0,6	SV	0,58	"
9. 1.64	-1,0	2,6	SV	0,85	"
1. 4.64	+5,2	3,3	NV	0,75	"
15. 4.64 16. 4.64 ²⁾	+5,5	1,4	SV	0,10	Bostadsdelen. Ventiler stängda. Fönster- och dörrspringor tätade
12. 3.64	+4,2	1,6	O	0,80	Vindutrymme

Tabell 3. Den ofrivilliga ventilationens storlek i gasbetonghus Y (Ytong). 1) Lufttemperaturen i bostadsdelen har varit konstant +22° C. 2) Detta försök har tagit 13 timmar.

Sambandet mellan vindhastighet och antal luftomsättningar i gasbetonghus Y har beräknats till:

$$n = 0,66 + 0,018 v \quad (7)$$

$$(r_{nv} = 0,35)$$

Antalet luftomsättningar ökar endast obetydligt med vindhastigheten enligt ekvation (7). Av ekvationen framgår att när vindhastigheten är nära noll är ventilationen betydande. Det låga värdet på korrelationskoefficienten liksom det höga värdet på den konstanta termen antyder också att det förutom vindhastigheten krävs ytterligare parametrar för att bestämma ventilationsgraden.

Inverkan av lufttemperaturskillnaden inne—ute ($\Delta\vartheta$) på ventilationens storlek har studerats enligt hypotesekv (3) (som testats med hjälp av matrisberäkning) d v s

$$n = a + b \Delta\vartheta + cv$$

De bestämda värdena på konstanterna a, b och c framgår av ekvationen:

$$n = 0,50 + 0,007 \Delta\vartheta + 0,025 v \quad (8)$$

$$(r_{nv}, \Delta\vartheta = 0,49); (r_n \Delta\vartheta, v = 0,31)$$

där n = antal luftomsättningar per timme

$\Delta\vartheta$ = lufttemperaturskillnad inne—ute °C

v = vindhastighet m/s

$r_{nv}, \Delta\vartheta$ och $r_n \Delta\vartheta, v$ = partiella korrelationskoefficienter

Denna analys antyder att temperaturskillnaden inne—ute har betydelse för ventilationens storlek. Värdet på den konstanta termen är fortfarande relativt högt. En orsak till att sambandet är relativt svagt torde vara att vindriktningen varierat vid de olika mätningarna. Detta förhållande har sannolikt varit av stor vikt eftersom en betydande del av luftläckningen, som inledningsvis framhållits är koncentrerad till dörr- och fönsterspringor. De senare är i detta hus inte jämnt fördelade i olika väderstreck. Andersson 1967 har t ex funnit att vindkantring kan medföra att luftomsättningen kan variera mellan ca 0,4 och 1,0 ggr/h vid en medelvindhastighet av 5 m/s. Absolut sett indikerar ekvationen emellertid att vintertid har temperaturskillnaden inne—ute, när den varierar mellan exempelvis 10°C och 30°C, en inverkan på ventilationsgraden som är av samma storleksordning som vindhastighetens.

Datum	Uteluft-temp °C	Vindhastighet m/s	Vindriktning	Luftomsättning ggr/h	Mätplats och förutsättningar
23.10.64	-7,6	3,5	SO	0,55	Bostadsdelen ¹⁾
28.10.64	+5,0	0,8	SV	0,40	
23.11.64	-1,2	1,3	SV	0,55	
16.12.64	-0,1	1,5	SV	0,63	
17.12.64	-0,2	0,2	SV	0,40	
7. 1.65	-3,0	2,5	SV	0,55	
14. 1.65	-2,1	6,7	S	0,93	...
17.12.64	-0,1	1,5	S	0,90	Vindsutrymme
17.12.64	-0,1	0,9	S	0,45	
14. 1.65	+2,8	7,2	S	2,85	
23. 1.65	-1,5	1,1	S	0,70	
20. 1.65	-1,0	2,1 ²⁾	NO	0,175	Bostadsdelen. Ventilator stängda. Fönster och dörrspringor tätade
21. 1.65 ³⁾	-1,0	2,1 ²⁾	NO	0,175	

Tabell 4. Den ofrivilliga ventilationens storlek i regelhuset. 1) Lufttemperaturen i bostadsdelen har varit konstant +22°C. 2) Detta försök har tagit drygt 17 timmar. 3) Högsta timmedelvärdet 3,5 m/s. Lägsta timmedelvärdet 1,0 m/s.

d) Regelhuset

Resultaten av ventilationsbestämningarna i regelhuset redovisas i tabell 4, liksom klimatförhållandena vid varje bestämning. Totalt har sju bestämningar gjorts i bostadsdelen. Antalet luftomsättningar har varierat mellan 0,40 och 0,93 ggr/h i bostadsdelen.

Vid stängda ventiler och tätade fönster- och dörrspringor har antalet luftomsättningar i regelhuset bestämts till 0,18 ggr/h. Detta synes vara ett lågt värde för ett trähus.

Samvariationen mellan vindhastighet och luftomsättning har som tidigare i en första ansats antagits vara linjär och har beräknats till:

$$n = 0,39 + 0,073 v \quad (9)$$

$$(r_{nv} = 0,90)$$

där n = antal luftomsättningar per timme

v = vindhastighet m/s

r_{nv} = korrelationskoefficient

Sambandet mellan luftomsättningarna och vindhastigheten är starkt att döma av korrelationskoefficienten. Det höga värdet på denna torde till stor del bero på att vindriktningen varit nästan densamma vid alla försöken, varför läckningsvägarna för luften också kan antas ha varit desamma. Ekvationen visar att även i detta fall är ventilationen betydande när vindhastigheten är nära noll. Detta synes på nytt visa att enbart vindhastigheten inte är en tillräckligt god parameter för att bestämma ventilationsgraden. Därför har sambandet mellan ventilationsgraden å ena sidan och temperaturskillnaden inne—ute samt vindhastigheten å andra sidan bestämts också i detta fall.

För regelhuset har därvid med beteckningar enligt föregående följande samband erhållits:

$$n = 0,15 + 0,012 \Delta\vartheta + 0,077 v \quad (10)$$

$$(r_{nv}, \Delta\vartheta = 0,93) (r_n \Delta\vartheta, v = 0,54)$$

Koefficienterna i denna ekvation i likhet med motsvarande resultat från gasbetonghus Y, antyder att vintertid har temperaturskillnaden inne—ute en inverkan på ventilationsgraden som är av samma storleksordning som vindhastighetens inverkan. Detta skulle betyda att även vid låga vindhastigheter förekommer en betydande ventilation vid låga utetemperaturer.

e) Ventilation av vindsutrymmen

Fyra bestämningar av ventilationens storlek har också gjorts i vindsutrymmet till regelhuset (ventilationsarea 7—8 cm²/m² bjälklagsyta). Luftomsättningen har varierat mellan 0,45 och 2,9 ggr/h. Vid en bestämning i gasbetonghus Y (8—9 cm²/m²) har en luftomsättning av 0,8 ggr/h erhållits. För vindsutrymmets ventilation har temperaturförhållandena liten inverkan av två skäl: dels finns det relativt stora ventilöppningar endast vid takfoten, varför neutrala zonen sannolikt ligger nära dessa öppningar, dels har temperaturen i vindsutrymmet under vintern endast obetydligt överstigit utetemperaturer.

Hus	Datum	Vindriktning	Vindhastighet m/s	Utelufttemp. °C	Lufttemp. krypprum °C	Öppen ventilarea cm ² /m ² bjälklagsyta	Antal luftoms ggr/h
S-huset	28.2.64	S	1,6	+0,1	ca +9,0	7	1,25
..	28.2.64	S	1,5	-0,3	ca +9,0	0	0,24
Y-huset	5.3.64	ONO	0,9	-0,9	ca +9,0	ca 2	0,43
..	5.3.64	ONO	0,8	-1,0	ca +9,0	0	0,14

Tabell 5. Antalet luftomsättningar i krypprum (gasbetonghus S och Y).

Vindhastigheten har däremot haft en påtagligt stor inverkan på luftomsättningen.

f) Ventilation av krypprum

I samband med undersökningarna i gasbetonghus S och Y har bestämningar av ventilationsgraden i krypprummen också utförts. Antalet luftomsättningar har därvid bestämts dels vid helt öppna ventiler dels vid helt stängda ventiler. Resultaten har sammanställts i tabell 5. Vid öppna ventiler (7 cm²/m² bjälklagsyta) har antalet luftomsättningar i gasbetonghus S uppgått till 1,25 ggr/h och i gasbetonghus Y till 0,43 ggr/h. Ventilarean har varit betydligt mindre i detta senare hus (2 cm²/m² bjälklagsyta).

Resultaten visar att ventilarean och vindhastigheten har stor inverkan på antalet luftomsättningar. Även vid helt stängda ventiler har en viss luftväxling kunnat ske, vilket torde bero på otätheter i grundmurar och på svårigheten att helt kunna stänga ventilerna.

Jämförelse mellan ventilationsgraden i de svenska småhusen och i amerikanska småhus

I figur 8 har de beräknade sambanden mellan antalet luftomsättningar och vindhastigheten redovisats för gasbetonghusen och regelhuset. För gasbetonghus S har båda de beräknade sambanden redovisats. Som jämförelse har också bestämningarna i tegelhusen inritats. Av figuren framgår att för uppmätta vindhastigheter vid provhusen lägre än 5 m/s (lufttemperaturskillnad inne—ute = 15—20° C) varierar den ofrivilliga luftomsättningen i de fem provhusen under eldningssäsongen mellan 0,4 och 0,8 ggr/h (om man undantar gasbetonghus S I, vars utförande enligt tidigare avvikit från normalfallet). För de fem provhusen har under eldningssäsongerna medelvindhastigheten uppgått till 2—3 m/s. Motsvarande luftomsättning är ca 0,6 ggr/h. Differensen mellan de olika husen har varit mycket liten för de aktuella vindhastigheterna trots att konstruktionerna varit helt olika.

Coblentz och Achenbach 1963 har bearbetat resultat från luftomsättningsmätningar i två amerikanska hus gjorda av Bahnfleth et al 1957. Därvid har följande samband erhållits:

$$n = 0,15 + 0,009 \Delta\vartheta + 0,029 v \quad (11)$$

Den genomsnittliga luftomsättningen har vintertid absolut sett varit relativt låg i dessa båda amerikanska hus.

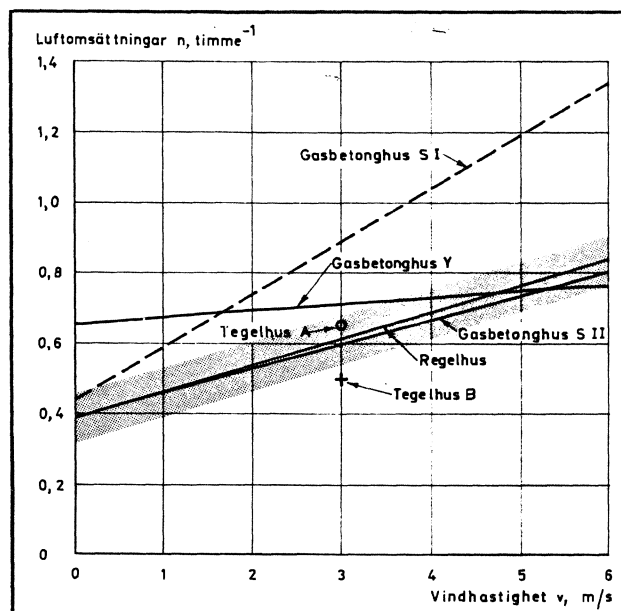


Fig. 8. Samband mellan antalet luftomsättningar och vindhastighet i de fem provhusen. Den streckade linjen som är markerad med "Gasbetonghus S 1" visar sambandet mellan luftomsättning och vindhastighet då ett av rummen saknat golvbeläggning, varvid luft läckt mellan bostadsdel och krypprum (se text). Bortsett från dessa resultat har luftomsättningarna i de olika husen varit av samma storleksordning. För normala vindhastigheter har antalet luftomsättningar under vintern varierat mellan ca 0,5 och ca 0,7 ggr/h.

Stor omsorg har nedlagts för att göra lufttäta konstruktioner, vilket också har lyckats.

Laschober och Healy 1964 har för ett hus, som har en något ovanlig utformning och en konstruktion som visat sig vara relativt känslig för luftläckage, erhållit sambandet:

$$n = 0,11 + 0,029 \Delta\vartheta + 0,188 v \quad (12)$$

Vinden har som synes stor inverkan på luftomsättningen i detta fall.

Resultatet från regelhuset syns i princip överensstämma väl med dessa ekvationer, se ekv 10.

I tabell 6 redovisas som jämförelse några bestämda luftomsättningar i tio amerikanska småhus (Coblentz och Achenbach 1963). Alla husen har regelväggar. Fasadbeklädnaden är av trä, tegel eller sten. De bestämda luftomsättningarna i husen med sten- och tegelbeklädnad har genomgående varit lägre än i de renodlade trähusen. Ventilationens storlek i de olika husen har varierat relativt mycket, men vid huvuddelen av bestämningarna har antalet luftomsättningar varierat mellan ca 0,4 och 0,9 ggr/h. Detta är således samma storleksordning på luftomsättningarna som erhållits i våra fem svenska provhus. De uppmätta värdena i tabell 6 har också omräknats till att gälla för en viss vindhastighet, 4,5 m/s, och en viss temperaturskillnad inne—ute, 22° C, enligt ekv (11). De korrigerade medelvärdena för de tio amerikanska småhusen ligger mellan ca 0,5 och 1,0 ggr/h. Med samma randvillkor erhålls exempelvis

för vårt svenska regelhus enl ekv (10) en luftomsättning av ca 0,8 ggr/h.

Avsikten med omräkningen har varit att kunna göra jämförelser mellan de olika husens luftomsättningstal. En sådan omräkning är dock diskutabel eftersom koefficienterna i formeln strängt gäller för endast ett enda hus. Dessa koefficienter beror nämligen på konstruktion, material, hustyp (exempelvis antal våningar), antal fönster och dörrar samt flera andra faktorer. Arbetsutförandet är också en okänd men betydelsefull faktor i de refererade amerikanska försöken.

De fem svenska provhusen har byggts med noggrant arbetsutförande. I synnerhet beträffande regelhuset har stor omsorg lagts ned för att få ett tätt hus. När fönster- och dörrspringor tätats och ventiler stängts har låga värden på luftomsättningarna erhållits i alla fem husen. I figur 9 jämförs luftomsättningarna pr timme när husen varit "tätade". Man finner att de lägsta värdena, ca 0,1, har erhållits i tegelhus B och gasbetonghus Y. I regelhuset har så låg luftomsättning som 0,18 ggr pr

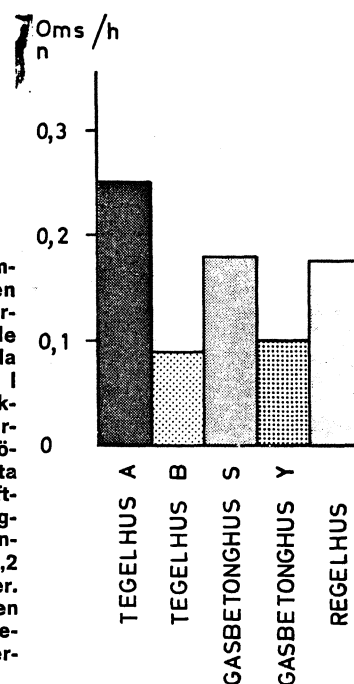


Fig 9. Den bestämda luftomsättningen i de fem provhusen när alla fönster och dörrspringor varit särskilt tätade med lufttät tape och när alla alla ventiler varit stängda. I tegelhus A har dock en friskluftventil varit öppen vid försöket, vilket förklarar den höga luftomsättningen i detta hus. Resultaten visar att luftläckningen genom golv-, vägg- och takkonstruktionerna vintertid bidrar med 0,1 à 0,2 luftomsättningar per timmer. Den dominerande läckningen syns sålunda vara koncentrerad till ventiler och fönster- och dörrspringor.

Objekt	Antal vån	Ytterväggskonstruktion	Typ av grundläggning	Husens ålder år	Vind		Temperaturskillnad inne—ute °C	Antal luftomsättningar per timme		
					medelhastighet m/s	riktning		uppmätta	korrigerade mätvärden till 4,5 m/s och 22° C temp-skilln enligt ekv (11)	
									mätvärde	medelvärde
A	1	Fasadtegel utanpå träregelstomme	Kryprum	20	6,7 6,7 6,7 6,7	SV V VNV V	25 25 27 26	0,84 0,77 0,77 0,58	0,71 0,65 0,63 0,48	0,62
B	1	Träregelstomme	Källare	30	2,7 2,7 4,9	N N S	23 24 24	0,71 0,56 0,91	0,78 0,61 0,86	0,75
C	1	Fasadtegel utanpå träregelstomme	Kryprum och källare	Nytt	4,9 6,7 4,5	SV SV SSV	15 13 13	0,51 0,42 0,35	0,57 0,44 0,43	0,48
D	2	Träregelstomme	Källare	20	5,8 5,4 4,5	SSV SSV SV	14 11 16	1,14 0,84 0,67	1,24 0,99 0,76	0,99
E	2	Träregelstomme	Källare	40	4,9 4,5 2,7 4,9	V V NV N	23 23 24 25	0,99 0,81 0,76 0,94	0,95 0,80 0,81 0,87	0,86
F	1	Stenbäckad på träregelstomme	Källare	Nytt	2,7 5,4 3,6	VSV VSV VSV	30 28 26	0,55 0,39 0,23	0,53 0,34 0,23	0,37
G	1	Träregelstomme	Kryprum	Nytt	2,7 2,7	NV SV	27 28	0,57 0,42	0,58 0,42	0,50
H	2	Träregelstomme	Kryprum	40	2,7 2,7 3,6	NO—SV SV NV	21 24 29	0,74 0,60 0,69	0,85 0,65 0,64	0,71
I	2	Fasadtegel utanpå träregelstomme	Källare	Nytt	4,9	V	26	0,52	0,48	0,48
J	1	Fasadtegel utanpå träregelstomme	Platta på mark	Nytt	2,7 3,6	NO V	24 35	0,58 0,81	0,63 0,68	0,66

Tabell 6. Den ofrivilliga ventilationens storlek i tio elektriskt uppvärmda småhus enligt Coblentz och Achenback 1963.

timme erhållits. Detta visar att man kan nå god lufttät-
het också hos ett trähus med differentierade funktioner
hos de olika ingående materialskikten.

Slutord

Den ofrivilliga ventilationens storlek, uttryckt som
luftomsättningar pr timme, har under eldningssäsongen
varierat mellan 0,4 och 0,8 vid vindhastigheter upp till
5 m/s och en lufttemperaturskillnad ute—inne mellan
15—25° C. Som riktvärde bör 0,5—0,7 ggr/h kunna
tillämpas för flertalet småhus eftersom i försökshus-
serien ingår de vanligaste typerna av material och kon-
struktioner. Dessutom har olika byggmetoder tillämpats.
Resultaten överensstämmer också väl med amerikanska
värden från olika typer av småhus.

Undersökningarna i samtliga provhus visar att huvud-
delen av luftläckningen i ett småhus sker genom skorsten,
ventiler, springor vid fönster och dörrar. Resultaten vi-
sar sammanfattningsvis att genom golv-, vägg- och tak-
konstruktionerna är luftläckningen relativt liten — luft-
omsättning ca 0,1—0,2 ggr/h.

Analys av försöksresultaten visar att både vindhastig-
heten och temperaturskillnaden inne—ute påverkar
antalet luftomsättningar. Luftomsättningen per tim-
me, n , kan uttryckas som funktion av temperatur-
skillnaden ute—inne $\Delta\vartheta$, och vindhastigheten, v , på
följande sätt:

$$n = a + b \Delta\vartheta + cv$$

där a , b och c är konstanter som beror på bl a konstruk-
tion och utförande. Vintertid har temperaturskillnad och
vindhastighet en inverkan av samma storleksordning
på den ofrivilliga ventilationen.

I två hus har även ventilationsgraden i vindutrym-
mena bestämts. Resultaten visar att ventilationen där
kan vara hög — luftomsättningar upp till ca 3 ggr/h.
Den är starkt beroende av vindhastigheten/ventilarea
vilket också gäller för kryprum.

Litteratur

Andersson, L O 1967: *Vindens påverkan på en byggnads-
kropp från ventilationsteknisk synpunkt*. Lic arbete vid

Institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik,
KTH

ASHRAE Handbook of Fundamentals 1967, American So-
ciety of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning En-
gineers Inc., New York

Bahnfleth, D R, Moseley, T D and Harris, W S 1957:
Measurements of infiltration in two residences. Part I
Technique and measured infiltration. Part II Comparison
of variables affecting infiltration. ASHRAE Transactions,
Vol 63 New York

Coblentz, C W and Achenbach, P R 1963: *Field measure-
ments of air infiltration in ten electrically-heated houses*.
ASHRA Transactions, Vol 69, New York

Dick, J B 1949: *Experimental studies in natural ventilation
of houses*. J. Inst. Heat. Vent. Eng. 17

Elmroth, A 1966: *Fukt och temperaturförhållanden i kryp-
rum*. Lättbetong nr 1

Eriksson, B E 1962: *Bostadsventilation. Fältundersökningar
av bostadsventilationens funktion och ventilationskanalers
täthet*. Byggforskningen, rapport nr 77, Stockholm

Höglund, I 1963: *Värmeförluster i småhus — resultat från
två försökshus*. Handlingar nr 43 från Statens råd för
byggnadsforskning, Stockholm

Ingelman-Sundberg, M 1966: *Vindtunnelprov på markbund-
na objekt*. Teknisk Tidskrift nr 13

Jordan, R C, Erickson, G A and Leonard, R R 1963:
Infiltration measurements in two research houses. ASH-
RAE Transactions, Vol 69, New York

Laschober, R R and Healy, J H 1964: *Statistical analyses
of air leakage in split-level residences*. ASHRAE Trans-
actions, Vol 70, New York

Min, T C 1958: *Winter infiltration through swinging-door
entrances in multistorey buildings*. ASHRAE Transactions.
Vol 64, New York

Rydberg, J 1968: *Om ventilationssystemens funktion*. VVS nr
2

Rydberg, J och Arnell Å 1949: *Ventilationens storlek i bo-
städer*. Statens kommitté för byggnadsforskning, medde-
lande nr 15, Stockholm

Tamura, G T and Wilson, A G 1964: *Air leakage and
pressure measurements on two occupied houses*. ASH-
RAE Transactions, Vol 70, New York

Tamura, G T and Wilson, A G 1966: *Pressure differences
for a nine-storey building as a result of chimney effect
and ventilation system operation*. ASHRAE Transactions,
Vol 72, Part I, p 180, New York