

ENERGIBESPARANDE ATGÄRDER INOM
VENTILATIONSOMRADET

CHRISTER HARRYSSON, BYGG OCH
ENERGITEKNIK

PÅ UPPDRAG AV TRÄTEKNIKCENTRUMS
STYRGRUPP TRÄHUS

MARS 1982

RAPPORT NR 125

TräteknikCentrum

Datum

Beteckning

Tjänsteställe/handläggare

Ert datum

Er beteckning

... Till
Trähustillverkare inom stiftelsen
för svensk trämanufakturteknisk forskning
...

Härmed översänds rapport 125 Energibesparande åtgärder inom ventilationsområdet av Christer Harrysson.

Avsikten med rapporten är att belysa det komplexa samband som råder mellan mikroklimat - ventilationssystem - byggnad- brukare samt antyda inom vilka områden kunskapsbrister föreligger. Avsikten är också att ge synpunkter på och skissera förutsättningar för olika energisparåtgärder inom ventilationsområdet.

Rapporten har utförts på uppdrag av TräteknikCentrums styrgrupp Trähus. Ytterligare exemplar kan beställas hos Träteknik-Centrum tel 08-23 15 25 till ett pris av kr 50:-.

Hälsningar


May Olsson

Träteknisk forskning och utveckling Research and development into timber and timber based products

Postadress
Box 26002
100 41 Stockholm

Gatuadress
Drottning Kristinas väg 69B

Telefon
08-23 15 25

Telex
108 80
woodres

Bankgiro
220-51-10

Postgiro
519 29-8

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sid

1	INLEDNING	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Småhusets energibalans	2
2	VENTILATIONSBEHOV OCH VENTILATIONSBEGRÄNSNING	4
2.1	Komfort- och hälsokrav	4
2.2	Risk för byggnadsskador	11
2.3	Energihushållning och övriga normkrav	12
3	LUFTLÄCKNING	14
3.1	Mikroklimat	14
3.2	Teoretisk beräkningsmodell	15
3.3	Inverkan av fläkt	17
3.4	Inverkan av ventiler	20
3.5	Samverkan mellan byggnad, ventiler och fläkt	21
3.6	Empiriskt bestämd luftläckning vid Modulents undersökningar. Jämförelser med beräknade värden	28
4	ENERGIBESPARANDE ÅTGÄRDER	31
4.1	Ventilationsförlusternas del i byggnadens energibalans	31
4.2	Vikten av helhetssyn vid val av energibesparande åtgärder. Exempel på åtgärder inom ventilationsområdet	31
4.3	Val av täthetsnivå och ventilationstyp	33
4.4	Systemuppbyggnad och produktionsaspekter	35
5	EKONOMI	40
5.1	Kostnadsaspekter	40
5.2	Låneunderlag	41
6	SLUTORD	43
7	SAMMANFATTNING	45
8	REFERENSER	49

BILAGOR

1. Bengt E Erikson: Ventilationen ofta dålig i nybyggda enbostadshus. VVS nr 4, 1979.
2. John Eric Ekstrand m fl: Ventilation i småhus. Kunskapsbrist minskar energisparandet, Byggmästaren nr 5, 1980.
3. Per Olof Nylund: Energisparande - huvudvärk för både byggare och installatörer. VVS 7-8, 1981.
4. Primärmaterial från Modulents energiprojekt. Perstorp och Provhus 5 m m. [6], [7], [8].
5. Per-Åke Strandsäter: System F kortsluter ventilationen, VVS nr 9.
6. Christer Harrysson: Vattenburen värme för nya småhus dyrare än direktel. VVS nr 5, 1981.
7. Christer Harrysson: Energibesparande ventilations-tekniska åtgärder. Elinstallatören nr 8, 1980.
8. Jämförelser mellan beräknade och uppmätta luftväxlingar baserat på teorier enligt [28].
9. Christer Harrysson: Ventilationen lika viktig som tätheten. VVS nr 3, 1977.

FÖRORD

Avsikten med föreliggande undersökning är att belysa det komplexa samband som råder mellan mikroklimat - ventilations-system - byggnad - brukare samt antyda inom vilka områden kunskapsbrister föreligger. Dessutom är avsikten att ge synpunkter på och skissera förutsättningarna för olika energisparåtgärder inom ventilationsområdet.

Avsnitt 2 baseras till vissa delar på en Programutredning [11] som genomförts vid CTH finansierad av Statens råd för byggnadsforskning. Till grund för avsnitt 3.2 baseras huvudsakligen på en rapport av Handa och Gustén [9].

Civilingenjör Jan Gustén har gett mig många viktiga synpunkter på manuskriptet. Civilingenjör Ulf Bergström LB-hus AB har varit Träteknikcentrums kontaktman samt gett många goda råd under planläggningen av projektet och rapportarbetet.

Ett särskilt tack riktas till civilingenjör Åke Thorn Masonite AB, ingenjör Stig Jansson Hjaltevadshus AB, John Eric Ekstrand VVS-konsulten i hässleholm ab samt civilingenjörerna Mats Sandberg och Anders Svensson, Statens institut för byggnadsforskning som granskat och förbättrat manuskriptet genom goda råd. Utskriften har utförts av fru Christina Kappen. Figurerna har ritats av ingenjör Henrik Ohlsson.

Till alla som bidragit till detta projekts genomförande vill jag framföra ett hjärtligt tack.

Falkenberg i mars 1982

Christer Harrysson

1.1 Bakgrund

Bygg- och lånebestämmelser tenderar att i en allt högre grad styra såväl den estetiska som den konstruktiva utformningen av småhus. Pågående utredningsarbete i Planverkets regi i anslutning till det s.k. ELAK-beslutet och normarbete för nästa utgåva av Svensk Byggnorm kan förväntas resultera i ytterligare krav på begränsningar i energiförbrukning för uppvärmning av småhus, [5].

Minskade husstorlekar och satsning på mer energisnåla byggnader har reducerat värmeförlusterna. En prioritering bör ske av åtgärder med låga investerings- och driftskostnader samt lång livslängd, se [5]. Berörda myndigheter bör se till att tänkbara energiåtgärder ger förväntat resultat. Normer och bestämmelser skall skrivas och tillämpas så att teori och verklighet närmar sig varandra.

Kraftigt ökade energipriser har inneburit att man ifrågasatt alla typer av energiförluster från ett småhus och i görligaste mån sökt begränsa dem. Ventilationen är förmodligen den energiandel som blivit mest debatterad, troligen beroende på att frågan ligger i gränsområdet mellan bygg- och ventilationsteknik. Ventilationsförluster genom byggnadens otätheter, s.k. oavsiktlig ventilation och förluster genom kanalsystemet s.k. avsiktlig ventilation beror bl.a. på typen av ventilationssystem och fördelningen kan inte anses vara tillräckligt utredd. Kostnaden för att åstadkomma varaktigt täta hus varierar mellan olika hus typer och företag, [1], [4].

Metoder för att beräkna ventilationsförlusterna finns, se t ex [10], men bör inte användas okritiskt eftersom tillhörande meteorologiska data till stor del saknas. Speciellt gäller detta vindtrycksfördelningen på byggnaden jämte tillhörande temperatur.

Den grundläggande frågan, hur stort ventilationsbehovet är under olika förutsättningar med hänsyn till radon och formaldehyd etc., har varit föremål för diskussion. Normen föreskriver en luftväxling av 0.5 oms/h ($0.35 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$) medan åt-

skilliga fältstudier [1, 15], visar att 0.2-0.3 oms/h är en vanlig total luftväxling i såväl nya som äldre småhus, både vid självdragsventilation och mekanisk frånluftsventilation. Bilagorna 1 och 2. I åtskilliga fall har uppgifter om fuktskador rapporterats, vilka påstås bero på för dålig ventilation. Bristfällig inreglering och olämplig luftfördelning mellan olika rum i ett småhus är troligare orsaker till fuktproblem än för låg ventilation av småhuset som helhet.

1.2 Syfte

Denna utredning syftar till att belysa möjligheter för energibesparing inom ventilationsområdet och omfattar en sammanställning av grundläggande teorier för beräkning av luftflöden genom byggnaders otätheter, ventiler och fläktsystem. De grundläggande teorierna belyses och sätts i sitt totala sammanhang klimatdata (vind, temperatur) - ventilation (luftläckage, avsiktlig ventilation) - byggteknik - energibehov. Faktorer som påverkar ventilationsbehovet diskuteras. Resultaten från flera fältstudier av verkliga luftväxlingar jämförs med normkraven i SBN 1980. Möjligheterna att spara energi genom åtgärder inom ventilationsområdet, såsom bättre tätningar, minskad luftväxling och värmeåtervinning ur frånluften diskuteras utifrån teoretiska och praktiska erfarenheter. Åtgärder inom ventilationsområdet jämförs med andra tänkbara energiåtgärder ur teknisk och ekonomisk synpunkt.

1.3 Ventilationens del i småhusets energibalans

Ett normalt småhus av 1 1/2-planstyp, Figur 1, byggt enligt Värmehushållningsnormen förbrukar normalt ca 20 000 kWh/år fördelat på energi för

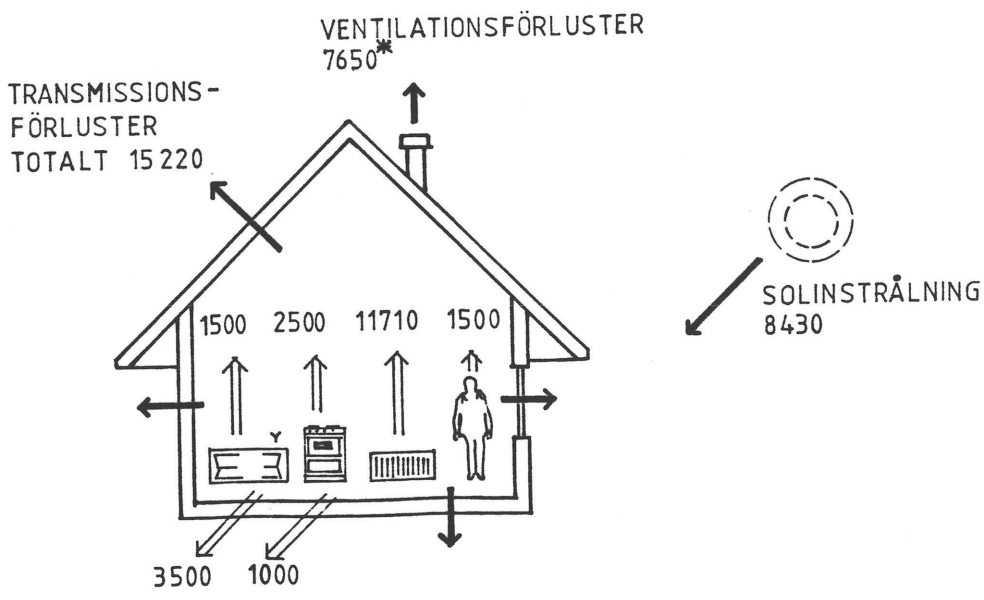
- värmesystemet 10 000 - 12 000 kWh/år
- varmvatten 3 500 - 5 000 kWh/år
- hushållsel 3 500 - 5 000 kWh/år

Uppgifterna om spridning har hämtats från [5]. Variationer i energiåtgång beror på faktorer som är klimatbetingade, brukarbetingade samt konstruktionsbetingade d.v.s. byggnadstekniska, installationstekniska och produktionstekniska. En systematisk översikt av inverkan på faktorer finns i [5].

Vid en total ventilation motsvarande normens krav på 0.5 oms/h uppgår ventilationsförlusterna exklusive fläktens energi under "uppvärmningssäsongen" till 4 750 kWh för ett hus med data enligt Figur 1 och Bilaga 1.

En total ventilation motsvarande 0.3 oms/h - en nivå som visat sig vara vanligt förekommande - minskar energiförbrukningen med 1 900 kWh, Bilaga 1. Flera undersökningar pekar på att 0.3 oms/h är vanligt förekommande. Stora skillnader i luftväxlingar och energiåtgång förekommer även mellan tekniskt identiska hus och med inreglerade ventilationssystem. En studie som refereras i [1] visar skillnader i luftväxling för 25 identiska hus om 0.38 oms/h eller ca 4 000 kWh/år. Orsaken till detta är i första hand variationer i arbetsutförandet. Det traditionella frånluftssystemet bör för bättre funktion utökas med frånluftskanaler till varje utrymme t.ex. sovrum. Därigenom ökar man förutsättningarna för att nå projekterade luftflöden vilket även kan medföra förenklade tilluftsdon.

Vid matlagning finns behov av en forcerad ventilation, vilket medför en luftväxling av 1 oms/h. Detta är aktuellt under högst någon timma per dag och ger endast en marginell ökning av ventilationsförlusterna. Ur energisynpunkt är brukarbetingade vädringsförluster t.ex. vid tobaksrökning och fuktavgivning vid tvätt av större betydelse.



Figur 1 Energibalans för 1 1/2-planshus i Kristianstads-klimat med konstruktioner enligt Värmehushållnings-normen (alla värden i kWh) [7].

*Varav 4 750 kWh/år under "uppvärmningssäsongen".

2 VENTILATIONSBEHOV OCH VENTILATIONSBEGRÄNSNING

2.1 Komfort- och hälsokrav

Kvalitetsbestämmande faktorer

Genom en kombination av sammanhörande värden på olika fysikaliska företeelser såsom lufttemperatur, luftrörelser, luftfuktighet och innehåll av föroreningar kan man karaktärisera inomhusklimatet. Komfortkravens uppfyllande fordrar en anordning för luftrening eller visst minimum av luftväxling. Luftrörelserna måste vara så reglerade att inte besvärande dragkänsla uppkommer på grund av alltför höga, lokala lufthastigheter. Den lägsta acceptabla luftväxlingen bör i princip vara en funktion av inneluftens egenskaper, de i byggnaden bedrivna verksamheterna, brukarkategorierna samt tillgänglig utrustning för luftbehandling. Betydande svårigheter finns därför när det gäller att ange lämpliga tröskelvärden i olika fall. Varierande klimatkomfort inomhus kan uppkomma beroende på hur tilluftsflödet fördelas i rummet, blandningsgraden och tilluftsdonens placering.

Sambandet mellan lukt och behovet av ventilation är oklart då det bestäms av såväl fysiologiska som psykologiska faktorer. Luktintrycket är dessutom annorlunda för den som kommer in i ett rum än för den som befinner sig där. Luftens "friskhet" bestäms av dess ålder definierad som den tid som förflutit sedan den kom in i rummet. Luktintrycket kan ej direkt hänföras till koncentrationen av olika luktpartiklar. Istället har man valt att relatera det till koldioxidhalten.

Luktkriteriet har aktualiserats i samband med ökat antal fukt-skador. Mögel ger ofta upphov till lukt som infekterar kläder och inredning. Luktkriteriet har tidigare fungerat som ventilationsbestämmande faktor och bildat underlag för normer. Det kan fortfarande betraktas som relevant då det täcker många gasformiga ämnens effekt. Det är också en indikator på felaktig funktion hos ett luftbehandlingssystem.

Koldioxid

Den för luftkomforten erforderliga ventilationsgraden har förenklat relaterats till det aktuella utrymmets halt av kol-

dioxid. Riktvärden för tillåtna mängder av CO_2 har emellertid inte alltid varit tillgängliga för den tilltänkta rumskategorin. Det yrkeshygieniska gränsvärdet 0.5% kan för bostäder behöva jämkas uppåt med hänsyn till osäkerheter om ventilationens effektivitet, spridning i rummet, brukarnas aktivitetsnivå, störningar i form av lukt och besvärande hög luftfuktighet. Efter en sådan modifikation kommer koncentrationsgränsen för CO_2 att svara mot ett ventilationsbehov på ca 10-15 m^3 per person och timma. Detta skulle i sin tur med vissa antaganden om rumsstorlek och personantal kunna översättas i vissa lägsta nivåer på luftomsättningen. Som jämförelse kan nämnas att man med avseende på personlig hygien kan anse 0.12% vara ett rimligt värde [16].

I ett sovrum för två personer om exempelvis 12 m^2 golvyta skulle den erforderliga ventilationen bli 0.6-1.0 oms/h. För ett normalt småhus med 4 personer och volymen 414 m^3 , Figur 1, erhålls 0.1-0.2 oms/h, för huset som helhet.

Verksamheter som matlagning eller tobaksrökning påverkar i hög grad luftkvaliteten och ventilationsbehovet. Det termiska klimatet påverkas såväl av luftens och rumsytornas temperatur som lufthastighet, luftfuktighet och människans beklädnad.

De boende avger vattenånga, uppskattningsvis ca 40 g per timme vid vila [14]. Matlagning och tvättning bidrar till en ökad fukt i inomhusluften. Den luftmängd som behövs för att hålla fukthalten på rimlig nivå är vanligen lägre än vad som krävs för CO_2 -halten. Luftfuktigheten kan dock vid låg ventilationsnivå skapa lämpliga betingelser för mögelsvamp. Denna orsakar speciella problem för allergiker och astmatiker.

Luftens fuktighet bestäms av uteluften men också av den fukt- mängd som tillförs bostaden. Vår uppfattning av luftens torrhet och kvalitet är i hög grad beroende av lufttemperaturen. Speciellt kan problem uppstå vid hög eller låg relativ fuktighet i kombination med höga temperaturer. Håller man inneterperaturen mellan 20-21°C kan ur komfortsynpunkt en variation av relativa luftfuktigheten mellan 25 och 60% accepteras [17]. Ur mögelsynpunkt kan 60% vara för högt.

Lufthastigheten bör enligt SBN 1980 ej överstiga 0.20 m/s i vistelsezonen för att besvärande drag ej skall uppkomma. Höga lufthastigheter kan förekomma vid otäta fönster och dörrar samt vid olämpligt placerade och utformade ventilationsdon.

Speciella föroreningar

Några luftföroreningar blir under vissa förhållanden hälsofarliga. Detta gäller också radioaktiv strålning från byggnadsmaterial och undergrund. Ventilationsbehovet kan då bli större än vad som betingas av normala anspråk på klimatkomfort. Särskilt viktigt är att beakta detta förhållande i täta byggnader med obetydlig oavsiktlig ventilation. Hälsovådliga ämnen finns i färger, lasyrer, limmer osv. De halter av olika gaser som bildas i en bostad, betingas också av använda byggnadsmaterials karaktär och mängd samt av byggnadssättet.

Till byggnadsmaterial bör även räknas fyllnadsmaterial och material i dränerande och kapillärbrytande skikt i och intill grundkonstruktioner.

I det följande berörs några speciellt viktiga typer av föroreningar.

Radon

Under de sista åren har problem i samband med förekomst av radon och radondöttrar uppmärksamats. Koncentrationen av radon är tidsberoende och bestäms av

- koncentrationen i den luft som tillförs huset
- i byggnaden alstrad mängd radon eller radondöttrar
- lägenhetens volym

Mängden gas som diffunderar in i ett rum är beroende av konstruktionens täthet mot diffusion. De största gasmängderna härrör ofta från platta på mark eller bjälklag. Under de senaste åren har ett flertal utredningar genomförts. Dessa har, Figur 2, lett till mer eller mindre provisoriska bestämmelser i syfte att

- förhindra ny bebyggelse på mark som innehåller stora mängder radioaktiva ämnen
- vid nybyggnad begränsa mängden byggnadsmaterial med höga mängder av radioaktiva ämnen

Bestämmelserna har baserats på mycket osäkra riskuppskattningar, vilka förutom strålningsnivå också ska beakta expositionstiden. Risken för skadeverkningar ökar även vid tobaksrökning. Osäkerheten bekräftar också tillgängliga uppgifter om verkliga radonhalter i bostadsbeståndet. Vid riskuppskattningen har ekonomiska konsekvenser av sänkta gränsvärden måste beaktas [18].

Koncentrationen av radon och dess dotterprodukter bestäms av

- tillförsel av radon från rummets begränsningsytor
- bortförsl p g a radioaktivt sönderfall och ventilation

Om rummet ventileras n gånger per timma med "radonfri" ventilationsluft kan radonkoncentrationen R tecknas

$$R = \frac{\lambda}{\lambda+n} R_0$$

där λ = sönderdelningskoefficienten $7.554 \cdot 10^{-3} \text{h}^{-1}$

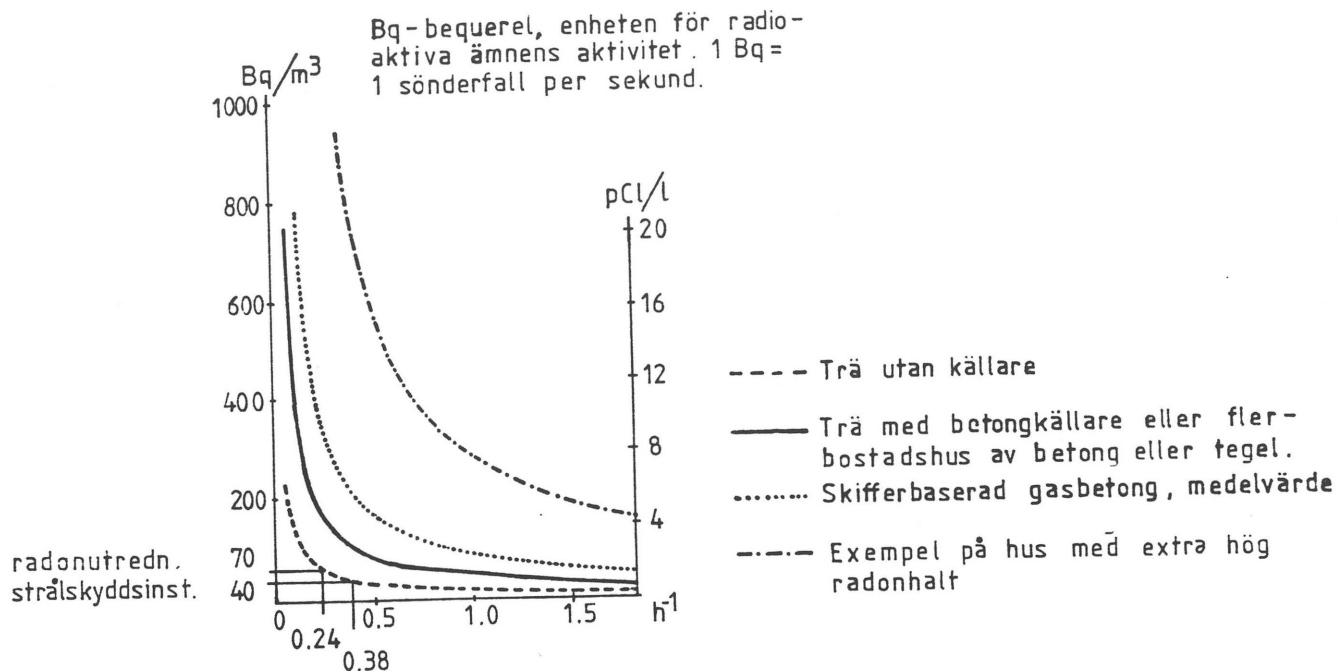
n = antalet luftväxlingar h^{-1}

R_0 = den radonkoncentration som ett material kan ge en lokal

Beroende på luftutbytet kan radonkoncentrationen i en byggnad reduceras enligt nedan

Luftutbytet (oms/h)	R/R ₀ (%)
0	100
0.25	2.9
0.5	1.5
1.0	0.8

Inte heller uteluften är helt radonfri, vilket troligtvis påverkar ovanstående tabellvärden något.



Figur 2 Radonhalten som funktion av luftomsättningen

Formaldehyd

Byggnadsmaterial, inredning och installationer kan sprida formaldehyd. Denna bildas t.ex. av vissa limsorter, som ingår i olika skivmaterial och snickeriprodukter. Det kan också avges från heltäckningsmattor och andra textilier samt från vissa möbelsorter. Enligt Socialstyrelsens rekommendationer till regeringen, 1977, är 0.4 ppm den lägsta koncentrationen som kan medföra något ingripande. Förslaget är fortfarande vilande men den lokala hälsovårdsnämnden kan på eget initiativ vid nivån 0.7 ppm och efter uppmaning från de boende vid 0.4 ppm vidtaga lämpliga åtgärder [19]. Speciellt känsliga personer - som allergiker - kan reagera på koncentrationer ända ned till 0.05 mg/m³.

Fukt och hög temperatur ökar formaldehydavgivningen. Det är därför viktigt att produkter som innehåller formaldehyd inte nedfuktas vid hantering, lagring eller montering. En stor del av de fall med höga formaldehydhalter som förekommit har orsakats av olämplig proportionering av lim eller spånskivor som byggts in i fuktigt tillstånd. Problem av typ radon och formaldehyd bör i första hand lösas genom val av lämpliga byggnadsmaterial i kombination med en ur energihushållnings-

synpunkt rimlig ventilationsnivå. Flera utredningar visar dock att man inte kan lösa problem med höga halter av formaldehyd enbart genom ökad luftväxling. De nämnda åtgärderna kan också bli mindre tillfredsställande om eventuell radonhalt betingas av undergrundens egenskaper. Det är därför väsentligt att angripa orsakerna före symptomen.

Andra substanser

Ett flertal byggnads- och inredningsmaterial som avger gaser har blivit vanliga i våra bostäder. Föroreningar i omgivningsluften består av ett mycket stort antal ämnen, vilket gör det svårt att entydigt påvisa effekter till ett speciellt ämne. Samverkan mellan olika ämnen komplicerar bilden ytterligare. Antalet skadeeffekter, t.ex. i form av allergier och cancer, kan vara ett resultat av tätortsföroreningar snarare än av inomhusluften i våra bostäder.

Luftjoner

Uppbyggnad, påverkan och förekomst av lätta luftjoner är ett ännu ganska outforskat område. Sönderfall av radon och radondöttrar är den process som i första hand påverkar jonbildningen. Andelarna joner med positiv och negativ laddning anger också luftens innehåll av föroreningar. Lätta luftjoner förefaller att ha biologiska effekter men inget entydigt samband med människans hälsotillstånd har ännu klarlagts.

Biologiska mikroorganismer

Mögel och dammkvalster innebär en hälsorisk speciellt för människor med allergisk benägenhet. En dansk undersökning [20] visar att 12% av Danmarks befolkning har problem som orsakats av dammkvalster. I vissa fall kan spridning ske via luftbehandlingssystem.

Ventilationsbehov

Det föreligger svårigheter att formulera väldefinierade kriterier för luftkvalitet baserade på dosexponering och respons för olika ämnen. Helhetsbilden av olika ämnens inverkan påverkas i hög grad av byggnadens ytor och volym eftersom enheterna för kritisk respons har olika konstruk-

tion för olika ämnen t.ex. $1/s$ person, $1/s m^2$, oms/h och Bq/m^3 , figur 2. Det är dessutom sannolikt att även förhållandevis små mängder av olika ämnen i samverkan kan ge upphov till besvär och skäl för klagomål.

Avgivningen från byggnadsmaterial, färger och lim är störst i nybyggda eller nyligen ombyggda hus. Det kan därför vara motiverat - inte minst ur fuktsynpunkt - med en förstärkt ventilation under en begynnelseperiod. Problem som återstår att lösa sammanhänger i första hand med beständighetsfrågor och konsekvenser av täta konstruktioner. En viktig faktor i detta sammanhang är val av material, anvisningar för arbetsutförande, kontroll av detsamma samt information till de boende om ventilationssystemens funktion.

Diskussionen om lämplig ventilationsnivå har begränsats till att gälla antalet luftväxlingar. Inverkan om vädring och dörröppningar beaktas ej. Utan tvekan bidrar för normalt boende detta aktivt till att öka luftväxlingen över dygnet och bör därför beaktas. Inte bara ventilationsbehovet för olika utrymmen och aktiviteter är avgörande för ventilationsförlusternas storlek. Luftbytet mellan olika utrymmen liksom ventilationens "effektivitet" påverkar luftväxlingens storlek för huset som helhet, [15]. Ofta har det dessutom varit oklart om diskussionen avser den totala eller avsiktliga ventilationen.

Det kan diskuteras om den totala luftomsättningen generellt skall fastslås i ett värde oavsett ingående byggnadsmaterial och grundens beskaffenhet. Alternativt borde nyanserade krav ställas på ventilationen genom att tillgodose

- mindre luftväxling för trähus jämfört med t.ex. skifferbaserad gasbetong
- mindre luftväxling för kryprumsgrundlagda hus än för hus med källare respektive hus grundlagda med platta på mark
- högre luftväxling för hus grundlagda på radioaktivt material
- ventilationssystemets "effektivitet" för olika utrymmen
- möjligheterna till varierande luftväxlingar efter behov

2.2 Risk för byggnadsskador

Låg luftomsättning kan äventyra uppfyllandet av de krav som ställs på byggnadsdelars egenskaper. Det kan röra sig om en så småningom inträdande försämring i bärande och isolerande funktioner med eller utan samtidig förstörelse av ingående material. Huvudorsaken till försämringen är en med hänsyn till förhållandena olämpligt hög fukthalt, som emellertid kan reduceras genom ändamålsenligt projekterad och fungerande ventilation. Antalet fuktskador har tenderat att öka. Det stora antalet skadefall kan åtminstone till viss del tillskrivas mer komplexa konstruktioner, vilket ökat risken för byggfel. En bidragande orsak till fuktproblem är också inbyggnad av fuktiga material i förhållandevis täta konstruktioner. Undersökningar visar att produktionsmetoden och därmed klimatbetingelserna under byggnadstiden kraftigt påverkar risken för fuktskador.

Konstruktioner som i klimatskärmen koncentrerar hög värmeisolering och låg diffusionstäthet i skikt mot varma och relativt fuktiga utrymmen, främjar fuktutfall med åtföljande röta, korrosion och reducerad värmeisoleringsförmåga. En vanlig orsak till skador är brister i ventilationssystemets funktion och inreglering. En långvarig förhöjning av luftfuktigheten i täta hus kan ge upphov till bl.a. rötskador på fönster och mögelbildning bakom möbler och inredning. De boende upplever dessa problem i form av kondens på fönster, långa torktider för tvätt samt att luften känns fuktig. SBN 1980 ställer hårdare krav på inreglering än tidigare normer

Den för god funktion erforderliga ventilationen beror av berörda byggnadsdelars konstruktion, ingående materials fukt-känslighet samt karaktären och riktningen hos den luftströmning som sker i klimatskärmen. Det är därför omöjligt att uppställa några allmängiltiga regler. Teoretisk analys av vägg- och takkonstruktioners beteende kombinerad med konstaterade skadefall i praktiken kan dock ge en uppfattning om den luftomsättning som krävs i olika typfall.

Liksom när det gäller komfortanspråken spelar luftens strömningsförhållanden i och mellan en byggnads olika rum stor roll för kravuppfyllelsen. Även om luftomsättningen i stort är acceptabel kan områden med stillastående luft uppträda med

samma betingelser för kondens och mögelbildning. Speciella problem erbjuder helt eller delvis cuppvärmda delar av byggnaden såsom vindar och kryputrymmen. Den för dessa erforderliga ventilationen diskuteras bl.a. i [21] och [22].

2.3 Energiushållning och övriga normkrav

Kravet på energiushållning motiverar i allmänhet en låg luftomsättning och motarbetar därmed tidigare ställda anspråk. Konsekvensen härav bör bli att de minimivärden som kan accepteras ur bl.a. komfort- och hälsosynpunkt utnyttjas vid projekteringen. Det bör dock observeras att den ovannämnda motsättningen inte alltid är så utpräglad. En alltför låg luftomsättning kan leda till nedfuktning av isolermaterial vilket i sin tur föranleder en stegrad värmetransmission. I fall då ventilationssystemet utnyttjar byggnadsdelars värmekapacitet eller undertrycker värmeledning genom klimatskärmen blir sambandet mellan ventilationsnivå och energiushållning mera komplicerat.

Uppgifter om lämplig ventilationsnivå i småhus har sedan Svensk Byggnorm, SBN 1975 presenterades varit föremål för debatt och utredningar. Från det att energiaspekten varit dominerande med en strävan mot en låg ventilationsnivå har skaderisker samt komfort och hälsospekter talat för en högre nivå och därmed ökade ventilationsförluster. Detta beror bl.a. på ventilationssystemets funktion. Projekterade luftflöden nås sällan i praktiken. Kontroll av att nyproducerade småhus uppfyller skäliga anspråk på ventilationssystemens funktion och kvalitet försvåras, genom att ansvarsfrågan för ventilation i småhus hamnat mellan bygg- och VVS-området. "Nyckelfärdigt byggande" med totalansvar gentemot konsumenten innebär ökade förutsättningar för en låg energiåtgång i verkligheten. En strävan mot högre prefabricerings- och åtagandegrad har emellertid de senaste åren försvårats på grund av ökat utbud av småhus med pressade priser och lägre kvalitet. Dubiösa och oemotsagda kalkyluppgifter för konsumenternas verkliga kostnader tros vara en av huvudorsakerna till detta.

Svensk Byggnorm sammanfattar krav på god funktion och att byggnadsmaterial ej får medföra några hygieniska olägenheter i föreskrifter om lägsta luftomsättning. Ventilationen i bostäder skall utformas med utgångspunkt från basvärdet $0.35 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$ lägenhetsyta. Bestämmelserna kompletteras i avsikt att undvika hälsorisker bland annat genom angivande av maximala värden på

formaldehyd- och radonhalt. Specifika regler finns även för bekämpningsmedel mot röta och mögel samt ämnen som av olika anledningar betraktas som hälsofarliga.

Vid utformning av bestämmelser för radon har dessa gjorts beroende av husets läge i byggprocessen,

- befintlig bebyggelse
- befintlig bebyggelse som är aktuell för ombyggnad
- nybyggnad

I befintliga byggnader anses sanitär olägenhet föreligga om radondotternaltens årsmedelvärde överstiger 400 Bq/m^3 . Vid ombyggnad ansåg man sig kunna kräva mer omfattande åtgärder i form av t.ex. installation av mekanisk ventilation och utbyte av starkt radioaktiva fyllnadsmassor runt källarväggar. Riktvärdet valdes till 200 Bq/m^3 . Skulle däremot ingrepp i form av utbyte av bärande stomdelar och utbyte av massor under hus erfordras får detta värde överskridas. Byggnader skall anordnas, så att gammastrålningen i utrymmen där personer stadigvarande vistas uppgår till högst $50 \mu\text{R/h}$.

Föreskriften om en högsta radonhalt av 70 Bq/m^3 inomhus kan innebära att tekniska åtgärder mot radontillförsel från mark och hushållsvatten och mot användningen av byggnadsmaterial med liten radonavgång fordras.

Formaldehydhalten hos spånskivor och plywood, som används i rum där personer stadigvarande vistas har maximerats till 0.04 viktsprocent.

I normen formuleras riktlinjer för att:

- luftkvaliteten i varje rum skall hållas på en sådan nivå att sanitär olägenhet eller hälsofara ej uppstår
- spridning inom ett rum av illaluktande och hälsofarliga gaser begränsas
- spridning till andra rum skall förhindras
- luftströmning mellan rum får endast ske från mindre till mera luftförorenade rum. Antalet överluftsdon via dörröppningar är maximerade till två i serie.
- spridning till det fria av gaser eller ämnen får inte ske i en sådan omfattning att sanitär olägenhet uppstår.

Vid fläktventilation gäller förutom krav på en total luftväxling också riktlinjer för vissa utrymmen. För övriga utrymmen gäller då endast att hygieniska olägenheter ej får uppkomma. Den största risken att utsättas för ett mindre lämpligt inomhusklimat förefaller att finnas i sovrummen.

Självdragsventilation godtas i enbostadshus även om föreskrivna krav på en lägsta luftväxling inte kommer att uppfyllas under alla väderleksförhållanden. Ytterligare forskning erfordras för att klargöra självdragssystemens funktion och framtidsutsikter. Kravet på en högsta medgiven redondotterhalt kan dock innebära att självdragsventilation inte kan godtas. Kravet på energihushållning tillgodoses bl.a. genom maximering av byggnaders otäthetsfaktor definierad som oms/h samt genom föreskrift om förhindrande av oläglig luftläckning genom vissa byggnadsdelar och dessas anslutningar.

3 TEORETISKT BERÄKNAD LUFTLÄCKNING

3.1 Mikroklimat

Luftläckningens storlek bestäms av byggnadens täthetsgrad samt av klimatförhållandena runt och inom byggnaden. Vindförhållandena, temperaturbetingade täthetsvariationer och drivkrafter i eventuellt ventilationssystem skapar en tryckdifferens över klimatskärm och mellanväggar, vilket ger upphov till luftströmning genom befintliga otätheter. Denna påverkar såväl komfortnivån för de boende som effektiviteten och ekonomin för uppvärmnings- och ventilationssystem.

Beräkning av luftinfiltration försvåras av brist på uppgifter om tryckfördelningar erhållna vid fullskålemätningar för olika husformer, bebyggelse typer och egenskaper hos omgivande terräng. De i Svensk Byggnorm angivna formfaktorerna för vindtryck är avsedda för beräkning av vindlaster och kan därför inte utan vidare användas. Vid bestämning av energiförluster vid ventilation är måttliga vindhastigheter med lång varaktighet av större betydelse än kortvariga hastighetstoppar.

3.2 Teoretisk beräkningsmodell

Den av vind och temperatur orsakade tryckdifferensen P_n över element n kan tecknas enligt ekvationen

$$\Delta P_n = P_v - \rho \cdot g \cdot 273 \cdot \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_i} \right) \cdot Z_n \quad (1)$$

där ΔP_n = total tryckdifferens över element n (Pa)
 P_v = tryck orsakat av vind (Pa)
 ρ = luftens densitet (kg/m^3)
 g = tyngdkraftens acceleration (m/s^2)
 T_u = utetemperatur ($^{\circ}\text{K}$)
 T_i = innetemperatur ($^{\circ}\text{K}$)
 Z_n = höjd till element n räknat från en referensnivå (m)

Ekvation (1) kan även uttryckas med hjälp av formfaktorerna C_p och friströmshastigheten V (m/s) i höjd med taknock. Uttrycket får då formen

$$\Delta P_n = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_{pn} - \rho \cdot g \cdot 273 \cdot \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_i} \right) \cdot Z_n + \Delta P_r \quad (2)$$

eller i en förenklad form

$$\Delta P_n = 0.6 \cdot V^2 \cdot C_{pn} + 0.04 \cdot (T_u - T_i) \cdot Z_n + \Delta P_r \quad (3)$$

ΔP_r betecknar differensen mellan ett statistiskt referenstryck och internttrycket ($P_s - P_i$), jämför även med definitionen på C_p .

Luftflödet genom yta A_n hos elementet n beskrivs approximativt med ekvationen

$$q_n = A_n \cdot K_n \cdot \Delta P_n |\Delta P_n|^{\beta-1} \quad (4)$$

där K_n är en "flödeskoefficient" per ytenhet för element n. Enheterna för de i ekvationen ingående parametrarna är (m^3/s) för q_n , (m^2) för A_n , ($\text{m/s} \cdot \text{Pa}^{\beta}$) för K_n och (Pa) för ΔP_n . Exponenten β varierar, bl.a. beroende på strömningstyp, mellan 0.5 och 1.0.

Den totala luftläckningen genom byggnadens klimathölje erhålles genom att addera positiva och negativa luftflöden genom samtliga element. Till summorna läggs eventuella flöden i mekaniska ventilationssystem. Det totala flödet till, q_T och från, q_F byggnaden kan tecknas

$$q_T = q_{TM} + \sum_{n=1}^N q_n \text{ för element med } q_n > 0 \quad (5)$$

$$q_F = q_{FM} + \sum_{n=1}^M q_n \text{ för element med } q_n < 0$$

där q_{TM} = mekaniskt tilluftsflöde
 q_{FM} = mekaniskt frånluftsflöde
 N = antal positiva element
 M = antal negativa element

Kontinuitetsvillkoret kräver att det totala flödet till och från byggnaden överensstämmer. Osäkerheter beträffande bl.a. byggnadens verkliga permeabilitet, svårigheter att bestämma det statiska referenstrycket samt mätfel medför att en "jämviktsparameter" ε introduceras. Hänsyn måste också tas till skillnader i temperaturer varför det slutgiltiga uttrycket för flödesbalansen blir

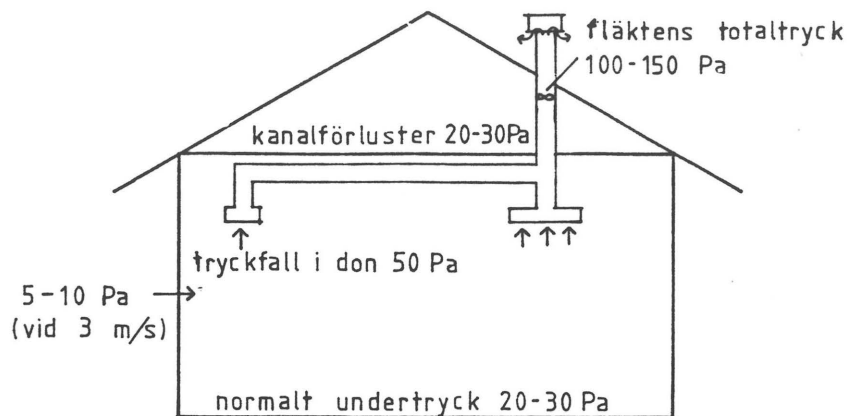
$$q_T \cdot T_i = q_F \cdot T_u + \varepsilon \quad (6)$$

Flödeskoefficienten K_n i ekvation (4) motsvarar luftgenomsläppligheten för element n . I praktiken innebär det betydande svårigheter att bestämma läckkaraktistika för varje element. Vanligen ansätts därför en koefficient, K_B gällande för hela byggnadens yta, A_B . Denna kan bestämmas genom att byggnaden utsätts för ett över- eller undertryck. Byggnormens krav på täthet hos ett normalt uppvärmt hus motsvarar ett luftläckage per timma av tre gånger husets volym vid en införd tryckdifferens på 50 Pa.

Flödeskoefficienten kommer då att ingå i ekvationen

$$q_{50} = (\sum K_n \cdot A_n) \cdot \Delta^{1/2} = K_B \cdot A_B \cdot \Delta^{1/2} \quad (7)$$

där q_{50} motsvarar det luftflöde som fordras för att upprätthålla tryckskillnaden $\Delta = 50$ Pa. Effekten av vind och temperatur förutsätts försumbar jämfört med verkan av den pålagda tryckdifferensen.



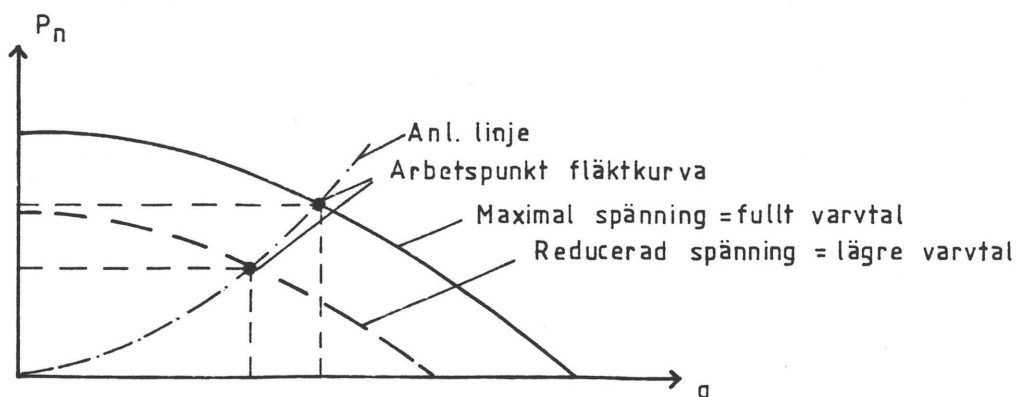
Figur 3 Småhusets tryckbalans vid vanliga vindhastigheter och luftflöden

3.3 Inverkan av fläkt

Variationer i luftflöden genom en fläkt orsakat av ändrade tryckförhållanden i rummet är ofta av mindre storleksordning. Valet av fläkt i kombination med typen av ventilationssystem kan dock resultera i att denna variation av luftflöden kan bli betydande.

En ventilationsanläggning förutsätts normalt så injusterad att önskade luftflöden erhålls vid vindstilla då utetemperaturen är lika med rumstemperaturen. Som ett alternativ för närmare studier kan injusteringen även förutsättas ske vid vindstilla med öppna fönster. Detta måste principiellt betraktas som felaktigt i ett tätt hus med frånluftssystem. Dessutom förekommer vindstilla relativt sällan. Vid vindstilla och stängda fönster kommer luftflödet att reduceras även om denna reduktion blir liten vid ett normalt fläktval. Bättre vore att utföra inreglering vid viss lägsta vindhastighet, t.ex. 3 m/s.

Figur 4 visar ett fläktdiagram med fläktkurva (totaltryckskurva), arbetspunkt och anläggningslinje (strypningslinje)



Figur 4 Samband mellan fläktens totaltryck och anläggningslinje

Vid ett yttre vindtryck och/eller en avvikande utetemperatur erhålls ett nytt balanstryck i rummet som skiljer sig från motsvarande balanstryck vid det tillfälle luftflödet genom fläkten injusterades. Det nya balanstrycket i rummet är också beroende av fläktens egenskaper och förändrar det luftflöde som fläkten presterar.

Totaltrycket över fläkten påverkas av vind genom en förändring av det dynamiska deltrycket ΔP_{Fdyn} vid yttre kanalmyningen enligt formel (8)

$$\Delta P_{Fdyn} = C \cdot 0.6 \cdot v^2 \quad (8)$$

där C är en formfaktor

Formel (8) är svår att använda eftersom det saknas värden för formfaktorn C.

Ändringen av totaltrycket påverkas dessutom av temperaturskillnaden ute - inne enligt formel (9)

$$\Delta P_{Fte} \approx -0.04 (T_u - T_i) \cdot Z_F \quad (9)$$

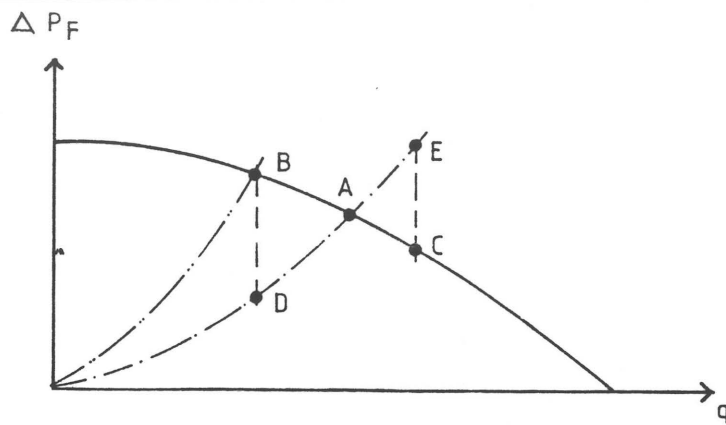
där Z_F är höjden från märk till yttre kanalmyningen
 T_u är utetemperaturen
 T_i är innetemperaturen

För hus med frånluftsfläkt blir ändringen av totaltrycket, formel (10)

$$\Delta P_r = \Delta P_{Fdyn} + \Delta P_{Fte} - \Delta P_{rn} + \Delta P_{rr} \quad (10)$$

där ΔP_{rn} är det nya balanstrycket
 ΔP_{rr} är balanstrycket vid injusteringsstillfället

Ändringen av luftflödet genom fläkten kommer att inverka på i princip samma sätt som sker vid en spjällreglering av en fläkt. Om rummet får ett lägre tryck än vid injusteringsstillfället flyttar sig arbetspunkten från A till B om fläkten är en frånluftsfläkt. Punkten B bestäms då av villkoret att avståndet BD skall motsvara denna tryckdifferens, Figur 5.



Figur 5 Samband mellan totaltryck och anläggningslinje

Om rummet i stället får ett högre tryck flyttar sig arbetspunkten från A till C då fläkten är en frånluftsfläkt. Punkten C bestäms då av villkoret att avståndet EC skall motsvara denna tryckdifferens. Ju flackare "fläktkurvan" är desto mindre inverkar tryckfallet över klimatskärmen, men desto svårare är det att justera in anläggningen.

Sambandet luftflöde - tryckdifferens kan beskrivas analytiskt. För att möjliggöra en smidig lösning kan fläktkurvan delas upp som i t.ex. formel (11)

$$\Delta P_{TOT} = k_1 \cdot q^2 + k_2 \cdot q + k_3 \quad (11)$$

där ΔP_{TOT} är totaltryck
 q är luftflöde

k_1 , k_2 och k_3 är koefficienter som kan bestämmas analytiskt ur den aktuella fläktkurvan genom t.ex. ange tre punkter för varje kurvsegment.

Anläggningslinjen genom arbetspunkten A ansätts enligt formel (12)

$$\Delta P_{TOT} = k_4 \cdot q^2 \quad (12)$$

där k_4 är en koefficient för aktuell anläggningslinje genom punkten A.

Då arbetspunkten A förutsätts given kan ett samband, formel (13), uppställas som direkt beskriver luftflödet som funktion av dessa koefficienter och av ändringen av totaltrycket över fläkten,

$$\Delta P_{FTOT} \cdot Q_{fläkt} = - \frac{k_2}{2(k_1 - k_4)} + \sqrt{\frac{\Delta P_{FTOT} - k_3}{(k_1 - k_4)} + \frac{k_2}{2(k_1 - k_4)}}^2 \quad (13)$$

där ΔP_{FTOT} innehåller det nya balanstrycket i rummet ΔP_r som ännu är obekant.

Om totaltrycket över fläkten ökar så minskar luftflödet, d.v.s. punkten A närmar sig B i Figur 5. Om totaltrycket minskar så ökar luftflödet. Punkten A närmar sig i detta fall C i Figur 5

3.4 Inverkan av ventiler

I en byggnad med ett frånluftssystem utan tilluftsventiler blir tillförseln av friskluft delvis okontrollerad och svår att styra eftersom man knappast kan förutsätta att otätheten i verkligheten blir jämnt fördelad över konstruktionen. Det blir givetvis enklare att styra luften ju tätare huset är.

Tilluftsventilerna i ett frånluftssystem fungerar därmed bättre. Risker för "kortslutningseffekter" minskar d.v.s. luften väljer den väg som har minsta motståndet. Ett sätt att avhjälpa detta problem är en frånluftskanal till fler utrymmen än kök, bad, tvätt, speciellt till de som ligger långt från fläkten, se Elmroth [14].

Svårigheten med tilluftsventiler i ett frånluftssystem är att definiera hur dessa skall justeras. I det följande antas en modell som innebär att ventilerna justeras vid vindstilla tillsammans med den övriga anläggningen så att en viss procent av det totala frånluftsflödet passerar ventilerna. Genom att för varje rumsenhet föreskriva en injustering till en viss procent av det totala frånluftsflödet försäkras man sig om att rummet erhåller motsvarande tilluftsflöde även om byggnadens otätheter är koncentrerade till andra rum.

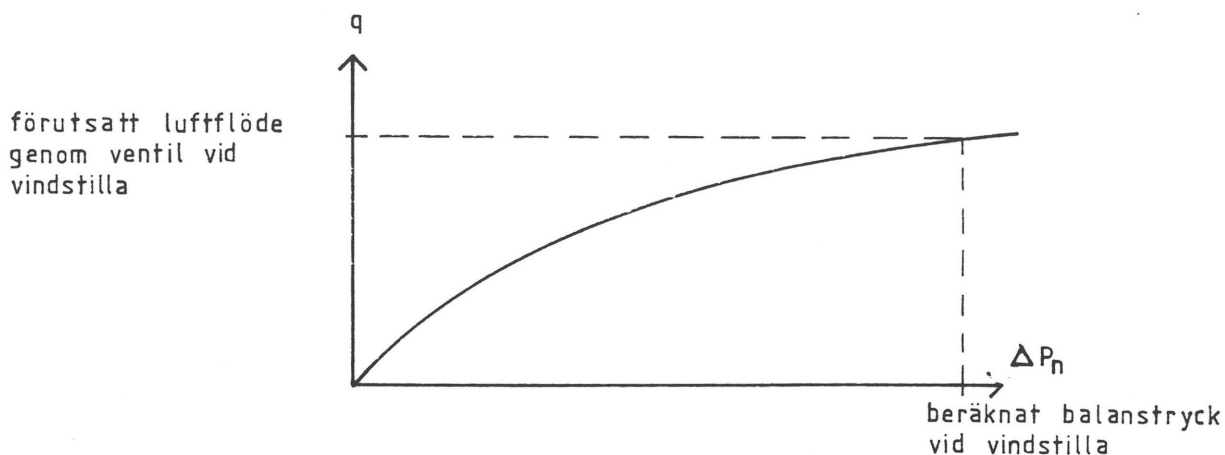
Läckagekurvan för dessa ventiler antas ha samma principiella utseende som läckagekurvan för olika byggnadsdelar och byggnaden som helhet, formel (14)

$$q = k \Delta P_n^\beta \quad (14)$$

Tryckdifferensen ΔP_n erhålls på samma sätt som för byggnadsdelar. Även ΔP_r ingår i detta samband. Med beteckningar enligt avsnitt 3.2 erhålls formel (15)

$$\Delta P_n = 0.6 v^2 \cdot C_{pn} - 0.04 (T_u - T_i) \cdot Z_n + \Delta P_r \quad (15)$$

Genom att utföra en komplett beräkning av in- och utgående luftflöden vid vindstilla kan koefficienten k bestämmas enligt nedanstående Figur 6, om man antar att en given procent av luftflödet passerar ventilerna.



Figur 6 Samband mellan luftflöde och balanstryck vid vindstilla

Som alternativ finns även möjlighet att föreskriva ett läckageflöde vid tryckskillnaden 50 Pa. I detta fall blir dock en eventuell injustering ett problem eftersom flödet varierar med trycket. I praktiken har det visat sig mycket svårt att erhålla avsedda luftflöden genom tilluftsventilerna beroende på att kunskaperna är relativt bristfälliga om hur byggnad, ventiler och fläkt samverkar. Ofta ger tilluftsventilerna alltför små flöden beroende på för stort tryckfall. Alternativt stänger de boende ventilerna helt. Dessa båda faktorer leder till att F-systemen ofta har lägre luftväxling och energiförbrukning än väntat [15].

3.5 Samverkan mellan byggnad, ventiler och fläkt

Jämviktsvillkoret innebär att summan av inkommande luftflöden skall vara lika med summan av utgående luftflöden.

$$(Q_{in, byggnadsdelar} + Q_{in, ventiler} + Q_{tilluftsfläkt}) \cdot \frac{T_i}{T_u} =$$

$$= Q_{ut, byggnadsdelar} + Q_{ut, ventiler} + Q_{frånluftsfläkt}$$

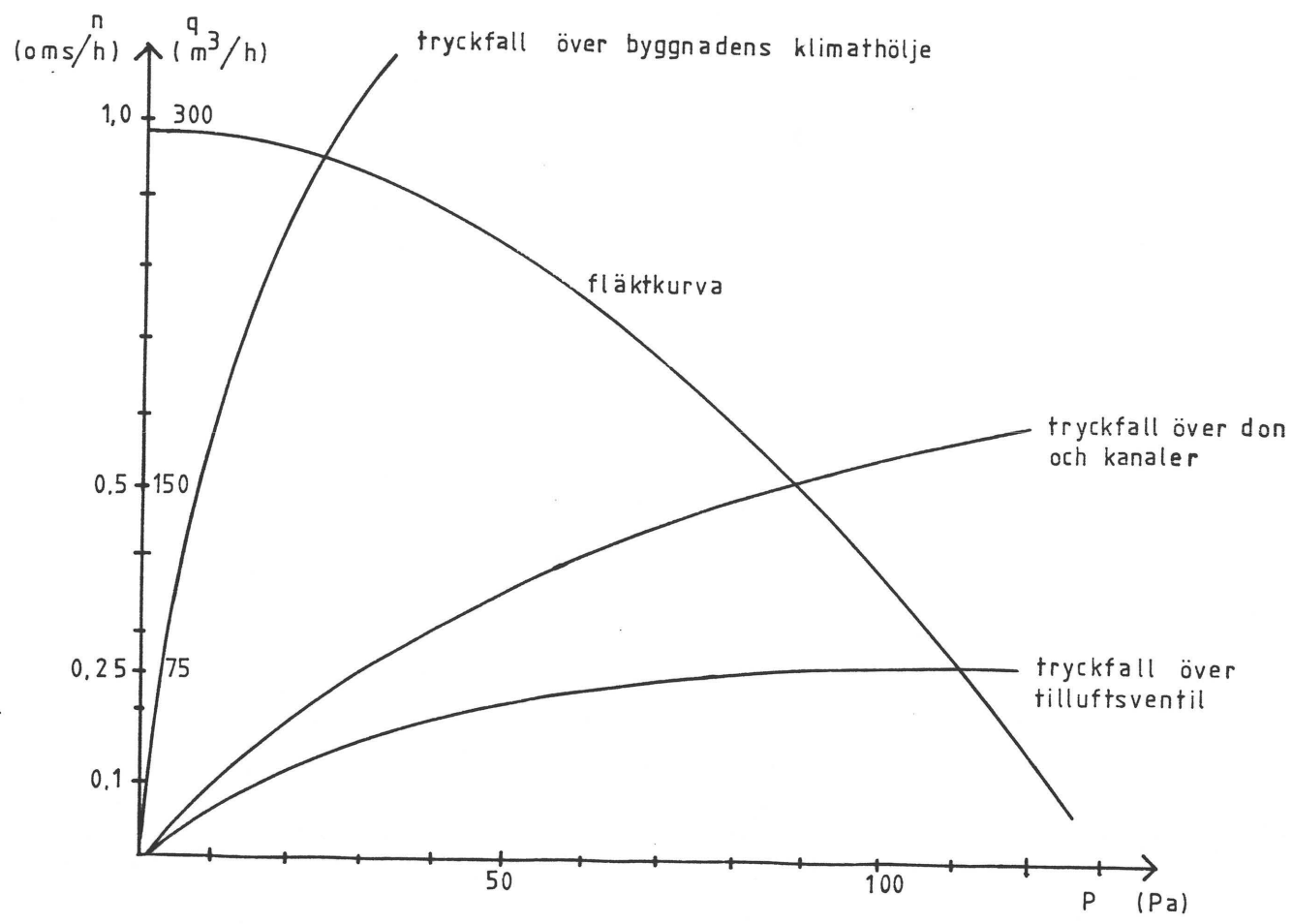
där $Q_{in, ytor} = \sum_i (A_i \cdot K_i \cdot \Delta P_{ni}^{e_i})$ för ytor i med positiva ΔP_{ni}

- A_i = arean hos yta i
- K_i = koefficienten i läckagefunktionen för yta i
- ΔP_{ni} = tryckskillnaden över yta i
- e_i = exponenten i läckagefunktionen hos yta i

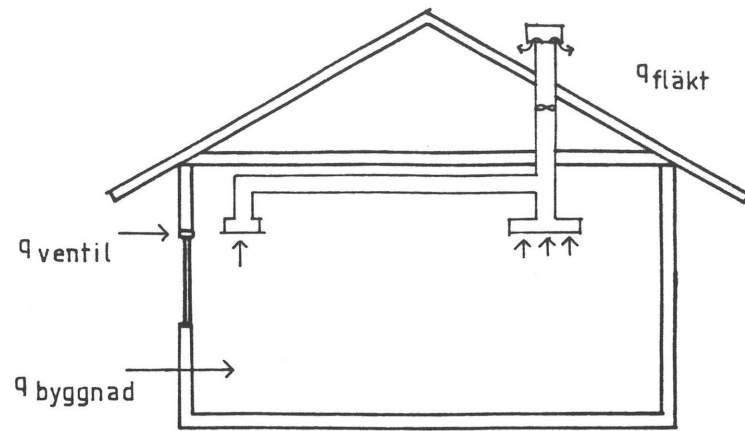
$$Q_{in, ventiler} = \sum_i (k_i \cdot \Delta P_{ni}^{2i})$$

för ventiler med positiva ΔP_{ni}

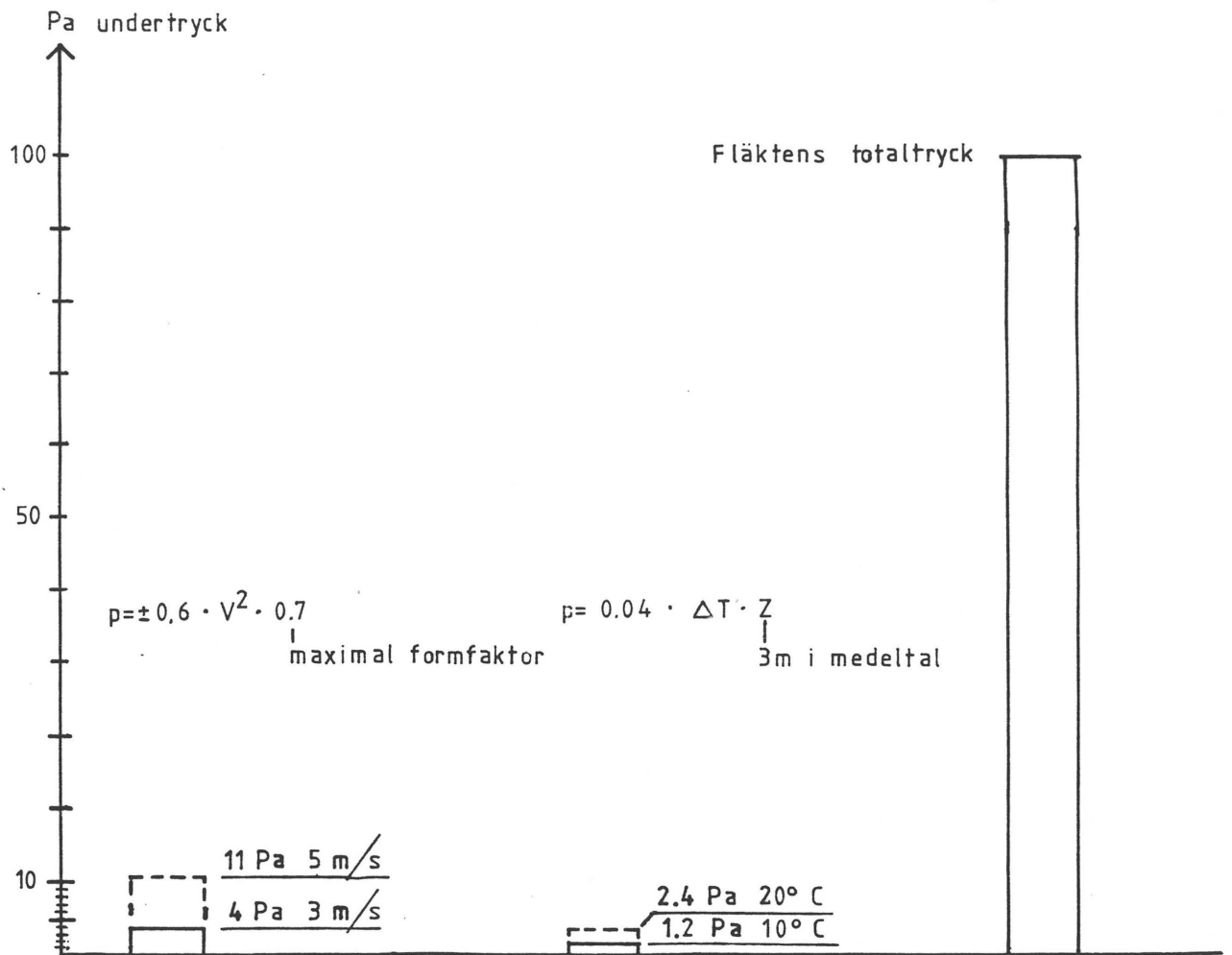
$\frac{T_i}{T_u}$ är förhållandet mellan rumstemperatur och utetemperatur i °K och svarar mot volymförändringen av uteluften då denna värms till rumstemperatur.



Figur 7 Principiellt samband mellan luftflöde och tryck för byggnad, fläktsystem och tilluftsventil



Figur 8 Definition av olika luftflöden



Figur 9 Tryckdifferenser i relation till fläktens totaltryck på grund av vindhastigheten 3 och 5 m/s, temperaturdifferensen ute - inne 10 respektive 20°C

$Q_{\text{tilluftsfläkt}}$ med data för tilluftsfläkt

$$Q_{\text{ut, ytor}} = \sum_m (A_m \cdot K_m |\Delta P_m|)^{1/2} \rho_m \quad \text{för ytor } m \text{ med positivt } \Delta P_m$$

där $|\Delta P_m|$ betecknar absolutbeloppet av ΔP_m

$$Q_{\text{ut, ventiler}} = \sum_n (A_n \cdot K_n |\Delta P_n|)^{1/2} \rho_n \quad \text{för ventiler } n \text{ med negativa } \Delta P_n \quad (\text{enligt 14 och 15})$$

$Q_{\text{frånluftsfläkt}} = Q_{\text{fläkt}}$ med data för frånluftsfläkten.
Den totala ventilationen och luftläckningen erhålls ur

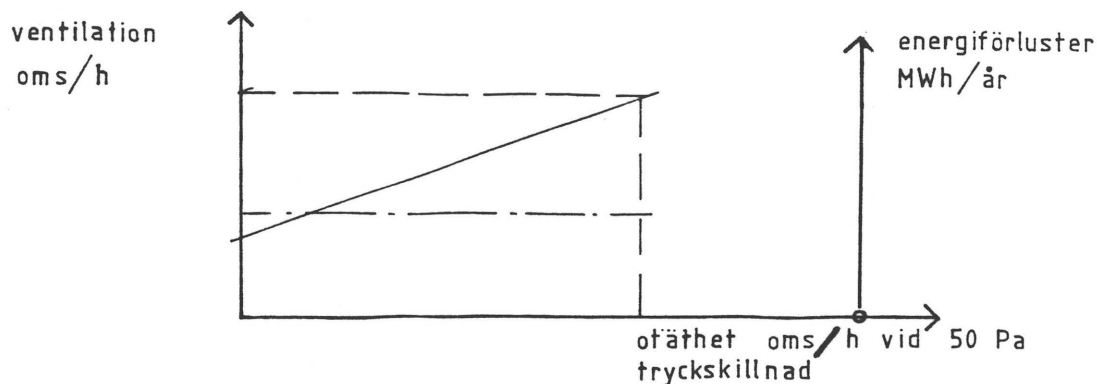
$$Q_{\text{ventilation}} = Q_{\text{ut, ytor}} + Q_{\text{ut, ventiler}} + Q_{\text{frånluftsfläkt}}$$

Balanstrycket P_r som ingår i alla termer beräknas genom iteration. Därefter kan storleken av inkommande och utgående luftflöden bestämmas. Manuella analytiska beräkningar blir omfattande. Grafiska lösningar är i princip genomförbara.

Presentation av erhållna resultat

En beräkningsmodell har använts av Nylund [13] för bestämning av ventilationsflödenas storlek vid olika klimatförhållanden och täthet hos byggnaden. Larm [10] har modifierat indata i modellen och tillämpat den på småhus med olika klimatförhållanden, täthet och ventilationssystem.

Diagram med den principiella uppbyggnad som visas i Figur 10 kan användas för att jämföra olika system med avseende på den totala ventilationen och energiförluster orsakade av denna ventilation



Figur 10 Principiellt samband mellan ventilations- och energiförluster samt otätheter vid tryckskillnaden 50 Pa

Diagrammet avspeglar förhållandet vid en given utetemperatur, vindhastighet och vindriktning. Om utetemperaturen tillsammans med vindhastigheten och vindriktningen representerar medelvärden under uppvärmningsperioden torde den totala ventilationen enligt [10] vara representativ.

Beräkningar av den totala ventilationen och av energiförlusterna kan i princip utföras med hänsyn till en frekvensstudie av vindhastighet, vindriktning och utetemperatur. Beräkningar av energiförlusterna måste dock fortfarande baseras på en uppskattning av byggnadens termiska egenskaper för att ge en bedömning av när den totala ventilationen betraktas som en energiförlust eller ej.

En helt korrekt beräkning av energiförlusterna med hänsyn till ventilationen erhålls endast om hela byggnaden, med den totala ventilationen som en viktig del i rummets värmebalans, beräknas under ett normalår med lämplig tidsupplösning som bl.a. bestäms av tillgängliga klimatdata.

Diskussion av beräkningsresultatet

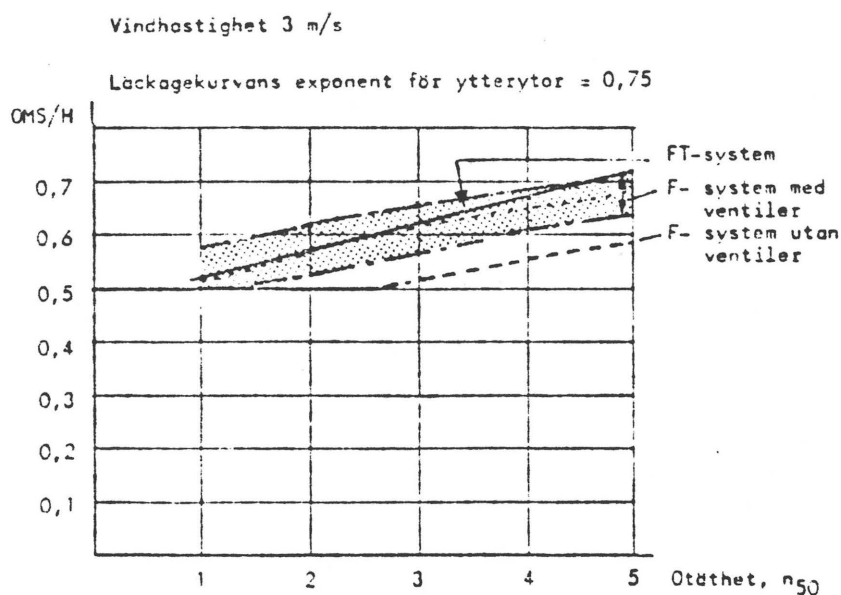
Larm [12] har på basis av den beskrivna metoden räknat igenom ett normalt småhus med formfaktorer enligt SBN 1975. Övriga ingångsdata återfinns i nämnda rapport. Exempel på resultat från beräkningarna återges här i Figurerna 11 och 12.

Vid otätheten $n_{50} = 1$ oms/h och vindhastigheten 3 m/s uppgår den oavsiktliga ventilationen till mellan 0 och 0.08 oms/h beroende på typ av ventilationssystem. Motsvarande värden vid otätheten $n_{50} = 3$ oms/h ligger mellan 0.02 och 0.16. Differensen mellan FT-system och F-system med öppna ventiler är ca 0.02 oms/h. Läckagekurvans exponent för ytteryta har valts till 0.75. Vindhastigheten 3 m/s i friströmmen får anses vara ett representativt årsmedelvärde för stora delar av landet.

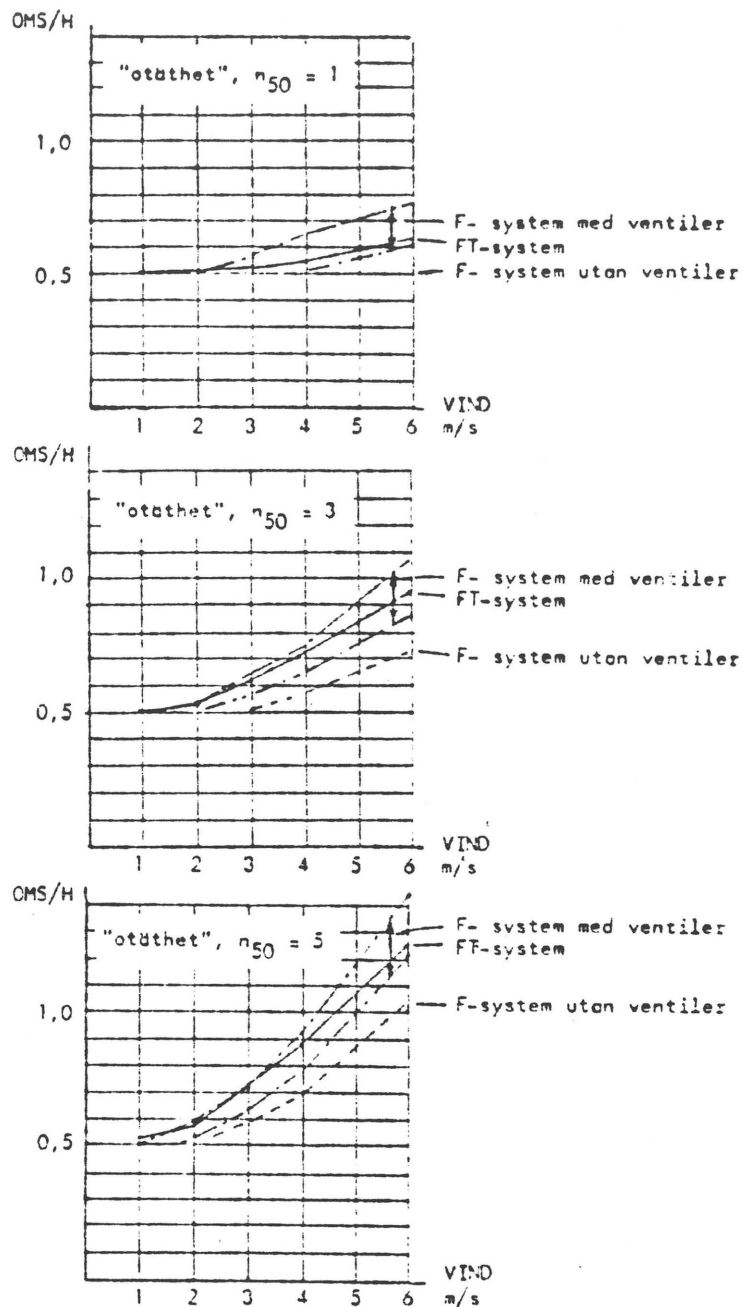
En skärpning av täthetskravet från 3 oms/h till 1 oms/h skulle således på basis av denna beräkningsmetod maximalt medföra en minskad luftväxling av ca 0.15 oms/h motsvarande en energibesparing av i bästa fall ca 1 200 kWh/år. Storleken på tilluftsventilerna, deras funktion och placering blir väsentlig för att detta skall kunna ske utan komfortproblem. Uppgifter om energibesparingar av samma storlek har tidigare lämnats av Ekstrand [4].

Beräkningarna bygger på antagande om viss tryckfördelning över byggnaden. Det enda man med säkerhet idag vet är att formfaktorerna enligt SBN är fel att använda i detta sammanhang. Utifrån de använda otätheterna 1 respektive 3 oms/h finns inga uppgifter om hur otätheterna fördelar sig. Detta kan ha stor betydelse eftersom tryckfördelningen över byggnadsytorna varierar.

Det är tveksamt om resultaten från de utförda beräkningarna i [10] och [12] kan användas och med vilken säkerhet eftersom man inte kan bedöma överensstämmelsen med verkligheten. För att säkra slutsatser skall kunna dras erfordras samtidiga mätningar av täthet, luftväxling, luftflöden genom samtliga tillufts- och frånluftsdon, tryckfördelning över husets klimat-hölje samt en noggrann registrering av klimatdata.



Figur 11 Total luftomsättning vid varierande täthet



Figur 12 Total luftomsättning vid varierande vindhastighet och otätthet vid 50 Pa tryckskillnad. Läckagekurvans exponent är 0.75

3.6 Empiriskt bestämd luftläckning vid Modulents undersökningar. Jämförelser med beräknade värden

Företaget Ernström Modulent AB utförde under åren 1975-1979 systematiskt ventilationsmätningar i ett större antal identiska hus. Mätningarna har varit relativt omfattande och bestått av

- 1 a Tryckmätningar för bestämning av husens täthet
b Bestämning av sambandet mellan tryck och luftväxling med spårgasmätningar
- 2 Spårgasmätningar under naturliga klimatförhållanden för bestämning av den
 - a oavsiktliga ventilationen
 - b totala ventilationen
 - b1 med fläkten på halverat basvarv ca 0.25 oms/h
 - b2 med fläkten på basvarv ca 0.50 oms/h
 - b3 vid forceringsflöde
- 3 Mätningar av luftflöden genom donen vid alternativen b1, b2 och b3 för bestämning av den avsiktliga ventilationen. Studierna har huvudsakligen omfattat mekaniskt frånluftsventilerade hus. Ett hus med FTX-ventilation har studerats.

Genom mätningarnas uppläggning har inte bara representativa medelvärden erhållits för de olika ventilationsandelarna i de studerade husen utan även ett mått på variationerna. Dessa orsakas av brister i arbetsutförandet i form av läckage genom byggnad och kanalsystem respektive felaktigt inställda don och reglersystem. Dessutom påverkar klimatet ventilationens storlek.

Den i [1] och [5] redovisade studien, Bilaga 4 Figur 3, visade för 25 identiska hus en total luftväxling av 0.29 oms/h med variationer mellan 0.12 och 0.50 oms/h. Denna variation motsvarar en skillnad i energiåtgång av ca 4 000 kWh/år. Fläktarna arbetar i dessa hus med ganska lågt totaltryck och är då känsliga för skillnader i klimatet, framförallt vindpåverkan. I en senare byggd grupp omfattande 5 hus uppmättes med fläkten på halverat basvarv en total luftväxling av i medeltal 0.22 oms/h med variationer mellan 0.15 och 0.29 oms/h. Denna variation motsvarar en skillnad i energiåtgång av ca 1 500 kWh/år. Den mindre variationen torde främst bero på att ventilationssystemen blivit kvalitativt bättre genom kanaler med gummiringstättningar och ökad frekvens av inreglering.

De tidigare refererade 25 husen visade vid 50 Pa tryckdifferens en otäthet motsvarande 4.7 oms/h med variationer mellan 2.6 och 7.4 oms/h. Den oavsiktliga ventilationen vid naturliga klimatförhållanden för samma 25 hus uppgick till i medeltal 0.14 oms/h med variationer mellan 0.05 och 0.42 oms/h. För den senare byggda gruppen om 5 hus uppmättes vid 50 Pa i medeltal 1.8 oms/h med variationer mellan 1.7 och 2.1 oms/h. Den oavsiktliga ventilationen uppgick i medeltal till 0.05 oms/h med variationer mellan 0.04 och 0.07 oms/h.

Dessutom "specialstuderades" ett provhus försett med F-, alternativt FTX-system och braskamin. Bjälklaget används som tilluftskanal. För detta hus finns viss information om den oavsiktliga ventilationens samband med temperaturdifferensen inne - ute [8]. Detta hus är ovanligt otätt på grund av ökad mängd installationer och genomföringar.

I tidigare debattinlägg [4] och [6] på temat täthetsnivå -
- ventilationsförluster - energibesparing har hävdats att
en skärpning av täthetskravet vid 50 Pa från 3 oms/h till
1 oms/h skulle innebära en minskad oavsiktlig ventilation
av maximalt 0.1 - 0.2 oms/h. På basis av Larms beräkningar
[10] och [12] över sambandet mellan luftväxling, täthet och
vindhastighet kan man konstatera att den oavsiktliga ven-
tilationen som medeltal för året torde minska med maximalt
0.1 oms/h om täthetskravet skärps.

4.1 Ventilationförlusternas del i byggnadens energibalans

Ventilationförlusterna kan beräknas enligt formel (16)

$$Q_v = n \times V \times c \times (t_i - t_u) \times G \quad (16)$$

där

$$\begin{aligned} n &= \text{antalet luftomsättningar (h}^{-1}\text{)} \\ V &= \text{husvolym (m}^3\text{)} \\ c &= 0.33 \times 10^{-3} \text{ (kWh/}^\circ\text{C m}^3\text{)} \\ t_i &= \text{innetemperatur (}^\circ\text{C)} \\ t_u &= \text{utetemperatur (}^\circ\text{C)} \\ G &= \text{uppvärmningsperiodens längd (h)} \end{aligned}$$

För en uppvärmningsperiod motsvarande ungefär 90 000 gradtimmar och en husvolym på 320 m³ medför en förändring av luftväxlingen med 0.1 oms/h en ändring av ventilationförlusterna med 950 kWh/å. Det framgår av ovanstående uttryck att förutom luftväxlingens storlek inverkar såväl husvolym, innetemperatur som uppvärmningsperiodens längd. Husvolymen och innetemperaturen är således betydelsefulla ur energisynpunkt. Detta bör beaktas och är en vanlig orsak till att förväntad energibesparing uteblir. Byggnadstekniska förbättringar som ökad isolering påverkar indirekt ventilationförlusterna. Resultatet av ventilationstekniska åtgärder kan reduceras om dessa genomförs tillsammans med temperaturreglering t.ex. i form av nattsänkning.

4.2 Vikten av helhetssyn vid val av energibesparande åtgärder. Exempel på åtgärder inom ventilationsområdet

Valet av energibesparande åtgärder påverkar effekt- och energibehovet olika mycket under delar av eller hela året. Låg kunskapsnivå, brister i arbetsutförandet vid montering av isolering och tätningar samt vid inreglering av värme- och ventilationssystem har medfört att den beräknade energibesparingen helt eller delvis har uteblivit. I regel kännetecknas informationen av brist på helhetssyn då det gäller småhusets energibalans. Energiberäkningar har ofta baserats på en mängd felaktiga antaganden som t.ex. onödigt hög luftväxling etc. Ofta har man inte tagit hänsyn till hur stor del av året som åtgär-

den är verksam. Ytterligare orsaker till att avsedda besparingar helt eller delvis har uteblivet är bl.a.

- övergång från självdragsventilation till mekaniska ventilationssystem med högre luftväxling
- större fönsteryta
- fram till 1980 större bostadsyta
- att den del av året minskat varunder energi behöver tillföras värmesystemet på grund av att husen blivit energisnålare. Gratisvärmens kan därmed inte utnyttjas i lika stor utsträckning som tidigare, speciellt i södra Sverige. "Övervärme" måste vädras bort vilket normalt ej beaktats genom ett lägre antal gradtimmar
- övergång från direktel till vattenburna system med sämre reglermöjligheter och därmed 5-10% högre energiförbrukning

Man måste eftersträva helhetslösningar för olika byggnadsmaterial och produktionsmetoder. Tekniken kan och bör inte vara komplicerad. Flertalet boende är inte tekniker eller speciellt energiintresserade. Husen skall därför fungera energisnålt utan stora insatser i form av omställningar, injusteringar etc. Ventilationssystemen är i detta fall ofta ett problem. Riktig anpassning när det gäller komfort och energibesparing är väsentlig. Normkraven måste anpassas och differentieras för olika typer av byggnadsmaterial och ventilationssystem t.ex. när det gäller erforderlig ventilation.

Med ökade kunskaper och praktisk erfarenhet, lämpligt val av material och konstruktioner, produktionsmetod (arbetsmiljö och klimatbetingelser), tillverkningskontroll (fabrik/montageplats) samt mindre husstorlekar genom nya lånebestämmelser kan man räkna med att energiåtgången kommer att minska och beräknade energibesparingar kunna uppnås i praktiken.

Studier av energiåtgång i moderna småhus har visat att tekniska åtgärder i form av lägre luftväxling i huset som helhet genom bättre luftfördelning samt ökad isolering är bland de mest lönsamma och "säkra" åtgärder som kan vidtas för nyproducerade småhus. Dessvärre har inte detta framförts med tillräcklig skärpa i energidebatten.

Bygga tätt och välisolerat på ett produktionstekniskt riktigt sätt är fortfarande ett av de mest ekonomiska sätten att spara energi för nyproducerade småhus med sina relativt små energibehov och minskande bostadsyta. I händelse av att det ordinarie systemet för energitillförsel helt eller delvis sätts ur funktion går det lättare att på annat sätt uppnå ett drägligt inomhusklimat i ett tätt och välisolerat hus. I ett välbyggt hus kan inomhustemperaturen sänkas ytterligare p.g.a. minskad köldstrålning och luftläckage. Tillförlitligheten hos ventilations-systemets fläkt (-ar) har visat sig vara ganska låg, delvis beroende på omplaceringen är inom- eller utomhus. 35

Projektering av energibesparande åtgärder eller alternativa uppvärmningssystem måste alltid utgå från kunskap om byggnadens verkliga energibehov och de faktorer som styr detta behov. Det är också väsentligt att samspelet mellan olika energiflöden beaktas liksom deras fördelning under uppvärmningssäsongen och året.

Ventilationsnivån

Man måste särskilt sörja för att en tillfredsställande och minimal ventilation erhålls. Minimala energiförluster på grund av ventilation bör ur ekonomisk synpunkt eftersträvas genom att i tur och ordning följande åtgärder vidtages:

- Huset görs så tätt som är ekonomiskt försvarbart. Beroende på val av ventilationssystem (F eller FT) blir minst två täthetsnivåer aktuella.
- Reglera och minimera den avsiktliga ventilationen efter behovet.
- Anordna baserat på aktuell täthetsnivå återvinning av värmeinnehållet i frånluften om så bedöms ekonomiskt intressant.

4.3 Val av täthetsnivå och ventilationstyp

SBN 1980 tillåter både självdragsventilation (S-) och mekanisk frånlufts- eller frånlufts - tilluftsventilation (F- eller FT-). För väl fungerande ventilation krävs att det verkliga ventilationsbehovet utreds och fastslås. I kombination med detta bör krav på lämplig täthetsnivå formuleras så att denna ansluter till valet av ventilationstyp.

Det förefaller ganska självklart att det innebär stora svårigheter att under olika klimatbetingelser garantera en

luftväxling i hus med självdragsystem. Förutsättningarna för 54 denna typ av system försämrans naturligtvis också ju tätare ett hus byggs.

Vid mekanisk ventilation bör samspelet mellan styrd, oavsiktlig samt total ventilation beaktas. Den totala luftväxlingen i en byggnad kan tecknas

$$q_{\text{total}} = q_{\text{styrd}} + q_{\text{oavsiktlig}}$$

där

q_{total} avser husets totala luftväxling

q_{styrd} luftflöden genom mekaniskt ventilationssystem

$q_{\text{oavsiktlig}}$ luftströmning genom otätheter och springor i byggnadens omslutningsytor

Normen bör kunna kvantifiera eller ge användbara anvisningar beträffande ovanstående principiellt olika typer av luftflöden. Detta arbete bör uppfylla krav på att:

q_{total} blir en lämplig nivå som ger komfort för de boende, minimerar risken för byggnadsskador men också minskar energiförlusterna

q_{styrd} säkerställer luftväxlingen i enskilda utrymmen

$q_{\text{oavsiktlig}}$ accepteras till en nivå som ur produktions-, beständighets- och kostnadssynpunkt kan anses realistisk och ansluter till valet av ventilationssystem

För fastslagen, önskvärd och erforderlig luftväxling - exempelvis motsvarande 0.5 oms/h skall det klart framgå om detta värde avser q_{total} eller q_{styrd} . Detta är väsentligt, speciellt med tanke på att $q_{\text{oavsiktlig}}$ även i förhållandevis täta hus uppgår till mellan 0.1 och 0.2 oms/h.

Ökad täthet är en förhållandevis lönsam åtgärd som emellertid måste ses i sitt totala sammanhang och inkludera ventilationssystemet. Om detta är av F-typ torde 3 oms/h vara lagom nivå medan vid FTX-typ kan vara tekniskt och ekonomiskt intressant att skärpa täthetskravet till ca 1 - 1.5 oms/h vid 50 Pa tryckskillnad.

4.4 Systemuppbyggnad och produktionsaspekter

Differentierade krav på ventilationsnivå

Speciell uppmärksamhet bör ägnas åt de radioaktiva gaser, som avges från olika byggnadsmaterial. Förekomsten av radon har kommit att i viss mån styra ventilationsdebatten. Det bör i detta sammanhang diskuteras om den totala luftomsättningen generellt skall fastslås i ett värde oavsett ingående byggnadsmaterial och grundens beskaffenhet. Alternativt borde nyanserade krav ställas på ventilationen genom att tillgodose

- mindre luftväxling för trähus jämfört med t.ex. skifferbaserad gasbetong
- mindre luftväxling för kryprumsgrundlagda hus än för hus med källare respektive hus grundlagda med platta på mark
- högre luftväxling för hus grundlagda på radioaktivt material. Med hänsyn till risker för att "markradon" förs in i huset bör inte luft som sugts från kryprummet föras in genom huset och kopplas ihop med det övriga frånluftssystemet

Behovsanpassad ventilationsnivå

För god funktion bör, som tidigare nämnts, systemen vara enkla och av god kvalitet. Ur energi- och komfortsynpunkt är dock någon form av behovsanpassad ventilation intressant. Genomtänkta system baserade på att olika utrymmen används under olika tider på dygnet finns i långt framskridna stadier. Denna form av zonindelning skulle kunna ge förutsättningar för att en tillräcklig luftväxling erhålls i exempelvis sovrum.

Luftrörelser inom rummet

Elmroth och Lögberg [14] redovisar ett behovsanpassat system uppbyggt som ett traditionellt frånluftssystem men med ett extra frånluftsdon i samtliga sovrum. Genom att luftväxlingen blir tillräcklig i sovrummen kan den totala (för byggnaden genomsnittliga) luftomsättningen minskas.

FT-system med ventilationsvärmväxlare

Förmånliga lånebelopp för FT-system med ventilationsvärmväxlare har i hög grad främjat försäljningen. Systemet anses ge ökad komfort, återvinning av värme samt minskat effektbehov

för uppvärmning och därigenom minskade radiatorstor.

Riskerna för felaktiga luftflöden och kanalläckage med åtföljande energiförluster är i praktiken betydligt större för FT-system än för F-system. FT-systemen ställer dessutom högre krav på kvalitet och funktion. Vid inreglering råder det vissa svårigheter att med acceptabel noggrannhet mäta tilluftsflöden. Flera fabrikat av don är av en sådan kvalitet att en noggrann injustering är nära nog omöjlig. Produktionsproblemen ökar därmed också markant. Den verkliga energibesparingen för flertalet system av denna typ kan ej anses vara fastställd, då man vid bedömning av lönsamhet måste ta hänsyn till de luftflöden som i praktiken förekommer i nyproducerade småhus. En studie [15] visar att den verkliga energibesparingen var 40% av den teoretiskt beräknade eller i absoluta tal ca 1000 kWh/år och småhus. Redan flera år tidigare har uppgifter av samma storleksordning lämnats av bl a Ekstrand [4].

Värmepump frånluft-varmvatten

Värmepumpar ger jämfört med ventilationsvärmväxlare förutsättningar för ett utnyttjande under hela året. Systemet ger ett jämnt effekt- och energiuttag och kan anslutas till ett befintligt frånluftssystem. Även för denna apparattyp föreligger stora risker för att avsedd energibesparing helt eller delvis uteblir på grund av inregleringsbrister och systemlösning. Om värmepumpen t.ex. tvingas producera alltför hett varmvatten närmar sig värmefaktorn värden betydligt under de 2 - 3 som anges av tillverkarna. Beroende på värmepumpens verkliga gångtid och systemets möjligheter att ackumulera varmvatten kan energibesparingar bli väsentligt mindre än beräknat.

Risk för suboptimering

Energibalanser är lämpliga utgångspunkter för bedömning av energibesparingar i småhus. Viktigt är också förståelsen av samspelet mellan olika energiflöden liksom deras fördelning över årets månader. Uppgifter om verkningsgrader, luftmängder och nyttjandegrad kan därigenom ge ett användbart underlag för val av ventilationstekniska åtgärder.

Installation av spisar och braskaminer bör nogt övervägas, speciellt i de fall småhusen är mekaniskt ventilerade. Förekomsten av öppna spisar är ur ventilationssynpunkt mindre lyckad då dessa ofta ger en ökad luftväxling även då eldning ej sker. Vid slutna förbränning i spisar och braskaminer bör luftflödet till och från uppvärmningsanordningen vara en del av husets totala luftväxling. Vid förbränning i "moderna" konstruktioner åtgår en luftmängd motsvarande ungefär 20-60 m³/h (luftvolymen i ett normalt småhus uppgår till mellan 300 och 400 m³) kan erforderlig luftmängd tas utifrån eller lika gärna direkt från boendevolymen. Viss risk för "baksug" förekommer vid F-system. I de fall uppvärmningsanordningen är utrustad med ett fläktsystem skall detta beaktas vid dimensionering och inreglering av det mekaniska ventilationssystemet.

Luftvärmesystem

Luftvärmesystem kan troligen efter vidareutveckling av inregleringsmöjligheterna bli ett intressant alternativ till direktel och vattenradiatorer. Systemen medger en integrering av värme- och ventilationssystemen vilket kan ge förutsättningar för sänkta investeringskostnader. Beroende på verkningsgraden kan erforderliga luftflöden beräknas bli 3-5 gånger större än vid traditionella ventilationssystem. Högre luftflöden betyder större kanaler med risk för byggnadstekniska problem som följd. Noggrannare dimensioneringsmetoder måste därför utvecklas så att de dimensionerande luftflödena kan minskas och medge ett utnyttjande av högre lufttemperaturer. I kombination med ett välisolerat klimathölje kan luftflödenas storlek och temperatur ytterligare minskas. Ljudproblemen blir därmed också mindre.

Byggnadskonstruktion - tätningar - ventilationssystem

Energibesparing genom byggandet av täta hus kräver för ett gott resultat att förutsättningar beträffande funktion och kvalitet är uppfyllda genom lämpliga

- material- och konstruktionsval
- produktionsmetoder map klimatbetingelser och arbetsmiljö
- kontroll av arbetsutförandet på byggplats (alternativt tillverkningskontroll på fabrik och montageplats)

Vid förändringar av ett tätningssystem eller ventilationssystem krävs information och kontroll såväl vid projektering som montage. Speciellt vid fabrikstillverkning av småhus ökar produktionsproblemen med installationernas omfattning. I regel minskar möjligheterna till en rationell produktion och stora serier med högre kostnader och ökat antal fel som följd. Funktionen hos ett ventilationssystem beror i hög grad på ingående komponenters kvalitet, det totala systemets kvalitet och beständighet samt i hög grad principerna för installationernas förläggning. Korta kanaldragningar och koncentrerade system ger således gynnansammast förutsättningar för mekanisk ventilation, men detta kan medföra dålig ventilation genom låg luftväxling i vissa delar av huset. Placering av fläktar på yttertak har visat sig ge mer problem än om de placeras i (varmt) utrymme under taket. Vindsutrymmet kan dessutom vara en bra buffert för från- och tilluften när det gäller att utjämna inverkan av vindstötar.

Så goda systemlösningar som möjligt bör eftersträvas genom att varje del i tätning- och ventilationssystemet väljs så att helheten blir så bra som möjligt. Systemets uppbyggnad skall tillgodose de differentierade krav på luftväxling som ställs för olika utrymmen t.ex. sovrum. Placering av ventiler och ventilationsdon samt dragningarnas principiella förläggning i kombination med fläktens "arbetskurva" är avgörande för att stabila och projekterade flöden skall erhållas. Komponenter och material bör väljas så att felriskerna minimeras. Ventilationssystemen fordrar alltid inreglering på plats och kontroll av desamma.

Vid en jämförelse mellan F- och FT-system bör beaktas att de senare i princip ger dubbelt så långa kanaler och antal don. Därmed måste rimligtvis högre krav ställas på inreglering, om avsedda energibesparingar och luftflöden skall kunna nås i praktiken.

Det är angeläget att projektering och dimensionering utförs så noggrant att problem med kanaldimensioner, ljud, komfort med mera minimeras. Kanalförläggning bör ske på den varma sidan om klimatbarriären. Vidare bör stor vikt läggas vid placering och utformning av tillufts- och frånluftsdon. Med hänsyn till problemets komplexitet bör ingående material och komponenter typgodkännas, speciellt vad avser FTX-systemen. Ventilationssystemet planeras utifrån ett hypotetiskt utnyttjande av byggnaden. Det bör emellertid ofta utformas så att rimliga variationer i användningen kan ske utan svårare olägenheter. I många fall är det också lämpligt att bygga upp en grundventilation som kan anpassas till eller enkelt utbyggs för andra verksamheter än de planerade.

Hithörande frågor har för problemområdet täthet och ventilation huvudsakligen intresse ur två synpunkter. Den ena gäller tillförlitligheten hos de tekniska lösningar man väljer. En stor spridning i brukarnas användning av byggnaden, exempelvis beträffande vädring, intern kommunikation och fuktskapande aktiviteter leder till ökade risker för funktionsskador vilket motiverar ökade säkerhetsmarginaler vid projekteringen. Den andra synpunkten gäller framtida användning som är av principiellt annat slag än den ursprungligen avsedda. En sådan verksamhetsförändring kan innebära väsentligt ändrade fysikaliska betingelser för exempelvis klimatskärmens funktion. Därmed kan restriktioner uppstå antingen vad avser byggnadens tekniska utformning eller beträffande möjligheter till alternativ användning av byggnaden.

En enkel "bruksanvisning" till huskonsumenter om, hur och när ventilationssystemet skall vara påslaget respektive vara avslaget är relativt nödvändig för ett ökat energibesparande inom ventilationsområdet.

5.1 Kostnadsaspekter

Nyproduktionens arkitektur och konstruktiva utformning styrs i allt högre grad av lånebestämmelserna. Kontantinsatsens storlek har blivit ett allt viktigare försäljningsargument. De senaste årens kostnadsstegringar och överutbud av småhus har också ökat intresset för kostnadsreducerande åtgärder av olika slag. Till gagn för såväl samhället som den enskilde bör i framtiden mer kostnadsneutrala kalkylmetoder användas. Förhoppningsvis bör detta ske redan i samband med pågående normarbete i anslutning till ELAK-utredningen och framtida arbete för nästa värmehushållningsnorm SBN 1985. Ur energisynpunkt kan man konstatera att det för närvarande råder en överbelåning till förmån för energibesparande apparater av olika slag.

I tur och ordning bör olika energibesparande åtgärder eller åtgärds kombinationer vidtas så att totalkostnaden blir så låg som möjligt i första hand för samhället och i andra hand för den enskilde. Totalkostnaden kan delas upp i poster för kapital (räntor och amortering, livslängd, inflation, energiprisutveckling i förhållande till övrig kostnadsutveckling) samt drifts- och underhållskostnader.

Olika aspekter kan läggas på val av räntefot, livslängd, avskrivningstid, energiprisutveckling relativt övrig prisutveckling, [23]. Som livslängd för byggnadstekniska åtgärder t.ex. ökad isolering väljer man normalt 30-50 år. Livslängden för apparater brukar sättas till 10-15 år.

De ekonomiska antaganden som ligger till grund för kraven i Värmehushållningsnormen bör revideras med hänsyn till vunna erfarenheter och den energisituation som nu råder jämfört med då kraven formulerades under tidsperioden 1973-75. Energibesparande åtgärder bör införas om kostnaden för varje sparad kWh är lägre än energipriset. Ett flertal olika kalkylmetoder finns för lönsamhetsbedömningar av detta slag, de flesta är dessvärre mer eller mindre felaktiga [23].

Energisparåtgärder kan med hänsyn till sin karaktär indelas i åtgärder som är

- klimatbetingade
 - konstruktionsbetingade
 - brukarbetingade
- byggnadstekniska
 installationstekniska
 produktionstekniska

Genom normer och bestämmelser kan man påverka de båda första grupperna, medan det krävs rigorösa kontrollåtgärder och propaganda för att nå resultat med brukarbetingade åtgärder. Av de konstruktionsbetingade åtgärderna har de byggnadstekniska i allmänhet längre livslängd än de installationstekniska. De senare kräver också mer underhåll. Med hänsyn till olika åtgärders livslängd och framtida försämrade funktion blir det nödvändigt att räkna med en reducerad energibesparing.

5.2 Låneunderlag

Bostadsstyrelsen påverkar/styr med sitt låneunderlag till viss del vilka komponenter och system som dominerar marknaden. Lån kan erhållas för frånlufts-tilluftssystem med värmeåtervinning och för värmepump med återvinning av energi ur frånluft till uppvärmning av varmvatten. Lånebeloppen för det förra alternativet har i kombination med en effektiv marknadsföring i hög grad främjat försäljningen. Trots ett flertal fullskaleförsök och utredningar har den verkliga energibesparingen ej kunnat fastställas, [4], [15].

En mer effektiv ekonomisk styrning borde beakta sambandet mellan låneunderlag, produktionskostnader och verklig (förväntad) energibesparing. Det erfordras en generell belåningsprincip - grundad på täthets- och ventilationsnivå - som bedömer åtgärder efter investerings- och driftskostnad, energibesparing och livslängd. En sammanställning av dessa storheter för tänkbara åtgärder inom ventilationsområdet finns på nästa sida. Uppgifterna är hämtade från [3] och [24].

Åtgärd	Ökad in- vesterings- kostnad kr	Järskilt låneun- derlag	Besparing kWh/år	42
--------	---------------------------------------	-------------------------------	---------------------	----

Ökad täthet

- | | | | |
|--|------------------|--------|---|
| a) Värmeus-
hållnings-
normens tät-
hetsnivå
3 oms/h
vid 50 Pa | 800 | saknas | En förutsättning för mekaniska ventilationssystem. Genom dessa kan ventilationsnivån styras, utom den oavsiktliga ventilationen, som uppgår till mellan 0.1 och 0.2 oms/h vid naturliga klimatförhållanden. |
| b) Täthetsni-
vån 1 oms/h
vid 50 Pa
resulterar i
en oavsiktlig
ventilation
som är mindre
än 0.1 oms/h,
vid naturliga
klimatför-
hållanden. | 3 000 -
5 000 | saknas | 0.1 oms/h \approx 950 kWh/år. Täthetskravet 1 oms/h kan troligtvis i praktiken motsvara ca 0.1 oms/h i minskad oavsiktlig ventilation jämfört med 3 oms/h vid 50 Pa. |

Ventilationssystem

- | | | | |
|--|---|---|---|
| c) Självdragssys-
tem är utgångs-
alternativet. | 0 | saknas | |
| Reglerbart me-
kaniskt från-
luftssystem
(utöver kost-
naden för ett
självdrags-
system) | | Tillägg
utgår
för
spis-
fläkt | \approx 0.1 oms/h \approx 950 kWh/år. Från energibesparing p g a lägre luftväxling skall dras fläktenergi 600 kWh/år. |
| Forcering av
ventilationen,
1 timme/dygn. | 0 | saknas
Tillägg
utgår för
spisfläkt | 300 kWh/år (energiökning) |

Återvinning av värme ur frånluften

- | | | | |
|--|-------|-------|---|
| d) FT-system
med ventila-
tionsvärme-
växlare (ut-
över kostna-
den för ett
mekaniskt
frånluft-
system). | 8 000 | 6 000 | 1 000-2 000 kWh/år vid 0.5 oms/h, och temperaturverksgraden 60%, beroende på tidskoefficienter om den oavsiktliga ventilationen är 0.2 eller 0.1 oms/h. Därifrån skall dras 500 - 1 000 kWh/år beroende på om jämförelsen görs med självdragssystem och om fläktenergin tillgodogörs för att höja tilluftstemperaturen. |
| e) Frånlufts-
tappvarm-
vattenvarme-
pump (utöver
kostnaden
för en varm-
vattenbere-
dare och me-
kaniskt från-
luftsystem) | 6 000 | 6 000 | 2 500 kWh/år. Antag att värmvattenenergin utan värmepump uppgår till 4 000 kWh/år. |

Utredningen visar på ett stort FoU-behov inom ventilationsområdet. Åtskilliga problem kvarstår när det gäller metoder för beräkning av luftläckage och ventilation. Framförallt måste uppställda teorier förankras till verkligheten. Den grundläggande frågan om hur stort ventilationsbehovet är måste fastslås t.ex. genom ett stort antal mätningar för fastställande av faktiska ventilationsförhållanden samt eventuella radon- och fuktproblem i bebodda småhus.

Kunskaperna inom mikroklimatområdet är bristfälliga. Sambandet mellan otätheter (luftläckage) och exponenten β som beror av strömningstypen bör bestämmas med god noggrannhet. Därvid bör registrering av extern- och interntryckens variation ske. Valet av referensnivåer för vindtrycken har som väntat stor betydelse vid bestämning av formfaktorn och bör studeras ytterligare. Registrering av klimatdata genom studier kring ett antal hus i olika bebyggelser kan bidra till noggrannare beräkningsmetoder. Byggnadens täthetsegenskaper bör studeras, omfattande tryck-flödessamband vid "naturliga" och påtvingade tryckdifferenser, luftväxlingsmätningar samt undersökning av otätheternas fördelning över såväl klimatskärmen som inom byggnadsvolymen. Inledande studier vid CTH [27] visar bl a att en utvändigt luftspalt kan reducera tryckgradienten över väggisoleringen med ca 50%.

Studier bör initieras för att klarlägga hur den totala ventilationen fördelas på en avsiktlig respektive oavsiktlig del och hur påverkan sker av omgivning, vind, temperatur och byggnadens täthet. Några långtgående slutsatser med nuvarande material bör inte dras. I avvaktan på resultat från ytterligare tekniska och ekonomiska FoU-arbeten bör inte täthetskravet skärpas.

Byggandet av energisnåla hus ställer ökade krav på arbetsutförandet och kontroll av detsamma för att beräknad energibesparing skall uppnås i verkligheten. Kraven från samhället och konsumenterna bör skärpas på nya material och apparater ur kostnads- och energisynpunkt. I stället för laboratoriebestämda energibesparingar bör beslutunderlag baseras på i fält uppmätta värden t.ex. systemverkningsgrad. Ekonomiska lösningar för tätningar och ventilationssystem erhålls genom rätt val av material och

konstruktion, gynnsamma betingelser ur arbetsmiljö- och klimatsynpunkt samt kontroll av arbetsutförandet (kanalbrott, skarvläckage, inreglering). Ventilationssystem bör således projekteras med så säkra och korta dragningar som möjligt utan att äventyra ventilationsfunktionen för huset som helhet t.ex. genom att luftströmningen väljer den "väg" som har minsta motståndet.

Genom att för varje rumsenhet föreskriva en injustering till en viss procent av det totala frånluftsflödet försäkras man sig om att rummet erhåller motsvarande tilluftsflöde även om byggnadens otätheter är koncentrerade till andra rum. Av största vikt för en fungerande ventilation är att systemet inregleras.

Innan investeringsbeslut tas om energibesparande åtgärder bör sådana faktorer som investeringsstorlek, livslängd, inflations- och energiprisutveckling samt finansiering (räntor) beräknas och bedömas. Livslängdsbegreppet tycks hittills vara det mest försummade. Olika aspekter kan naturligtvis läggas på val av räntefot, avskrivningstid samt energiprisutveckling relativt övrig prisutveckling. Som livslängd för byggnadstekniska åtgärder, t.ex. ökad isolering, väljer man normalt 30 - 50 år. Livslängden för apparater brukar sättas till 10 - 15 år. Från energisynpunkt kan man enkelt konstatera att det för närvarande ges utrymme för en "överbelåning" till förmån för "energibesparande" apparater av olika slag.

Energibesparing genom åtgärder inom ventilationsområdet kan ske genom att

- minska antalet luftväxlingar
- bygga tätare hus
- återvinna värme ur frånluften

Erforderlig ventilation i småhus bestäms av bl a nedanstående faktorer:

Faktor	Ventilationsbehov		Anm
	m ³ /h person	oms/h	
Syrebehov	0.5		
Koldioxidhalt	10-15	0.1-0.2	4 personer räknat på hela husets volym
		0.6-1.0	2 personer i ett rum med 12 m ² golvyta
Fuktavgivning	4	0.2	5 personer. 40 g vattenånga per person och timme samt 150 g per timme för matlagning m
Undvika kondens på fönster	7		
Tobaksrök	10-25		
Luktförskämning	5-40 vid rumsvolymen 41-5 m ³		
Tobaksrök (ökning med)	ca 20		rumsvolymen inverkar
Matlagning (ökning med)		0.2-0.6	Volymkåpa ca 80 m ³ /h Plänkåpa ca 250 m ³ /h
Tvätt			
Formaldehyd			
Radon			Enligt Planverkets radonutredning 11 för
		ca 0.3	- trähus utan källare
		ca 0.7	- trähus med betongkällare
		ca 1.7	- hus av skifferbase-rad gasbetong

Grundförutsättningen för energibesparing inom ventilations- 16 området är att byggnaden i sig själv är välbyggd på en "optimal" täthetsnivå. Förbättrat arbetsutförande och högre kvalitet på ingående material och komponenter är nödvändiga förutsättningar för högre "ventilationseffektivitet" och lägre luftväxling. Ett väl fungerande och injusterat ventilationssystem med hög "ventilationseffektivitet" kan medge lägre erforderlig luftväxling av huset som helhet och därmed ge ytterligare möjligheter till energibesparing. En utökning av antalet utrymmen med kanaler i frånluftssystem borde även möjliggöra en lägre luftväxling för huset som helhet. Reglersystem som, beroende på behovet, medger en behovsanpassning av luftflödenas storlek i olika utrymmen med tiden torde även medföra en sänkning av luftväxlingen från 0.5 till 0.3 oms/h. Nedan ges en sammanställning av kostnader och besparing för de 3 mest aktuella energibesparande åtgärderna inom ventilationsområdet.

Åtgärd	Energibesparing kWh/år	Investering kr
Ökad täthet från 3 oms/h till 1 oms/h vid 50 Pa	1000	3000 - 5000 ^x
FTX-system i stället för F-system	1000 - 2000	8000
Frånluft-tappvarmvattenvärmepump	1000 - 2500	5000

^xEnligt några tillverkare 500 kronor

Om avsedd energibesparing skall nås för olika åtgärder inom ventilationsområdet måste dessa sättas i sitt totala sammanhang mikroklimat - ventilationssystem (inklusive återvinning) - byggnad (inklusive ventiler/don) - brukare. Inom speciellt mikroklimatområdet är bristen på kunskap uppenbar och ytterligare FoU bör prioriteras. De teorier som används för beräkning av luftväxling som funktion av byggnadens täthet och mikroklimatet måste kompletteras med omfattande mätningar på faktiska hus. Vissa jämförelser har gjorts i denna utredning mellan uppmätta och beräknade luftväxlingar, men några säkra slutsatser kan ej dras. Den grundläggande frågan om hur stort

ventilationsbehovet är måste fastslås t.ex. genom ett stort antal mätningar för fastställande av faktiska ventilationsförhållanden samt eventuella radon- och fuktproblem i bebodda småhus.

För att energibesparingar inom ventilationsområdet skall kunna nås med större säkerhet i framtiden bör laboratorie bestämd verkningsgrad för olika apparater kompletteras med systemverkningsgrad och fältstudier för fastläggande av verkliga energibesparingar. Olämpliga kanaldragningar, reglersystem etc. reducerar ofta energibesparingen. Kvalitet och placering av fläkten är väsentlig för att nå hög tillförlitlighet.

Med hänsyn till de många driftsstörningar som noterats för apparater och fläktar bedömer man det från flera håll som intressant att satsa på en utveckling av självdragssystem för täta småhus.

Det är nödvändigt att ventilationssystemen har möjligheter till differentierade luftflöden beroende på vad olika behov medför. Skilda levnadsvanor och antalet boende påverkar starkt ventilationbehovet. En förstärkt ventilation kan vara nödvändig under en begynnelseperiod.

Differentierade ventilationskrav bör införas beroende på valet av byggnadsmaterial, hustypen (med eller utan källare), markens radioaktivitet m m. I första hand är det de långvariga ventilationsflödena som bör begränsas. Vad som händer vid forcerad ventilation i samband med matlagning är mindre intressant ur energiförbrukningssynpunkt, men väl då det gäller systemets utformning t.ex. kanalstorlekar.

Avsedda energibesparingar inom ventilationsområdet har ofta helt eller delvis uteblivit bland annat på grund av att

- en övergång skett från självdragssystem till mekaniska system med högre luftväxlingar som följd
- samspelet mellan den totala, avsiktliga och oavsiktliga ventilationen inte har beaktats
- inreglering av ventilationssystemet helt eller delvis uteblivit

- man inte tagit hänsyn till den energi som erfordras för att driva fläkten och kompressorer
- ventilationsvärmväxlaren antagits ge en minskning av energibehovet till värmesystemet under för stor del av året
- man inte beaktat frånluftstappvarmvattenvärmepumpens behov av ackumulering och låg varmvattentemperatur

Ytterligare forskningsarbeten behöver genomföras inom ventilationsområdet innan beslut kan tas om skärpta täthetskrav, återvinning av värme ur frånluften m m. I tur och ordning bör olika energibesparande åtgärder eller åtgärds kombinationer vidtas så att totalkostnaden blir så låg som möjligt i första hand för samhället och i andra hand för den enskilde. Totalkostnaden består av investeringskostnader samt drifts- och underhållskostnader. Innan investeringsbeslut tas om energibesparande åtgärder bör sådana faktorer som investeringsstorlek, livslängd, inflations- och energiprisutveckling samt finansiering (räntor) beräknas och bedömas. Livslängdsbegreppet tycks hittills vara det mest försummade. Från energisynpunkt kan man enkelt konstatera att det för närvarande ges utrymme för en "överbelåning" till förmån för "energibesparande" apparater av olika slag.

8 REFERENSER

- [1] Jan Gustén och Christer Johansson: Täthet och ventilation. Chalmers tekniska högskola, Avd för byggnadskonstruktion. Arbetsrapport 1978:17
- [2] Ulf Bergström: Lufttäthet i prefabricerade småhus. Enkätundersökning. Träförädlingsbyrån 1979
- [3] Ulf Bergström: Energibesparing och lufttäthet i prefabricerade småhus. Träförädlingsbyrån 1979
- [4] John Eric Ekstrand m fl: Kunskapsbrist minskar energisparandet. Ventilation i småhus. Byggmästaren nr 5, 1980
- [5] Christer Herrysson: Nyproducerade småhus. Variation i energiåtgång. VVS-Forum nr 9, 1979
- [6] Christer Herrysson: Kostnader för värmesystem och energisparåtgärder i småhus. VVS nr 5, 1979
- [7] Hans Bäckberg och Jan Gustén: Lågenergibyn i Perstorp. Chalmers tekniska högskola, Avd för byggnadskonstruktion. Arbetsrapport 1979:18
- [8] Jan Gustén: Provhus 5 i Modulent - Ljungdala. Studier av täthet och ventilation. Chalmers tekniska högskola, Avd för byggnadskonstruktion. Arbetsrapport 1979:5
- [9] Kamal Hende och Jan Gustén: Mikroklimat: Vindtrycksfördelning på småhus. Chalmers tekniska högskola, Avd för byggnadskonstruktion. Arbetsrapport 1981:9
- [10] Sune Larm: Beräkningsmetod för den totala ventilationen i en byggnad under påverkan av vind-, termik och fläktkrafter samt en jämförelse mellan frånluftssystem och frånluft-tilluftssystem för enfamiljshus. AB Svenska fläkfabriken, Technical Report Contracting Division 1979

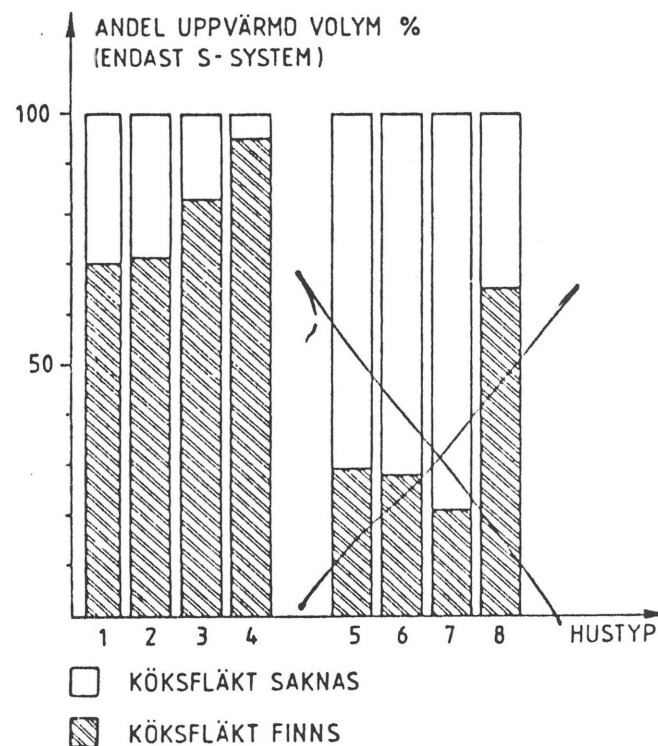
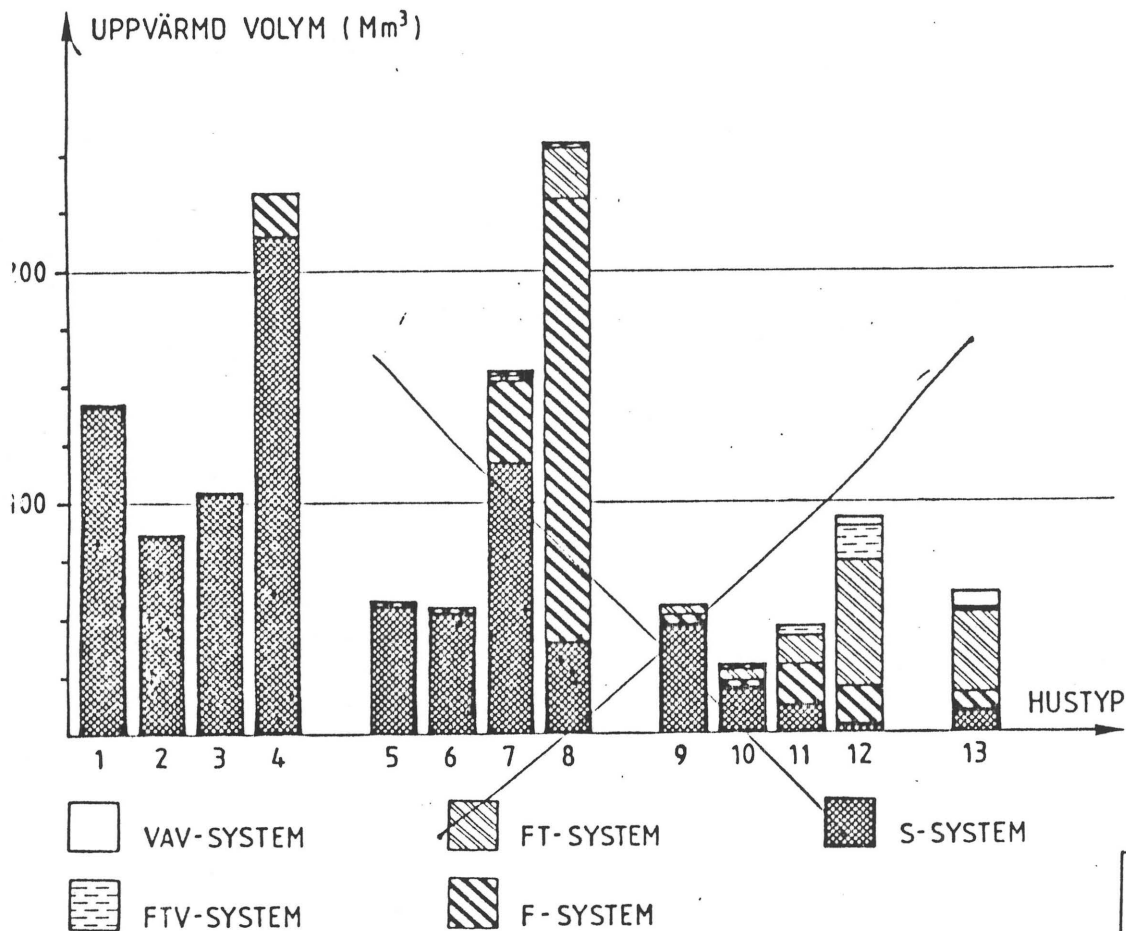
- [11] Gunnar Kärrholm m fl: Programutredning. Lufttätthet och ventilation. Chalmers tekniska högskola, Avd för byggnadskonstruktion. Arbetsrapport, januari 1982
- [12] Sune Larm: Ventilation i småhus. Systemanalys. AB Svenska fläktfabriken, Technical Report Contracting Division 1981
- [13] Per Olof Nylund: Energisparande - huvudverk för både byggare och installatörer. VVS 7 - 8, 1981
- [14] Arne Elmroth och Arne Lögdberg: Klarar vi klimatet i täta varma hus? Byggnadsindustrin nr 8, 1981. Bättre klimat i täta hus med rätt ventilation om den används rätt. VVS nr 5, 1981
- [15] Anders Svensson: Värmeåtervinning ur ventilationsluft, Anderstorp 20, Skellefteå. Statens institut för byggnadsforskning. Meddelande M81:23, 1981
- [16] E Rørdal: Inneklima. Sunnhet og komfort kontra energi og økonomi, KTH, Uppvärmnings- och ventilationsteknik, Tekniskt meddelande nr 182, 1980
- [17] O Valbjørn: Indeklimat generelt, Materialnyt nr 4, 1979, Hørsholm
- [18] C Linder: Nya bestämmelser om strålning i byggnader, Byggmästaren nr 1 - 2, 1981
- [19] Tore Falkenhaug: Formaldehyd - nulägesrapport. Trähusgruppens informationsdag 1981-10-28. Träförädlingsbyrån
- [20] Korsgaard J: The effect of the indoor environment on the house dust mite. Indoor climate. Danish Building Research Institute, 1979

- [21] Arne Elmroth och Ingemar Höglund: Analys av ofrivillig ventilation i småhus, VVS nr 2, 1970
- [22] P Levin: Klimatstudie ger besked - stödbensvind bör ventileras. Byggmästaren nr 10, 1981
- [23] Ulf Bergström och Birger Rapp: Energibesparande åtgärder i småhus. Ekonomisk utvärdering. Träförädlingsbyrån, 1980
- [24] Christer Harrysson: Energibesparande ventilations-tekniska åtgärder. Elinstallatören nr 8, 1980
- [25] Christer Harrysson: Vattenburen värme för nya småhus dyrare än direktel. VVS nr 5, 1981
- [26] Folke Peterson: Ventilationsbehov. Kompendium II:1. Uppvärmnings- och ventilationsteknik. KTH, 1975
- [27] Thomas Lindquist: "Muntliga uppgifter". Chalmers tekniska högskola, Avd för byggnadskonstruktion, 1982
- [28] Per Olof Wylund: Tjyvdrag och ventilation. Statens råd för byggnadsforskning, T4:1979.

Fördelningen av den totala uppvärmda byggnadsvolymen efter uppvärmningssystem och hustyp redovisas i figur 12. Den stora andelen hus med S-system kan framöver ge problem med ventilationen om de krav som diskuteras (0,5 omsättningar/timme) skall uppnås.

Figur 13 Andel av uppvärmd volym med köksfläkt (endast S-system) efter hustyp

Figur 12 Uppvärmad volym efter typ av ventilationssystem och hustyp



I hus med självdragssystem kan köksfläktarna användas för att förbättra ventilationen. I figur 13 redovisas andelen av uppvärmd volym där köksfläktar finns.

Kod	Hustyp	Byggnadsår	Antal utvalda fastigheter	Skattat totalantal fastigheter (tusental)
1	Småhus	-20	313	270
2	Småhus	21-40	307	214
3	Småhus	41-60	342	265
4	Småhus	61-75	448	449

Fördelning av byggnadsbeståndet

Värmeåtervinningssystem förekommer i nämnvärd omfattning endast bland nyare lokaler (1961-75) där andelen av uppvärmd volym med värmeåtervinning är 47 %.

Tabell 1. Luftomsättning i enbostadshus byggda 1974-75. Husen har S-system med spisläkt. Medelvärde = 0,32 oms/h s = 0,07.

Hus	Volym m ³	Luftoms./h	m ³ /h	l/s	Utetemp °C	Vindhast m/s
1	256	0,21	54	15,0	- 6,8	W 2
2	256	0,45	115	31,9	- 6,8	W 2
	280	0,41	115	31,9	- 6,8	W 2
	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
	256	0,28	72	20,0	+ 0,4	W 4

Sovrum 0,22 oms/h.

Tabell 2. Luftomsättningen i enbostadshus byggda 1974. Husen har S-system med spisläkt. Medelvärde 0,18 oms/h s=0,04.

Hus	Volym m ³	Luftoms.	m ³ /h	l/s	Utetemp. °C	Vindhast 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⁾ Sovrum 0,17 oms/h. Med spisfläkt på halvt varvtal 0,5 oms/h.

Tabell 3. Luftomsättning i hus grupp 1. Medelvärde=0,23 oms/h s=0,048.

Volym m ³	Luftoms./h	m ³ /h	l/s	Utetemp. °C	Vindhast. 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

Tabell 4. Luftomsättning i hus grupp 2. Medelvärde=0,22 oms/h s=0,028.

Volym m ³	Luftoms./h	m ³ /h	l/s	Utetemp. °C	Vindhast. 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

Tabell 5. Luftomsättning i hus grupp 3. Medelvärde=0,47 oms/h s=0,098

Volym m ³	Luftoms./h	m ³ /h	l/s	Utetemp. °C	Vindhast. 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

Tabell 6. Luftomsättning i hus grupp 4. Medelvärde=0,22 oms/h, s=0,072

Volym m ³	Luftoms./h	m ³ /h	l/s	Utetemp. °C	Vindhast. 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

Enkät till boende i Enebybergshusen

Har Ni under vinterhalvåret fått besvär med fukt på t ex fönster eller i övrigt tyckt att luften varit fuktig och därför behövt öka ventilationen?	Ja svar	Nej svar	Ej svar
	19	9	2
Har Ni vid andra tillfällen behövt öka ventilationen under vinterhalvåret? (Undantag gäller här för matlagning som ju oftast betyder att ventilationen behöver ökas tillfälligtvis).	9	19	2
Om Ja, när?			
På den andra frågan uppger de som svarat ja skälen vara:			
användning av torkskåp			
öppen diskmaskin för självtorkning av disk			
användning av dusch			
om det blivit alltför rökigt			

Tabell 7. Luftomsättning i hus grupp 5. Medelvärde=0,17 oms/h, s=0,036

Volym m ³	Luftoms./h	m ³ /h	l/s	Utetemp. °C	Vindhast. 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 1,5-2,5

Källa: Bengt E Erikson - Ventilationen ofta dålig i nybyggda enbostadshus

Kunskapsbrist minskar energisparandet

Det går att spara mer energi i nybyggda småhus om bara ventilationssystemet används rätt. Bättre information och kunskaper behövs för detta. Myndigheterna måste också se till att mekaniska ventilationssystem verkligen inregleras. Fler energibesparande åtgärder behandlas i denna artikel skriven av John-Eric Ekstrand VVS-konsulten i Hässleholm AB, Jan Gustén, Chalmers och Christer Harrysson, Västkostugan AB.

Ventilation förlusternas andel av den totala energiförbrukningen har under de senaste åren uppmärksamats i allt högre grad. Genom skärpta värmeavgivningskrav i SBN 75 för olika byggnadsdelar och för byggnaden som helhet har man tvingats minska luftläckningen genom byggnadens omslutningsytor och fogar. Kraven ökar behovet av mekaniska ventilationssystem. Reglerbara mekaniska ventilationssystem skulle kunna medföra energibesparing under kalla delar av året samt vid behov ökad luftväxling, speciellt under de varma delarna av året.

Kvantitativa uppgifter om ventilation förlusternas storlek har bl.a. lämnats av Boman [1], Lindquist [2], Harrysson [3], Gustén och Johansson [4]. Dessa utredningar antyder att den totala ventilationen i de småhus som byggts under 60- och 70-talet är betydligt mindre än de tidigare använda överslagsmässiga riktvärdena 0,5–0,7 oms/h.

Värden på en total ventilation av 0,2–0,4 oms/h vid normala klimattörhållanden har uppmätts enligt spargasmetoden i ett 50-tal prefabricerade källarlösa självdragsventilerade eller mekaniskt ventilerade småhus av trä [4].

De nya täthetskraven i SBN 75 har initierat omfattande utvecklingsarbeten för att genom förändrade konstruktionslösningar stadkomma tätare hus. För friliggande småhus får luftläckningen maximalt motsvara 3 oms/h som medelvärde av trycksätt-

ningsmatning vid 50 Pa över- och undertryck. Med tätade ventilationsdon motsvarar detta en naturlig luftomsättning på 0,1–0,2 oms/h vid mätningar enligt spargasmetoden. [4]. Hus med denna täthet har astadkommit till en merkostnad av mellan 500 och 2 000 kr, beroende på vilka konstruktioner som valts och om arbetet utförts i fabrik eller på bygglplatsen (montageplatsen).

Normkrav för ventilation enligt SBN 75

Vid projektering av luftflöden ställs både delkrav för vissa utrymmen och krav på att husets totalventilation ska uppgå till 0,35 l/s m² bostadsyta. Det senare kravet motsvarar för vanliga förekommande hustyper 0,5 oms/h. Normen förbjuder ej självdragssystem i småhus, trots de hygieniska olägenheter som kan väntas.

I händelse av att man väljer ett mekaniskt ventilationssystem, ska detta dimensioneras för en luftväxling motsvarande 0,5 oms/h. Den oavsiktliga ventilationens bidrag beaktas ej. Det ska finnas möjlighet att halvera flödet samt att vid behov forcera flödet genom spiskåpan, det senare för att bl.a. klara osuppfångningen vid matlagning.

Gränsområdet mellan byggnads- och ventilationsteknik

Inom ventilationsindustrin arbetar tekni-

ker med förhållandevis avancerad installations- och ventilationsteknik för industribyggnader, varuhus och kontor. Byggnadsindustrin upplever ej småhusbyggnaden som alltför komplicerat. Trots detta verkar det som om kompetensen brister i gränsområdet mellan byggnads- och ventilationsteknik. Orsaken till detta kan vara att ventilationen i småhus inte upplevs som kompetenskrävande.

En totalsyn på energibalanser för småhus saknas i allmänhet och samspelet mellan olika energiflöden beaktas ej.

Energiförbrukning

Energibalansen för ett nyproducerat 1½-planshus exemplifieras av fig. 1. Det där skisserade huset är beläget i Skåne och konstruerat enligt Värmehushållningsnormens kravnivå. Dess volym är 320 m³.

Vid en total ventilation motsvarande normernas krav på 0,5 oms/h uppgår ventilation förlusterna till 4 750 kWh. Ventilationen blir, som tidigare nämnts, i praktiken mellan 0,2 och 0,4 oms/h. Jämfört med normens krav minskar energiförbrukningen med 1 900 kWh vid en total ventilation motsvarande 0,3 oms/h.

Vid matlagning finns behov av forcerad ventilation, vilket medför en luftväxling genom "spiskåpan" av 1 oms/h. Undersökningar av bl.a. Bjerrøme [5] visar, att detta är aktuellt under ungefär en timma per dygn. Detta ger per dygn en ökning av ener-

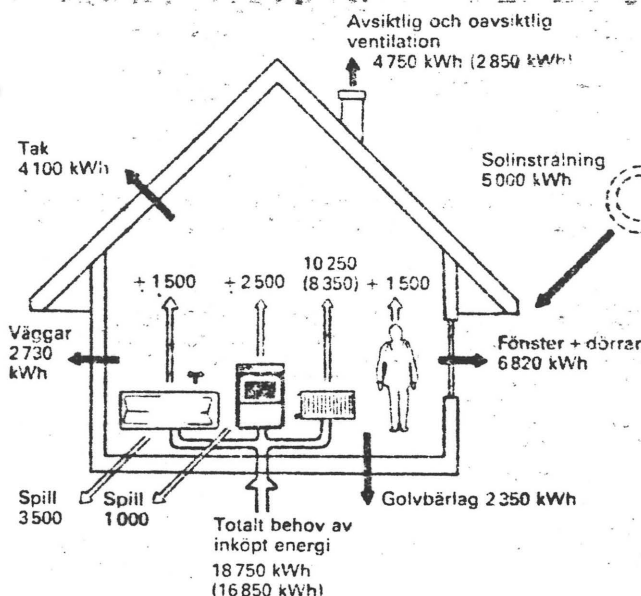


Fig. 1. Energibalans vid en total ventilation motsvarande 0,3 och 0,5 oms/h. Värden inom parentes gäller för 0,3 oms/h.

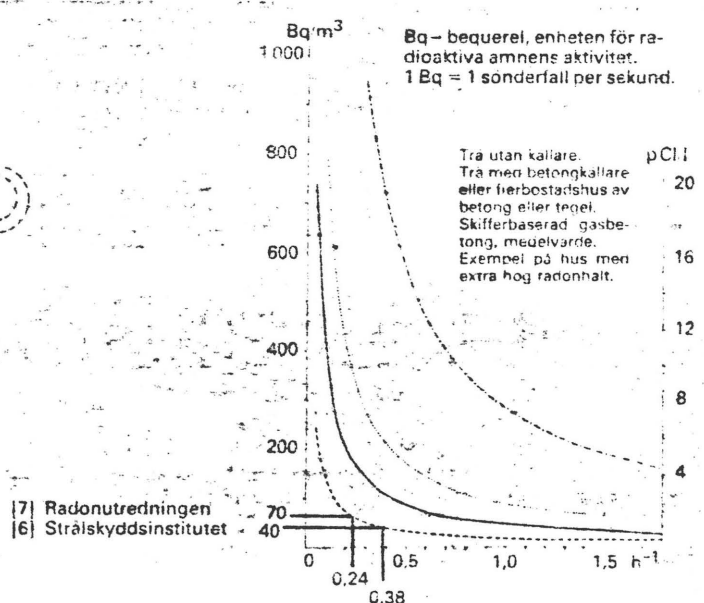


Fig. 2. Radonhalten som funktion av luftomsättningen.

$$320 \text{ (m}^3 \cdot \text{t)} \cdot (1 - 0,3) \text{ (oms h)} \times 0,33 \times 10^3 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{KCh}} - \frac{90 \cdot 1000}{24} \right) (\text{Ch}) = 280 \text{ kWh.}$$

Andra krav på ökad ventilation kan vara tobaksrökning och luftavgivning vid tvätt.

Faktorer som påverkar ventilationsbehovet

Flera faktorer bestämmer lämplig ventilationsnivå i våra bostäder. Kraftig ventilation kan ge upphov till drag och dålig värmekonomi. Liten ventilation kan å andra sidan ge upphov till:

- syrebrist
- fuktproblem
- obehaglig lukt
- CO- och CO₂-problem
- oacceptabel halt av giftiga gaser (ex formaldehyd och radon).

Speciell uppmärksamhet bör ägnas åt de radioaktiva gaser, som avges från olika byggnadsmaterial.

Mätningar och intervjuer i ett 100-tal trähus, huvudsakligen källarlösa, [2], [4], [5], har visat att de boende upplever 0,2-0,3 oms/h som en tillräcklig luftomsättning vid fungerande ventilationssystem och lämplig fördelning mellan olika utrymmen. Sedan 1975 har cirka 700 hus per år tillverkats av samma typ som de studerade husen. Antalet klagomal på grund av för låg luftväxling är ytterligare. I de fall de förekommit har de huvudsakligen berott på bristfälligt arbetsutförande, felaktig inreglering eller dålig information om hur systemet ska användas.

Förekomsten av radon i våra bostäder har under den senaste tiden kommit att dominera och i viss mån styra ventilationsdebatten. Fig 2, som är hämtad från [6], används ofta för att motivera krav på ökad luftomsättning.

Radonutredningens riktvärde för nybyggande, 70 Bq m⁻³ [7], och Stralskyddsinstitutets maxvärde, 40 Bq m⁻³ [6], har markerats i figuren.

Enligt vår mening visar dessa värden inte att den totala luftomsättningen generellt ska fastslås till 0,5 oms/h. Däremot bestyrker de våra tidigare framförda åsikter [8] att mer nyanserade krav borde ställas på ventilationen dvs:

- Mindre luftväxling för trähus jämfört med t ex skifferbaserad gasbetong
- mindre luftväxling för kryprumsgrundlagda trähus jämfört med hus med källare
- högre luftväxling för gasbetonghus och hus grundlagda på radioaktivt material.

Utredningsresultat, se Swedjemark [6], visar däremot att differentierade krav bor-

de ställas på ventilation av olika utrymmen, som t ex sovrum.

Det förefaller, inte minst ur energiekonomisk synpunkt, vara fel att lösa radonproblemet enbart genom ökad ventilation. Många av de hus som byggts enligt Värme-hushållningsnormens "krav" har högre eller endast obetydligt lägre energiförbrukning än motsvarande hus byggda före oljekrisen. Riksdagens energipolitiska beslut har på en av sina huvudpunkter - dvs att minska energitgången i nyproducerade småhus med 40% - helt frångåtts. Ett flerårigt energispararbete kommer helt att raseras genom att husägare uppmanas till ökad ventilation och vädring samt att i vissa fall ta bort tätningslister. Ett mer nyanserat angreppssätt för att begränsa ventilationsförlusterna borde bestå i val av lämpliga byggnadsmaterial i kombination med rimlig ventilation och täthet.

Krav på funktionskontroll och inreglering av F-system

Det föreligger idag betydande svårigheter att få ett enkelt F-system att fungera tillfredsställande. Detta beror på bristande noggrannhet vid montering av ventilations-systemet samt utebliven kontroll och besiktning av systemet.

Bristande kunskap om ventilationssystemens konstruktion och funktion medför att byggnadsindustrin inte i tillräcklig omfattning kan bemöta ventilationsfabrikanternas argumentation med erforderliga krav på fungerande system med god energiekonomi.

Systemen är ofta inte inreglerade. Detta beror dels på att vissa ventilationsfabrikanter ersätter inreglering med "förinställning" av frånluftsdon, se fig 4, dels på att myndigheterna inte i tillräcklig omfattning kontrollerar att systemen inregleras.

Mekaniska ventilationssystem bör inregleras på plats. Samtidigt måste det då ställas krav på den som inreglerar och den utrustning som används. Lämpligen inköpes systemen med garanti för inreglering och funktionskontroll.

FT-system med ventilationsvärmepåväxlare

Riskerna för felaktiga luftflöden och kallläckage med åtföljande energiförluster är i praktiken betydligt större för FT-system än för F-system. FT-systemen ställer dessutom högre krav på kvalitet och

funktion. Vid inreglering råder det vissa svårigheter att med acceptabel noggrannhet mata tilluftslöden. Produktionsproblemen ökar också markant.

Ökade länebelopp för FT-system med ventilationsvärmepåväxlare har i hög grad främjat försäljningen. Systemet anses ge ökad komfort, återvinning av värme samt minskat effektbehov för uppvärmning och därigenom minskade radiatorytor. Den verkliga energibesparingen för system av denna typ är enligt vår mening ej fastställd.

Vid en bedömning av lönsamheten måste hänsyn tas till de luftflöden som i praktiken förekommer i nyproducerade småhus.

Ventilationsvärmepåväxlarens verkningsgrad

Ventilationsvärmepåväxlaren har i stort sett hittills undgått den debatt som förts kring olika byggnads- och installationstekniska åtgärders verkliga energibesparing. Skälen till detta kan vara att:

- Bostadsstyrelsen ger ett ur lönsamhets-synpunkt förhållandevis stort läneunderlag.
- En effektiv marknadsföring från ventilationsfabrikanterna.
- Mer eller mindre omedvetet överförs erfarenheter av ventilationsvärmepåväxlare i industrier, kontor, varuhus, m m utan att hänsyn tas till småhusens mindre byggnads-volym och ventilationsbehov.
- Bristande kunskaper inom ventilations-området från byggnadsindustrin och de boende.

Gemensamt för alla tillverkare av ventilationsvärmepåväxlare är att växlarnas prestanda anges med en s k temperaturverkningsgrad η_t . Denna definieras enligt

$$\eta_t = \frac{t_{tu} - t_{ti}}{t_{fi} - t_{ti}}$$

där

- t_{tu} = utgående tilluftstemperatur
- t_{ti} = ingående tilluftstemperatur
- t_{fi} = ingående frånluftstemperatur.

Temperaturverkningsgraden ger en god jämförelse mellan olika typer av ventilationsvärmepåväxlare men kan enligt vår mening knappast ligga till grund för bedömning av energibesparing.

Detta påstående styrks av mätresultat, som tyder på att endast 60-80% (dvs 0,3-0,4 oms/h) av ventilationen styrs genom ventilationssystemet, [4].

Ventilationsvärmepåväxlarens energibesparing

Här redovisas ett beräkningsexempel på ventilationsvärmepåväxlarens energispar-möjligheter. Förutsättningarna är:

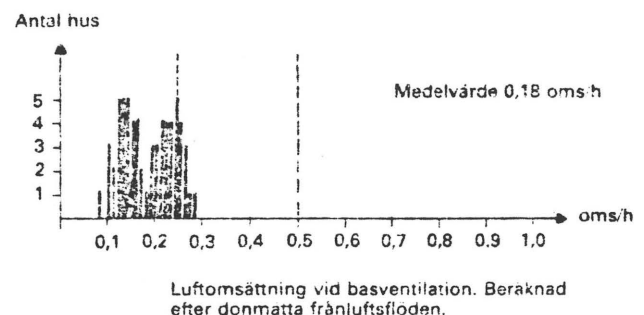
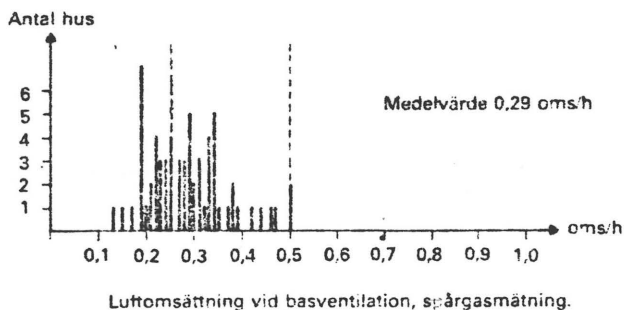
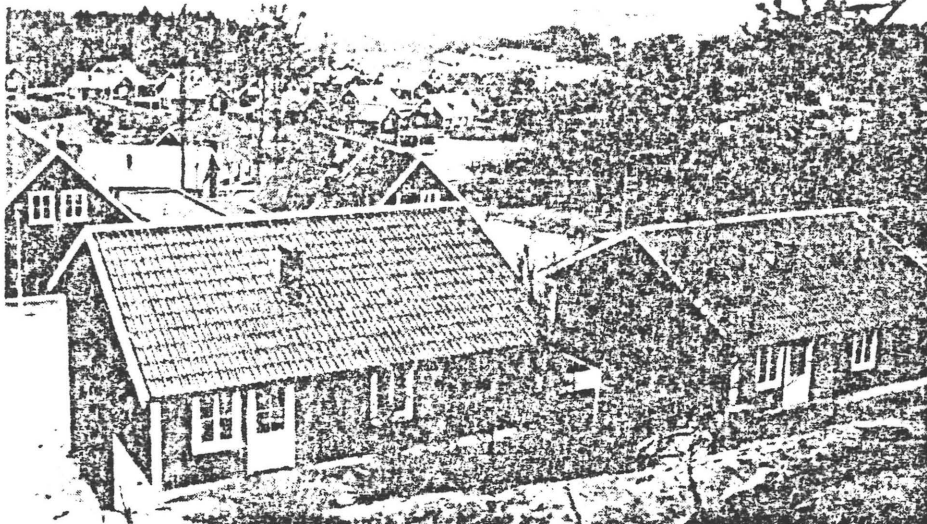


Fig 3. Uppmätt total ventilation respektive donmätt frånluftslöde, [4].



Dålig information om ventilationssystemet i nybyggda småhus gör att energibesparingar helt eller delvis uteblir.

- Husvolym = 320 m³
- Gradtimmar = 90 000 °C·h
- Ventilationsvärmväxlarens verkningsgrad antas vara 60%.
- Luftens värmekapacitet = 0,33 · 10⁻³ kWh/°C·m³.

Ett större antal spårgasmätningar visar att infiltrationen - den oavsiktliga ventilationen - uppgår till mellan 0,1 och 0,2 oms/h (32-64 m³/h).

Den totala ventilationen ska enligt värmehushållningsnormen uppgå till 0,5 oms/h (160 m³/h).

Ventilationsförluster vid F-system

Ventilationsförlusten genom ventilationsystemet och byggnadens omslutningsareor uppgår vid en total luftomsättning av 0,5 oms/h till

$$W_F = 160 \cdot 0,33 \cdot 10^{-3} \cdot 90\,000 = 4\,750 \text{ kWh}$$

Ventilationsförluster vid ett FT-system med värmväxlare och balanserade flöden

Infiltrationen 0,1 oms/h orsakar energiförlusten

$$W_i(0,1) = 32 \cdot 0,33 \cdot 10^{-3} \cdot 90\,000 = 950 \text{ kWh}$$

och 0,2 oms/h förlusten

$$W_i(0,2) = 64 \cdot 0,33 \cdot 10^{-3} \cdot 90\,000 = 1\,900 \text{ kWh}$$

A. Husets totala ventilation uppgår till 0,5 oms/h. Det styrda frånluftslödet motsvarar vid en infiltration på 0,1 oms/h energiförlusten

$$W_{FT}(0,1) = (160-32) \cdot 0,33 \cdot 10^{-3} \cdot (1-0,6) \cdot 90\,000 = 1\,520 \text{ kWh}$$

och vid 0,2 oms/h

$$W_{FT}(0,2) = (160-64) \cdot 0,33 \cdot 10^{-3} \cdot (1-0,6) \cdot 90\,000 = 1\,140 \text{ kWh}$$

Energiverkningsgrad

$$\eta_b = 1 - \frac{W_i + W_{FT}}{W_F}$$

Vid infiltrationen motsvarande 0,1 oms/h erhålls

$$\eta_b = 1 - \frac{(950 + 1\,520)}{4\,750} = 48\%$$

och vid 0,2 oms/h

$$\eta_b = 1 - \frac{(1\,900 + 1\,140)}{4\,750} = 36\%$$

B. Luftflödet genom frånluftssystemet uppgår till 0,5 oms/h. Detta motsvarar förlusten:

$$W_{FT} = 160 \cdot 0,33 \cdot 10^{-3} \cdot (1-0,6) \cdot 90\,000 = 1\,900 \text{ kWh}$$

Infiltrationen 0,1 oms/h ger

$$\eta_b = 1 - \frac{(950 + 1\,900)}{4\,750} = 40\%$$

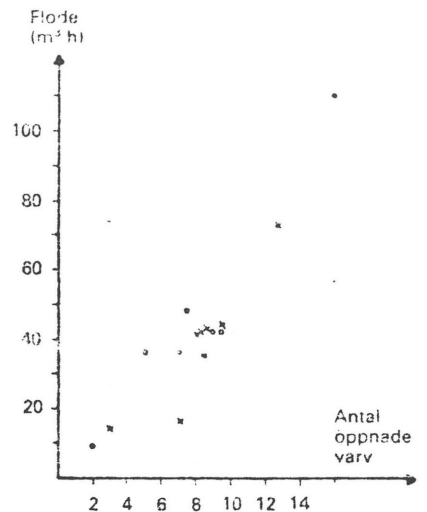
och 0,2 oms/h ger

$$\eta_b = 1 - \frac{(1\,900 + 1\,900)}{4\,750} = 20\%$$

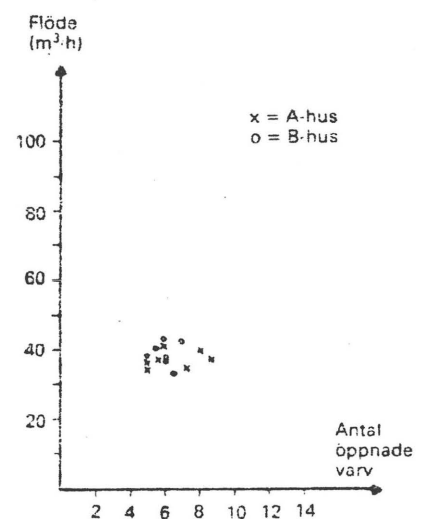
Det genomräknade exemplet visar, att en ventilationsvärmväxlare med verkningsgraden 60% minskar de totala ventilationsförlusterna med mellan 20 och 48%.

Ökade täthetskrav?

Ventilationsvärmväxlare blir naturligtvis lönsammare vid tätare hus och ökad luftväxling. FT-system med värmeåtervinning torde dock först bli intressant vid tätare hus än byggnormens krav på 3 oms/h vid 50 Pa. Denna täthet har åstadkommit för en kostnad av mellan 500 och 2 000 kronor. En skärpning av täthetskravet till 1 oms/h skulle medföra en merkostnad på mellan 2 000 och 5 000 kronor [11]. Konsekvenserna av ett sådant beslut måste först utredas speciellt med hänsyn till att ventilationsbehovet på grund av radon, formaldehyd, fukt m m annan erar tillfredsställande utrett. Är det ur ekonomisk och praktisk synpunkt motiverat att ytterligare reducera



Don i bad, WC ÖV före inreglering.



Don i bad, WC ÖV efter inreglering.

Fig 4. Registrerat flöde och doninställning. Donen var enligt fabrikanter "förinställda".

det "läckage" som den oavsiktliga ventilationen i nyproducerade småhus orsakar? Vilka konsekvenser kan det få för de boende, om det mekaniska ventilationssystemet genom strömavbrott eller av annan orsak slutar att fungera?

Tejp av olika slag har blivit ett hjälpmedel för att erhalla täta hus. Beständigheten och varaktigheten av olika förbättrade täthetsåtgärder kan dock ifrågasättas.

Slutsatser

Energibesparande åtgärder bör totaloptimeras i nyproducerade småhus. Ur ekonomisk och teknisk synpunkt måste åtgärderna genomföras i en viss ordning, se Harrysson [11].

Med föreliggande artikel vill författarna visa på behovet av utvecklingsinsatser inom ventilationsområdet som syftar till:

- Kunskapsökning
- Brister i arbetsutförande och dålig information till de boende om mekaniska ventilationssystemets funktion gör, att den förväntade energibesparingen helt eller delvis uteblir.

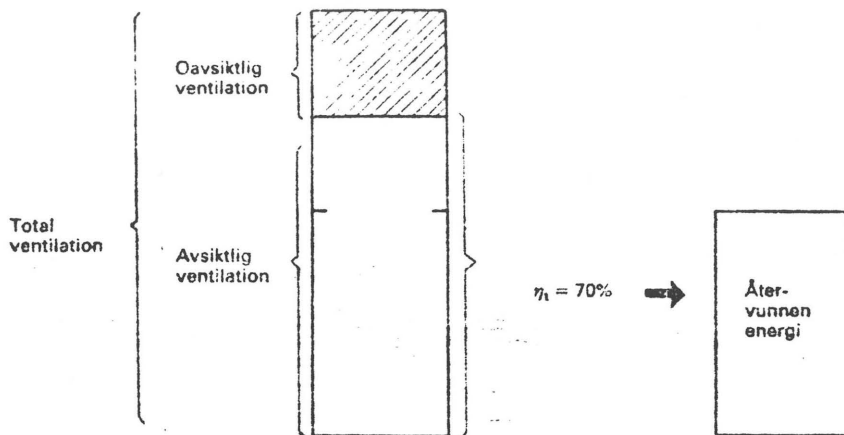


Fig 5. Temperaturverkningsgradens begränsning om den ej relateras till verklig luftväxling.

- Nyanserat ventilationsbehov
Ett nyanserat ventilationsbehov bör införas i byggnormen på basis av kända kriterier för ventilationsbehov, särskilt strålskyddsforskarnas resultat.
Det ska finnas möjligheter att öka luftflödet vid exempelvis matlagning och tobaksrökning.
- Inregleringskontroll
Myndigheterna måste kontrollera att mekaniska ventilationssystem verkligen inregleras.
- Tilluftsdonens komfortegenskaper
Eventuella komfortolägenheter vid olika ventilationstyper och placeringsalternativ bör studeras.

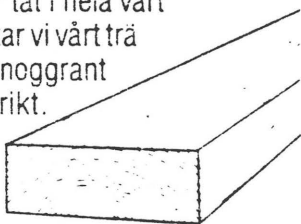
- Värmeåtervinningens verkliga betydelse.
Under en stor del av året kan inte den återvunna energin ur frånluften användas därför att något uppvärmningsbehov ej föreligger. Ett alternativ till ventilationsvärmväxlare är därför den typ av värmepumpar som utnyttjar värmeinnehållet i frånluften för att värma tappvarmvatten.
- Täthetskrav på optimal nivå
Täthetskraven bör ställas i relation till den verkliga energibesparing som kan förväntas. Med hänsyn till bl a kostnaderna bör täthetskraven ej skärpas ytterligare förrän arbetsutförandet, åldringsbeständigheten, systemets drittsäkerhet och kostnaderna bättre har klariagts.

Referenser

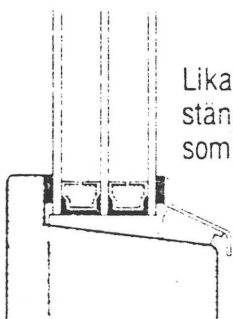
- [1] Boman, C-A: *Synpunkter och delresultat från luftomsättningsmätningar i småhus*, SIB, 1979-06-08. *Luftkvalitet i småhus, synpunkter*, SIB, 1979-10-17.
- [2] Lindquist, T: *Spärgasmätningar av Modulenhuis*. Arbetsrapporterna 1976:8, 1976:9, 1976:10. Byggnadskonstruktion, CTH.
- [3] Harrysson, C: *Ventilationen lika viktig som tätheten hos småhus*. VVS nr 3, 1977.
- [4] Gustén, J och Johansson, C: *Täthet och ventilation*. Arbetsrapport 1978:17. Byggnadskonstruktion, CTH.
- [5] Bjerrome, K: *Energiförbrukning och boendevanor*. . . . Examensarbete 1978:18. Byggnadskonstruktion, CTH.
- [6] Swedjemark, G A: *Problemet med radon och radondöttrar inomhus*. VVS nr 3, 1979.
- [7] *Åtgärder mot radon i bostäder*. Statens planverk aktuellt 5/1979.
- [8] Ekstrand, J-E, Gustén J och Harryson, C: *Ventilationsvärmväxlare behövs de i småhus?* VVS nr 6, 1979. *Skilda krav på ventilation av småhus*. VVS nr 10, 1979.
- [9] Jonson, J-Å: *Villa-80 projektet i Umeå*. VVS nr 6, 1979.
- [10] Askesten, Å: *Vem bryr sig om SBN?* VVS-Forum nr 3, 1979.
- [11] Harrysson, C: *Kostnader för värmesystem och energisparåtgärder i småhus*. VVS nr 5, 1979.

Det räcker inte att se bra ut när man vill vara bäst!

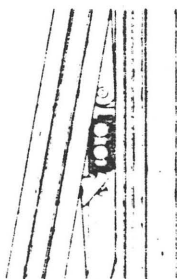
Skogen står tät i hela vårt land. Ändå tar vi vårt trä enbart från noggrant utvalda distrikt.



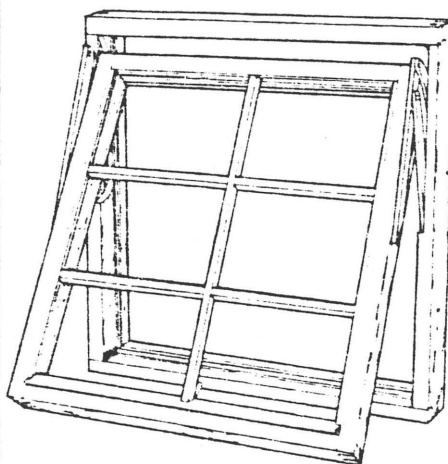
Lika viktigt att stänga ute oljud som kyla och drag.



Skönt att vara säker när småbarnsföräldrarna frågar om fönstren är barnsäkra.

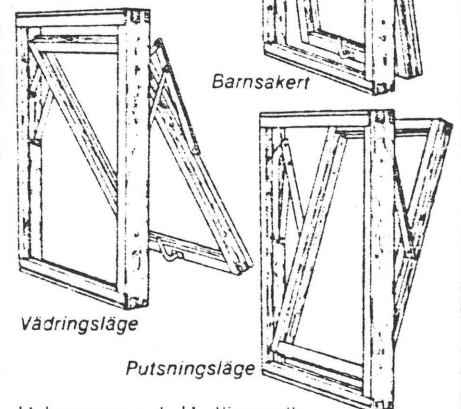


Greppvänliga handtag som kan kompletteras med olika låsanordningar.



Praktisk spröjs för miljöns skull. Persiennerna är också geniala.

Det är många år sedan H-Fönstret förpassade andra fönster till historien. Försprånget håller i sig.



H-karmen och H-dörren är andra kvalitetsprodukter från Traryd.

H FÖNSTRET TRARYD

AB Traryd Snickerfabrik Box 2062, 280 51 Traryd

Energisparande – huvudvärk för både byggare och installatörer

Det kanske allvarligaste hindret för ett effektivt energisparande i byggnader är okunnigheten om hur byggnader och installationer fungerar som totalsystem. Som det nu är finns det alldeles för mycket kvacksalveri i verksamheten. För att belysa detta skärskådar författaren en av "undermedicinerna" – det urskilningslösa rekommenderandet av tätningsåtgärder. Det kommer att krävas kraftfulla gemensamma ansträngningar – över skrågränserna – för att vrida utvecklingen rätt.

Docent PER OLOF NYLUND, Tyréns

För att kunna gå någorlunda rakt på målet – ett effektivt energisparande i byggnader – krävs kunskap om hur byggnad och installation samverkar som totalsystem. Vidare måste val av tekniska lösningar beakta andra konsekvenser än enbart energibesparing. Även byggfysikaliska konsekvenser som berör människans och byggnadens "goda bestånd" måste inbegripas. Sammantaget rör det sig ofta om komplicerade bedömningar som kan motivera en jämförelse med medicinen.

En effektiv hantering kan jämföras med att ställa en medicinsk diagnos, att fastställa behandlingsmetod(er) och att kontrollera resultatet av behandlingen. Hanteringen idag är otillfredsställande och vid jämförelse med den medicinska ofta att karaktärisera som kvacksalveri. Diagnosen ställs utan kunskaper om hur helheten fungerar. Kunskapen om metodernas effekt är ofullständig och ofta baserad mer på säljargument för olika komponenter och "energisparsystem" än på tekniska fakta.

Ett område, där bristen på insikter om hur byggnad – installation fungerar tillsammans har lett till felbedömningar, är hur byggnad – ventilationssystem samverkar när det gäller luftläckning, som ofta svarar för avsevärda energiförluster. Detta påstående bestryks här med ett exempel, som förhoppningsvis också visar att det går att skaffa ökad insikt om totalfunktion utan alltför mycket teoretiserande.

Konsekvenser av att täta ytterväggar i flerbostadshus

Figur 1 presenterar data för två 4-vånings bostadshus, som är likadana sånär



En ung arkitekt från Hornstull
sa: För värmebesparingens skull
jag gör i mitt kök
ett hemligt försök
att virka en villa av ull

Denna artikel publiceras också i Byggmästaren 7-8 1981 med förhoppning om att vi ska kunna initiera en konstruktiv debatt över skrågränserna.

R_p (1b) blir 0,31 respektive 8,8. (Värdena har beräknats numeriskt.) Tätningssåtgärder som reducerar otätheterna hos ytterväggen till hälften medför alltså en betydande reduktion av luftväxlingen – också till hälften. Tryckfallet över väggen däremot har endast förändrats i liten utsträckning från 8,3 till 8,8, dvs med ca 6 %.

Figur 3b visar motsvarande grafiska lösning för den frånluftsventilerade lägenheten. Återigen är kurvorna desamma som i Figur 1 men i annan skala beroende på det höga totala drivtrycket (= 300 Pa). Luftväxlingen för yttervägg i otätat skick är $n = 0,59$ och i tätat skick $n = 0,57$. Minskningen är således obetydlig. Däremot har tryckfallet över ytterväggen ökat från 7,8 till 29 Pa, dvs nästan 4 gånger.

Slutsatser och kommentarer. Huvudreglerna när det gäller att bedöma energibesparing genom tätningssåtgärder blir:

1) Tätning av ytterväggar i självdragsventilerade hus ger väsentligt mindre luftväxling och energiförluster.

2) Tätningssåtgärder i frånluftsventilerade hus ger endast obetydlig minskning av luftväxling och energiförluster. Men det räcker inte med att enbart beakta energispareffekten.

Till huvudreglerna bör därför fogas ett par kommentarer av medicinsk/hygienisk art:

3) När det gäller energibesparing genom tätning i självdragsventilerade hus får man se upp med att inte besparingen medför otillräcklig luftväxling, vilket är speciellt aktuellt i de övre våningarna av självdragshus där drivkraften är li-

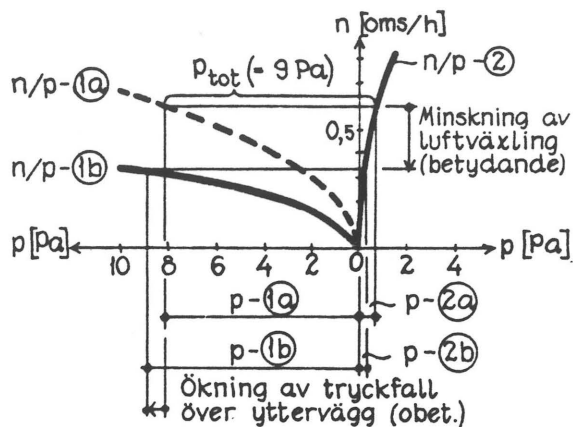
4) När det gäller effekten av tätning i frånluftsventilerade hus, kan man alltså konstatera att eliminering av drag med hjälp av tätning medför ökat drag kvarvarande otätheter, eftersom det totala luftflödet är praktiskt taget oförändrat.

I det frånluftsventilerade huset i exemplet fanns förutsättningar för att reducera luftväxlingen från $n = 0,6$ till förslagsvis $n = 0,5$. Ett enklare och billigare sätt att reducera energiförlusterna är då att justera ventilationssystemet.

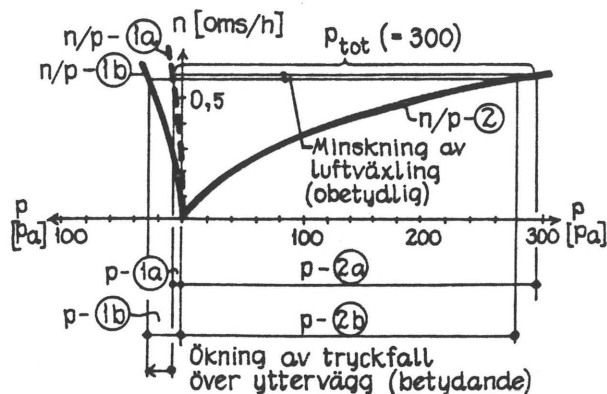
För att göra framställningen någorlunda enkel har bortsetts från vindens inflytande. Detta ändrar inte resultatens principiella innebörd.

Vid fältmätningar kan man snabbt och med enkla metoder avgöra när ovanstående huvudregler gäller och när

Figur 3. Effekt av tätningssåtgärder som reducerar α_o från 1,5 till 0,75



a. Självdragsventilation – avsevärt minskad luftväxling



b. Frånluftsventilation – försumbar minskning av luftväxling.

Om ventilation med fläktning

det i självdragsventilerade hus kan finnas utrymme för att spara energi genom att tätta utan att äventyra ventilationen¹⁾.

Skrågränser hindrar effektiv hantering

I inledningen nämndes att otillräckliga kunskaper om byggnaden som totalsystem och om behandlingsmetoders effekt äventyrar resultatet. Till detta kommer en splittring i byggnadstekniska och installationstekniska åtgärder. Skrågränserna, som finns kvar trots lovvärda försök att undanröja dem, lägger hinder ivägen när det gäller att skapa en effektiv strategi för att "tackla" byggnaden som helhet.

Det går inte att för ett objekt upprätta en tio-i-torr-lista av byggnadstekniska och en annan av installationstekniska åtgärder. De ovan redovisade exemplet valdes för att visa att en åtgärd som vanligtvis kallas som byggnadsteknisk i verkligheten griper in i och i hög grad berörs av installationstekniken. Ett flertal liknande exempel skulle kunna anges, liksom exempel på att installationstekniska åtgärder förändrar byggnadsfysikens förutsättningar.

¹⁾ En fylligare redogörelse av hur man kan förfara kan rekqueras från författarens bibliotek.

Hur ska vi fortsätta?

Det står klart att byggnaden måste ses som ett totalsystem som innefattar både byggnad och installation – inte bara byggnad och ventilationsteknik som berörts här. Behovet av totalsyn gäller byggnad och installationer i vidare mening.

Vi måste inse att det inte finns "hel-täckande" energitekniker som vi kan överlåta problemen till. Däremot finns det på många håll ett gediget ingenjörskunnande som emellertid av skrågränser och på andra sätt är splittrat och svårfångat.

Energibesparing i byggnader är således en gemensam huvudvärk för byggnadsgare och installatörer och andra tekniker. De bedömningar som måste göras är alltför komplicerade för att vi på längre sikt skall arbeta på olika sidor om skrågränser.

Det återstår mycket att göra när det gäller att öka kunskap och förståelse för byggnaden som organism. Mycket har emellertid gjorts och det finns alltså på skilda håll kunskaper och insikter som måste fångas upp, samlas och spridas. Detta är, som jag ser det, nödvändigt om vi i fortsättningen skall kunna arbeta på ett sätt som skapar trovärdighet åt tekniken och åt oss tekniker.

4. LUFTOMSÄTTNING VID F-SYSTEM [8]

Basventilation vid F-system har studerats för fyra driftsfall enligt tabell 5.1.

Tabell 4.1 Driftsfall vid F-system

Driftsfall		Övre basvarv	Maxvarv	Tejpade T-don	Tejpade F-don	Stängda spaltventiler	Tejpad braskamin
D	F	x		x		x	x
E	F	x		x		x	
F	F	x		x			x
G	F	x		x			

Uppmätta luftomsättningar framgår av tabell 4.2. Braskaminen påverkar inte omsättningen i någon högre grad. Kompletterande mätningar bör göras för att studera spaltventilernas inverkan vid höga vindhastigheter.

Luftomsättningen uppgår till ungefär 0.5 oms/h. De relativt låga frånluftsmängderna bör dock noteras. Det donmätta frånluftsflödet har bestämts med en Wallac termoanemometer med mätstos typ AM 300.

5. LUFTOMSÄTTNING VID F-T-SYSTEM [8]

Vid F-T-system med braskaminen igentejpad ligger luftomsättningen i intervallet 0.51-0.57 oms/h. Det totala flödet genom frånluftsdonen varierar mellan 110 och 158 m³/h.

Braskaminen synes medföra en större variation av luftomsättningen, fig. 5.1. Systemet störs, när kaminen fungerar som en frånluftskanal. Klimatet (vindhastighet, vindriktning och temperatur) förefaller att påverka resultatet. Totala flödet genom frånluftsdonen varierar mellan 120 och 130 m³/h.

Med ventilationssystemets nuvarande uppbyggnad finns, som tidigare nämnts, ingen möjlighet att noggrant mäta det totala tilluftsflödet. Detta har dock uppskattats till att ligga mellan 100 och 130 m³/h.

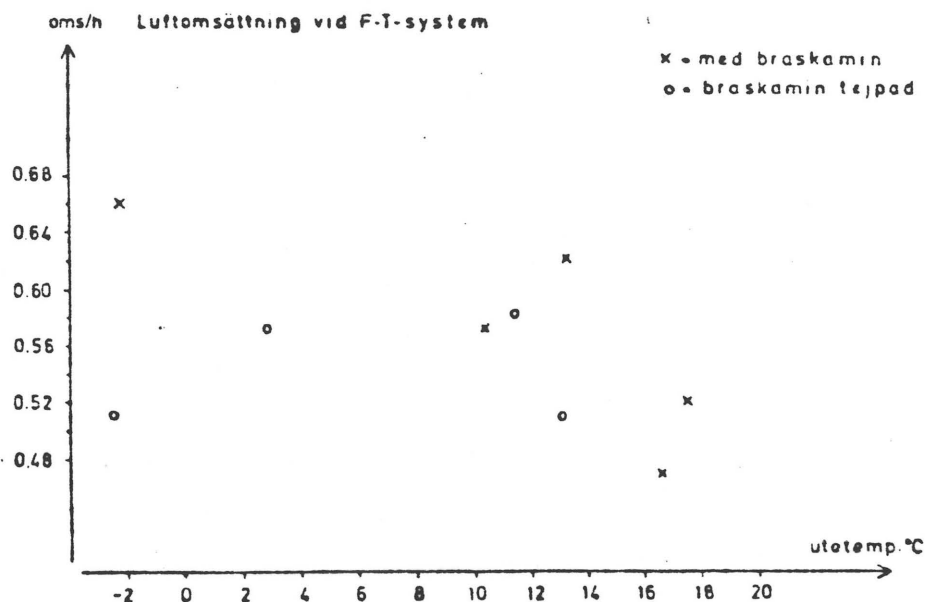


Fig. 5.1 Samband mellan luftomsättning och utetemperatur vid F-T-system

6.3 Resultat vid modifierat ventilationssystem [8]

Kompletterande mätningar har utförts på ett betydligt förenklat men fungerande F-T-system. Frånluftsmängderna kunde ökas genom en högre fläktkapacitet. Tilluften distribuerades ej via bjälklagen utan tillfördes huset centralt vid trappan. Det totala tilluftsflödet bestämdes med hjälp av ett PGT-Irisspjäll. Luftomsättningar och donmätta flöden framgår av tabell 6.5.

Tabell 6.5 Luftomsättning, till- och frånluftsflöden vid modifierat ventilationssystem.

Driftsfall I:	luftomsättning (oms/h)	0.28
	"- (m ³ /h)	120
Avstängt och tättat ventilationssystem	temp. bv (°C)	22.4
	temp. öv (°C)	22.8
	utetemp. (°C)	+1.7
	vindhastighet (m/s)	3-4

Driftsfall II:	luftomsättning (oms/h)	0.55
	"- (m ³ /h)	237
F-system	donmätt frånluftsflöde (m ³ /h)	170
	temp. bv (°C)	22.6
	temp. öv (°C)	22.8
	utetemp. (°C)	1.8
	vindhastighet (m/s)	2

Driftsfall III:	luftomsättning (oms/h)	0.68
	"- (m ³ /h)	292
F-T-system	donmätt frånluftsflöde (m ³ /h)	172
	tilluftsflöde (m ³ /h)	130
	temp. bv (°C)	22.6
	temp. öv (°C)	22.8
	utetemp. (°C)	1.8
	vindhastighet (m/s)	2-3

2.3 Luftomsättning för 1 1/2-planshus vid tätat ventilations- system [8]

Luftomsättningen, då ventilationssystemet är avstängt och igentejpat, har studerats för tre driftsfall A, B och C enligt tabell 2.10. Mätningarna har utförts med spårgas-teknik.

Tabell 2.10 Driftsfall vid tätat ventilationssystem

Driftsfall	Övre basvarv	Maxvarv	Tejpade T-don	Tejpade F-don	Stängda spaltventiler	Tejpad braskamin
A avstängt			x	x	x	x
B avstängt			x	x	x	
C avstängt				x	x	x

Mätresultaten finns samlade i tabell 2.11. Det framgår av resultaten, att luftomsättningen som väntat blir lägre vid högre utetemperatur, fig. 2.12 - 2.13. Trots stora läckningar vid tryckprovningen överensstämmer omsättningen 0.3 oms/h under vintern och 0.1 - 0.2 under sommaren med tidigare mätningar [3].

Tabell 2.11 Luftomsättning vid avstängd centralfläkt
och tejpät ventilationssystem

	78-02-28	78-03-22	78-03-29	78-04-27	78-05-09	78-06-07	78-08-08
Driftsfall A luftomsättning (oms/h)	0.20	0.33	0.21				0.14
temp. bv (°C)	20.5	20.7	21.3				22.1
temp. öv (°C)	19.6	19.8	20.9				22.1
utetemp. (°C)	0.9	-8.0	16.3				17.5
vindhastighet (m/s)	2	2	2				4-8
Driftsfall B luftomsättning (oms/h)	0.39*	0.30	0.21	0.22	0.20	0.13	0.16
temp. bv (°C)	20.5	21.1	21.6	21.1	21.3	27.4	22.1
temp. öv (°C)	19.6	20.1	21.1	20.8	21.3	29.4	22.1
utetemp. (°C)	0.9	-4.5	13.8	3.7	9.4	22.2	17.5
vindhastighet (m/s)	2	2	2	6	4-5	0-2	4-8
Driftsfall C luftomsättning (oms/h)	0.39		0.24				0.18
temp. bv (°C)	20.5		21.5				22.1
temp. öv (°C)	19.6		21.4				22.1
utetemp. (°C)	0.9		11.8				17.5
vindhastighet (m/s)	2		4				4-8

* Luckorna till braskaminen var öppna under mätperioden.

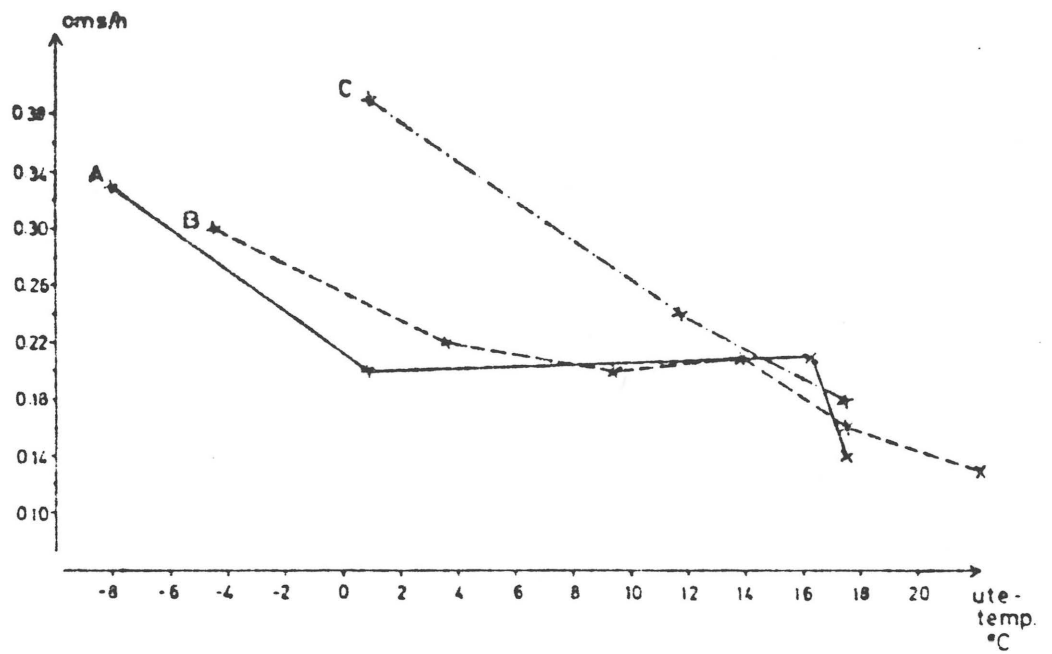


Fig. 2.12 1 1/2-planshus. Luftomsättnings variation med utetemperaturen för driftsfällen A, B och C

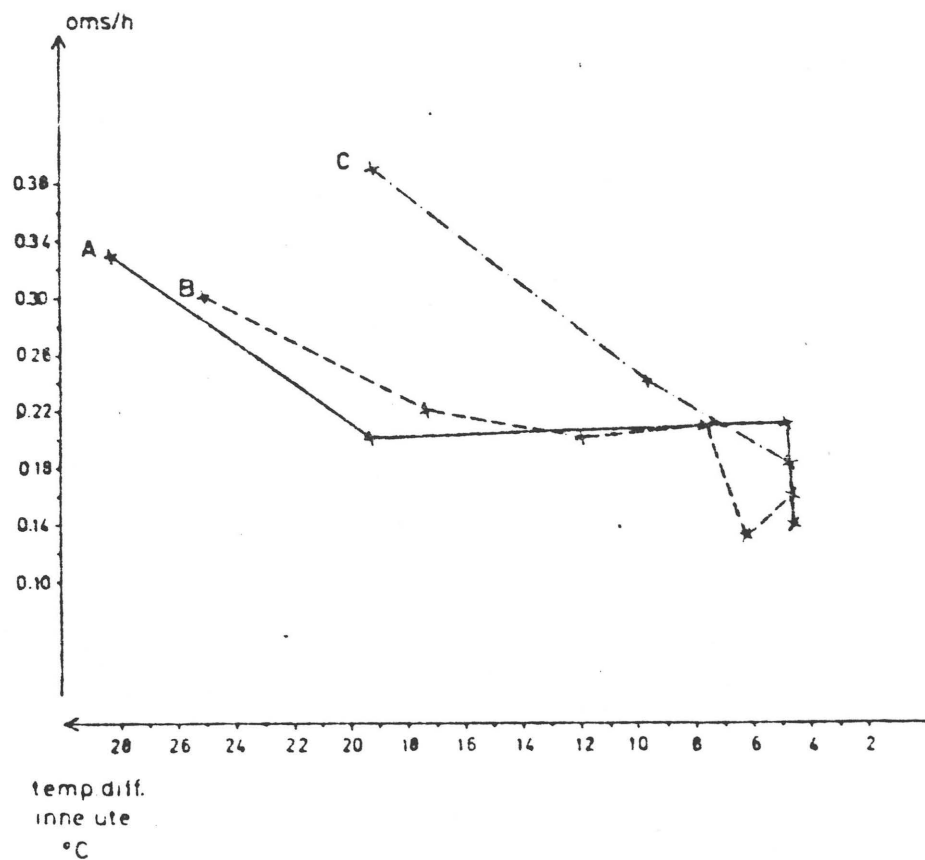


Fig. 2.13 1 1/2-planshus. Luftomsättnings variation med temperaturdifferensen inne-ute för driftsfällen A, B och C

2.3 Inreglering av ventilationssystemen [7]

Tidigare undersökningar har visat ett flertal brister hos mekaniska ventilationssystem [2]. Dessa har dels orsakats av brister i systemkomponenternas kvalitet, dels av bristande noggrannhet vid monteringen. En bidragande orsak är att injustering av systemet ersatts med av leverantören "förinställda" frånluftsdon.

Modulent har genom sitt utvecklingsarbete blivit medveten om problemen och kunnat skärpa sin kontroll av monteringsarbetet. Detta har för de här aktuella husen lett till att inga allvarliga anmärkningar kan riktas på monteringen av ventilationssystemet.

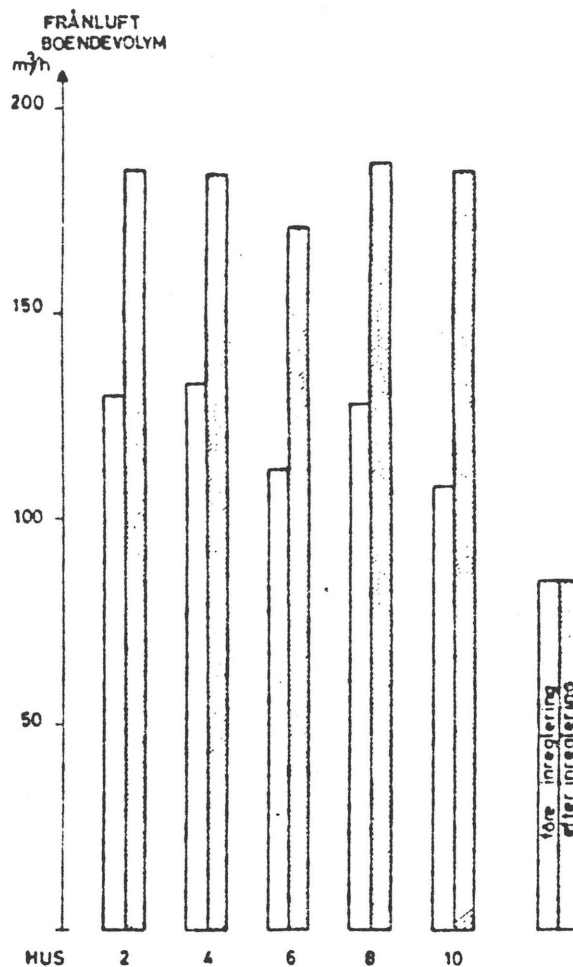
Det framgår av nedanstående tabell och figurer att frånluftsmängderna trots detta ligger avsevärt under de projekterade. Orsaken till detta är troligtvis en kombination av otillräcklig flätkapacitet och olämpliga detaljer i ventilationssystemets uppbyggnad.

För att vid inreglering och mätning erhålla frånluftsmängder i ungefärlig nivå med de projekterade har fläktspänningen vid basventilation höjts till ungefär 130 volt. Detta medför naturligtvis en högre ljudnivå. Inregleringen försvåras av att systemet blir "okänsligt" på grund av att flätkapaciteten är för låg.

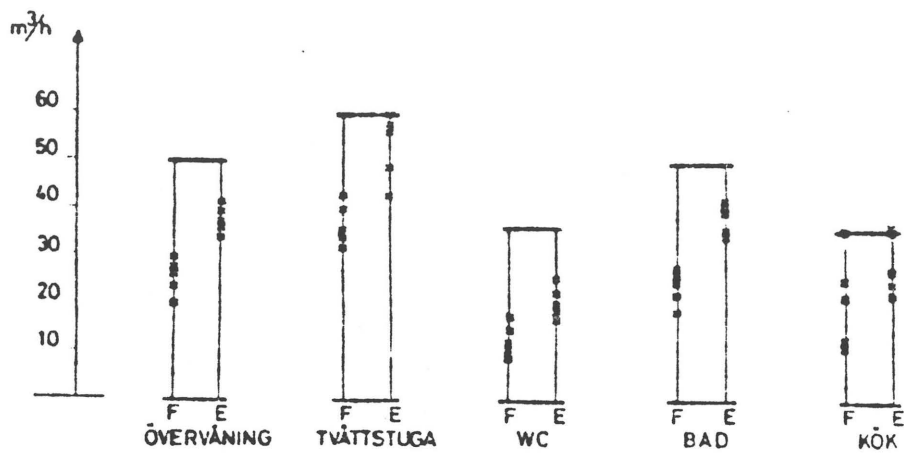
Frånluftsflödena har bestämts med en kalibrerad Wallac termoanemometer med mätstos typ AM 300.

Tabell 2.3 Frånluftsflöden före och efter inreglering vid basventilation (0.5 oms/h)

Hus	Före inreglering		Efter inreglering					totalt frånluftsflöde
	totalt frånluftsflöde	övervåning	tvättstuga	wc	bad	kök		
2	130	36	58	20	35	36	185	
4	133	42	49	20	36	37	184	
6	112	38	43	25	40	25	171	
8	127	40	57	22	40	22	181	
10	108	40	60	18	40	27	185	
Projekterade		50	60	36	50	36	232	



Figur 2.3 Resultat av inreglering



RESULTAT AV INREGLERING

Figur 2.4 Resultat av inreglering av enskilda don
 F = frånluftsflöde före inreglering
 E = frånluftsflöde efter inreglering
 — = projekterat värde

2.4 Luftomsättning med mekanisk frånluftsventilation [7]

En sammanställning av uppmätta luftomsättningar ges i tabell 2.4. Med ett undantag har vid driftsfallen halverad basventilation, basventilation samt forcerad ventilation de i fönstren placerade springventilerna varit öppna. Endast vid basventilationsmätning i hus 4 har som jämförelse samtliga springventiler varit stängda.

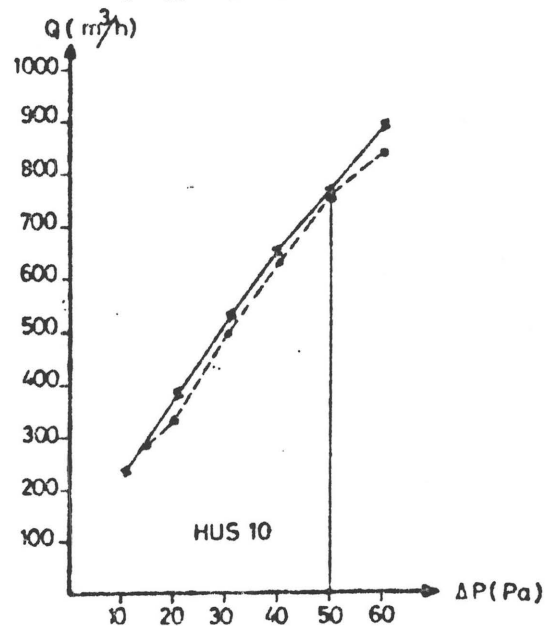
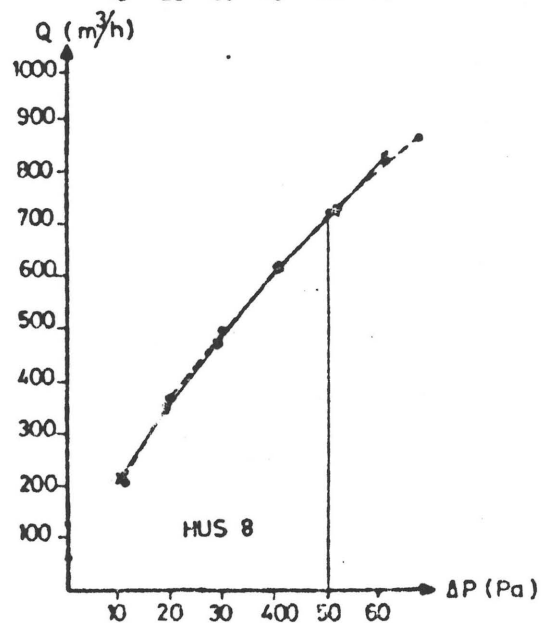
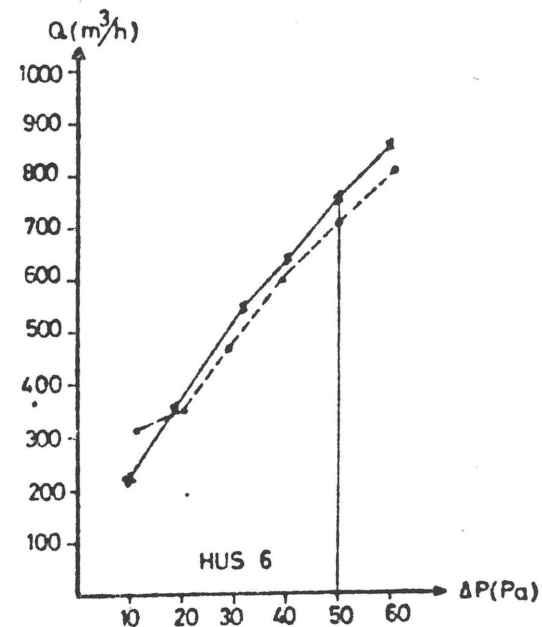
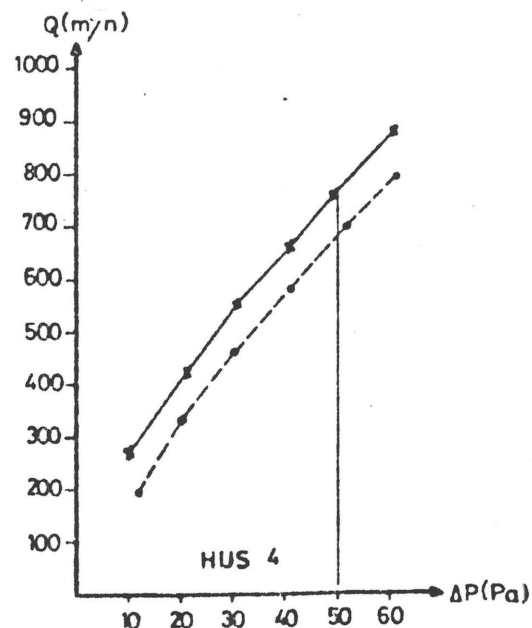
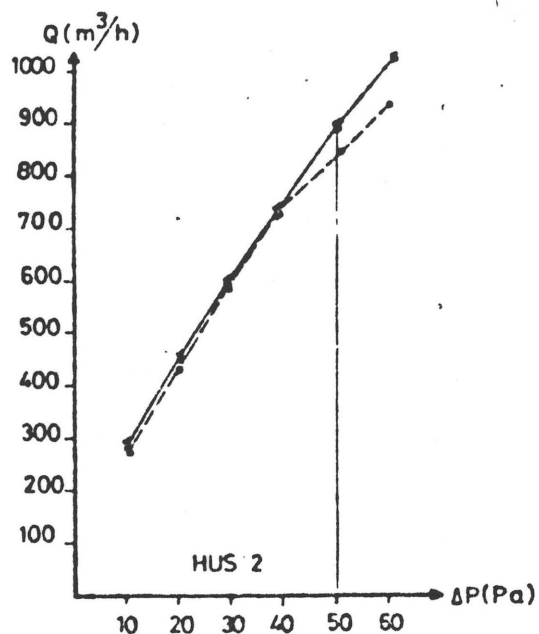
Tabell 2.4 Uppmätta luftomsättningar (oms/h)

Hus	tätat ventilations-system	halverad basventilation	basventilation	forcerad ventilation	klimatdata inne-temp.	ute-temp.
2	0.06	0.29	0.55	0.81	21.4	12.4
4	0.07	0.24	0.44*	0.90	17.4	10.0
6	0.04	0.15	0.43	0.92	19.5	12.3
8	0.05	0.21	0.52	1.08	19.0	16.4
10	0.04	0.24	0.51	0.89	20.8	7.4

vindhastighet
0-2 m/s

*Under mätningen har springventilerna i fönstren varit stängda

Anm. Luftomsättningen anges med två decimaler för att en jämförelse mellan de olika husen skall kunna erhållas. Vid en mer kritisk betraktelse kan p.g.a. onoggrannhet vid kalibrering och utvärdering endast den första decimalen betraktas som säker.



ÖVERTRYCK —————

UNDERTRYCK - - - - -

KLIMATDATA

Bus	ÖVERTRYCKSMÄTNING		UNDERTRYCKSMÄTNING		
	utetemp	innetemp	utetemp	innetemp	vindhast
2	12.4 °C	21.8 °C	12.0 °C	22.0 °C	0-2 m/s
4	10.4	17.6	10.0	17.4	0-2
6	7.4	19.9	7.4	19.5	0-2
8	14.0	17.0	15.1	17.1	0-2
10	13.3	20.1	14.2	19.4	0-2

Figur 2.2 Resultat av täthetsprovning

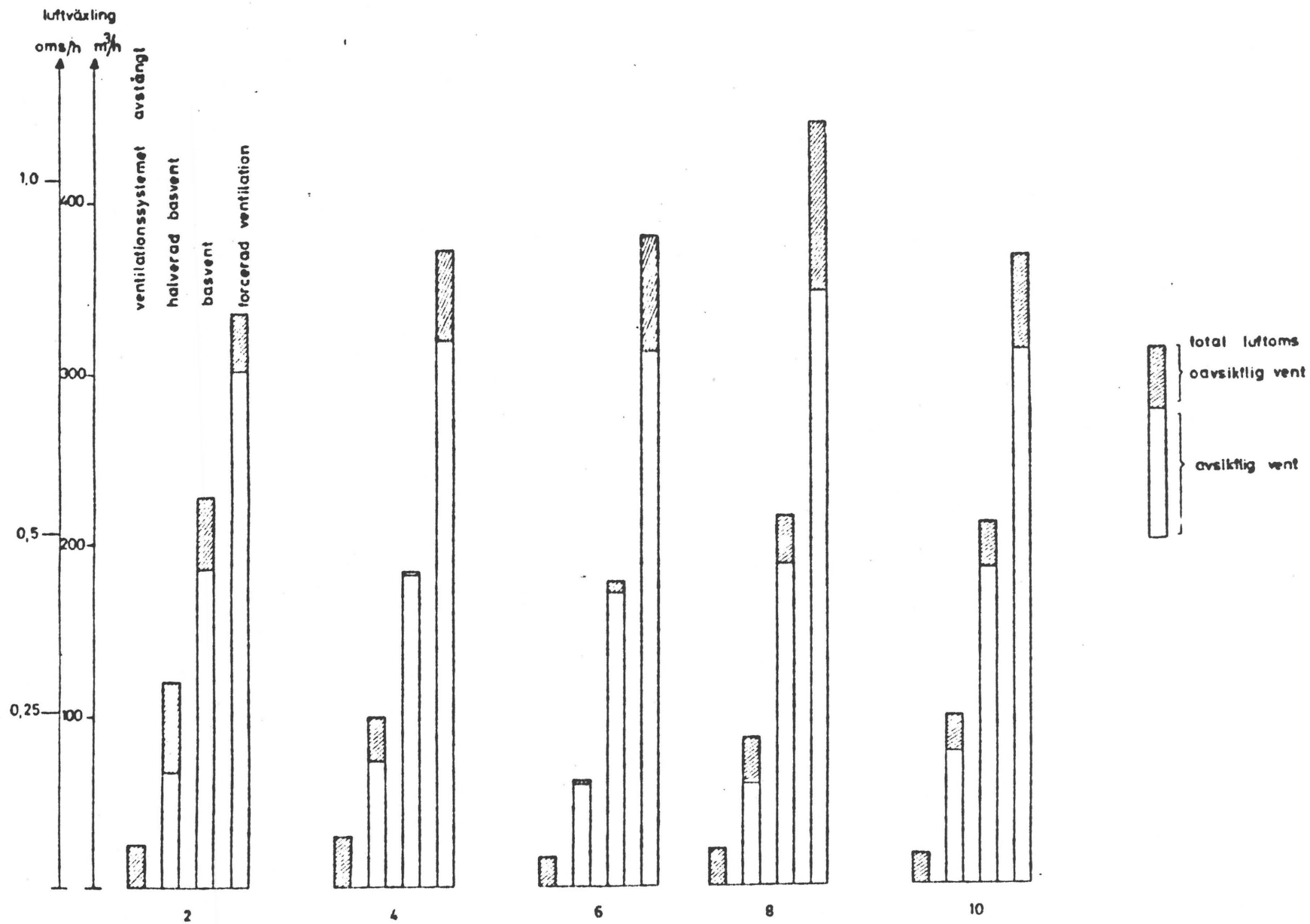
I tabell 2.5 görs en jämförelse mellan den totala luftomsättningen enligt ovan och uppmätt frånluftsflöde genom ventilationssystemet.

Tabell 2.5 Total luftomsättning enligt spårgasmetoden samt donmätta frånluftsflöden genom ventilationssystemet (m³/h)

Hus	Tätat ventilations-system	Halverad basventilation		Bas-ventilation		Forcerad ventilation	
		Total luftoms	Frånluftsflöde	Total luftoms.	Frånluftsflöde	Total luftoms.	Frånluftsflöde
2	25	120	67	227	185	335	301
4	29	99	74	182*	184	372	319
6	17	62	60	178	171	380	312
8	21	87	60	215	181	447	348
10	17	99	78	211	185	368	313

*Under mätningen har springventilerna i fönstren varit stängda.

Anm. Den totala luftomsättningen och frånluftsflödet genom ventilationssystemet har bestämts vid samma tillfälle men med olika typer av mätutrustning och noggrannhet, varför resultaten inte utan vidare kan jämföras med varandra.



Figur 2.5 Resultat av luftomsättningsmätningar

2.2 Resultat av täthetsprovning [7]

Täthetsprovning enligt trycksättningsmetoden visar att luftläckningen understiger 3 oms/h vid 50 Pa. Som framgår av fig. 2.2 och tabell 2.1 har husen en täthet motsvarande ungefär 2 oms/h.

Tabell 2.1 Hustäthet vid 50 Pa

Hus	Luftläckning vid 50 Pa			
	Övertryck (m ³ /h)	Undertryck (m ³ /h)	Medelvärde (m ³ /h)	(oms/h)
2	894	830	862	2.1
4	772	685	729	1.8
6	758	710	734	1.8
8	704	713	709	1.7
10	768	753	761	1.8

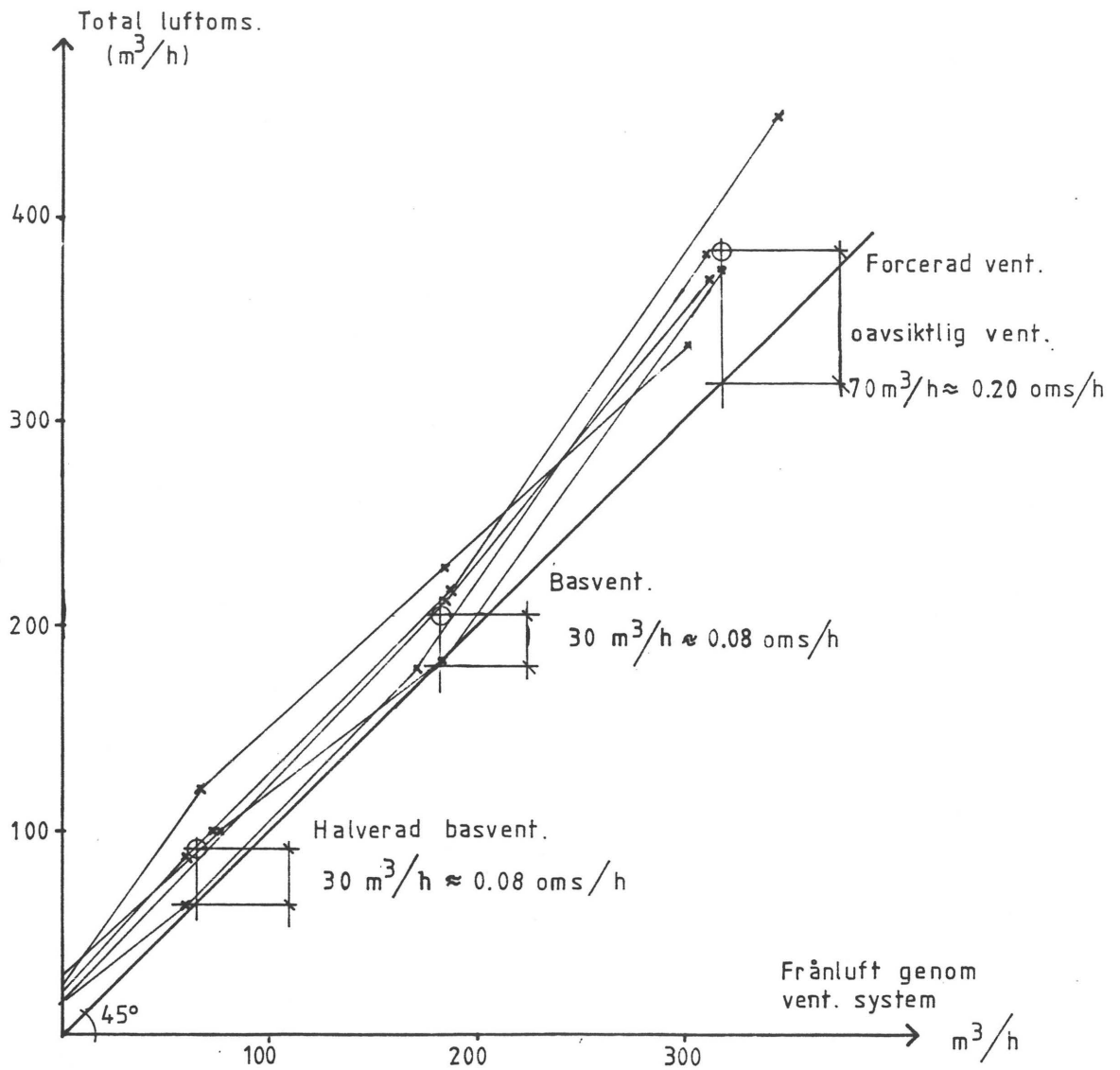
Anm. Husvolym 413.5 m³

Även resultaten från spårgasmätningarna visar att husen är mycket täta. Luftomsättningen, då ventilationssystemet är avstängt och igentejpat, framgår av tabell 2.2. Det bör beaktas att de yttre klimatförhållandena (vind, temperatur) var förhållandevis gynnsamma under mättillfället.

Tabell 2.2 Luftomsättning vid tätat ventilationssystem

Hus	oms/h	innetemp. °C	utetemp. °C
2	0.06	21.4	12.4
4	0.07	17.4	10.0
6	0.04	19.5	12.3
8	0.05	19.0	16.4
10	0.04	20.8	7.4

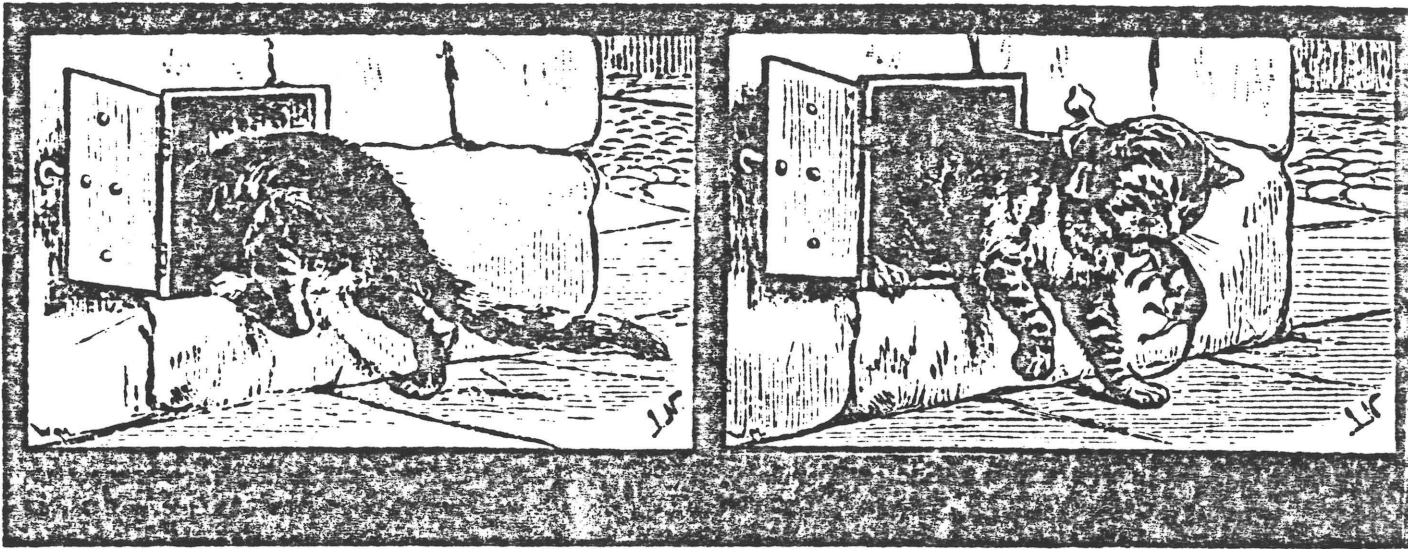
Vindhastighet: 0 - 2 m/s



Figur 2.6 Jämförelse mellan total luftomsättning och frånluftsflöde genom ventilationssystemet

—åsikt—

System F kortsluter ventilationen



PER-ÅKE STRANDSÄTER vill i detta inlägg "peka på något som så många energiexperter – t ex P O Nylund, Nils-Eric Lindskoug, Christer Harrysson, Villa-80-gruppen – glömt: ventilationens och luftföringens betydelse".

"I hus med system F kan den ofrivilliga ventilationen till stor del nyttiggöras för önskad ventilation. Kravet på ytterhöljets täthet behöver därför ej ställas så högt som för motsvarande hus med system FT".

Ovanstående vanliga påstående är missvisande. System F skapar i sig självt ett undertryck i huset som utgör en drivkraft för läckage genom husets yttre omslutningsyta. Utluft som på detta sätt läcker in till kök, bad, toalett,

tvättstuga etc, frånluftas direkt utan att på något sätt ha nyttiggjorts för ventilation av sovrum, vardagsrum etc. Otätheter i ett hus med system F skapar alltså förutsättningar för en ren kortslutningseffekt av ventilationen. För att undvika denna effekt är det således ytterst viktigt att även hus med system F uppfyller höga krav på täthet.

Vad som kommit alldeles i skymundan i energibesparingsryan är att god ventilation är den primära uppgiften för ett ventilationssystem och att det är viktigt ur energisparsynpunkt att uppnå högsta möjliga utnyttjningsgrad av tillförd utluft.

I ett väl utformat ventilationssystem tillförs den filtrerade luften i vardagsrum sovrum etc för att sedan via överströmning gå vidare till utrymmen såsom hall och trapphus innan den från-

luftas via ventiler i mindre rena utrymmen såsom toalett, kök, tvättstuga etc.

Den interna luftföringen inom lägenheten är sålunda mycket viktig för att uppnå "hög ventilationsverkningsgrad".

För att uppnå hög ventilationsverkningsgrad och i största möjliga utsträckning undvika kortslutningseffekten måste huset ha god täthet, och vad som dessutom krävs är fläktstyrda till- och frånluftslöden så att lägenheten görligaste mån får nolltryck i förhållande till atmosfärstrycket ute. Detta är ett sk FT-system.

För att återanvända energin i den avgående frånluften är det en enkel och naturlig lösning att komplettera systemet med en värmväxlare luft-luft som värmer ersättningsluften (utluften) till en behaglig inblåsningstemperatur. Den fulländade lösningen kallas FTX.

—aktuellt—



**Kunnande,
kapital,
kontakter**

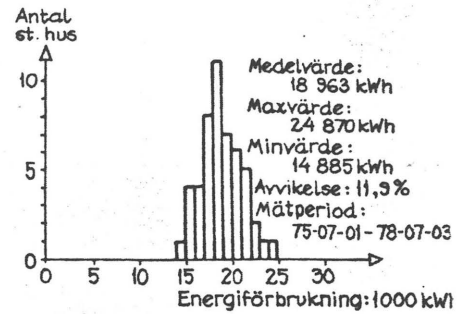
I VVS nr 7-8 1981 sid 40 benämns Sven-Erik Frick-Meijer VBBs tidigare vd. Detta är fel. Han är företagets verkställande direktör. VVS beklagar misstaget.

Energisparstöd snabbare

Regeringen har beslutat att ge bostadsstyrelsen ytterligare 800 000 kr för att anställa tillfällig personal under 1981 som ska handlägga ansökningar om energisparstöd.

Från länsbostadsnämnderna har rapporterats en stor anhopning av ärenden som det är angeläget att behandla så snart som möjligt. Nu kan takten ökas.

– Det är glädjande att allt fler människor inser värdet av att spara energi. Nyligen har förenklade rutiner för energilånehanteringen införts. Dager beslut bör medverka till snabbare behandling av ärendena. Så minskar oljeberoendet och stimulerar sysselsättningen, kommenterar bostadsminister Birgit Friggebo.



Figur 2. Variationer i energiförbrukning beroende på skillnader i arbetsutförande och levnadsvanor.

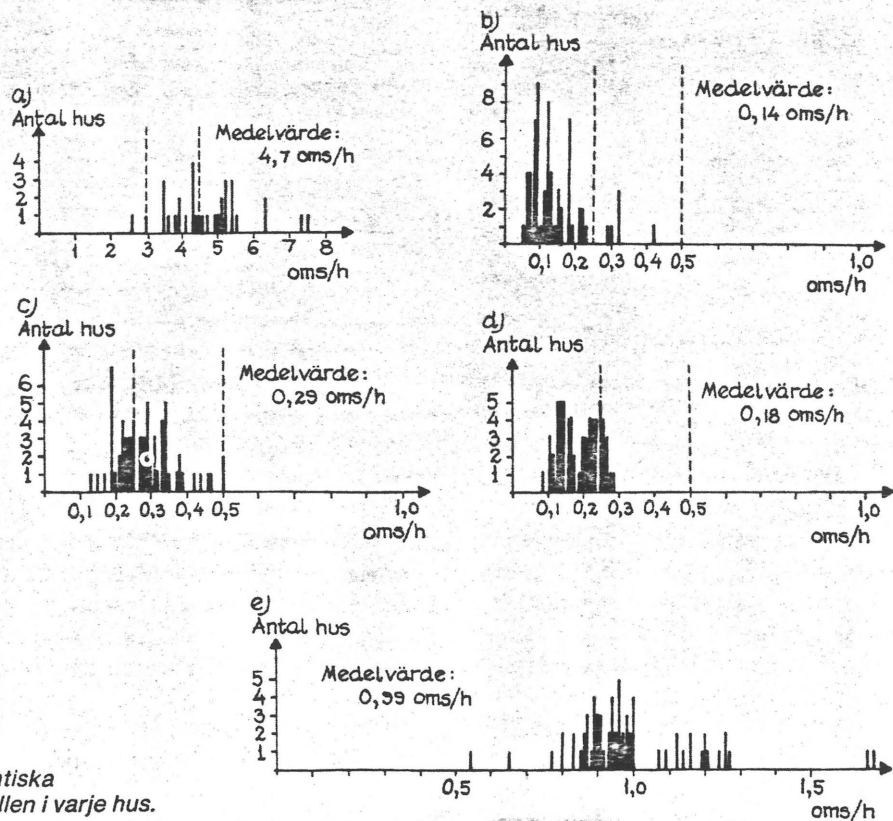
a) Med tätade ventilationsdon. Medelvärdet är över- och undertryck vid 50 Pa enligt tryckmetoden. Streckade linjer anger normkrav före resp efter 1 juli 1978.

b) Med tätade ventilationsdon. Vid naturliga klimatförhållanden enligt spårgasmetoden. Streckad markering anger normflöde för hus med mekaniskt frånluftssystem resp halverat normflöde.

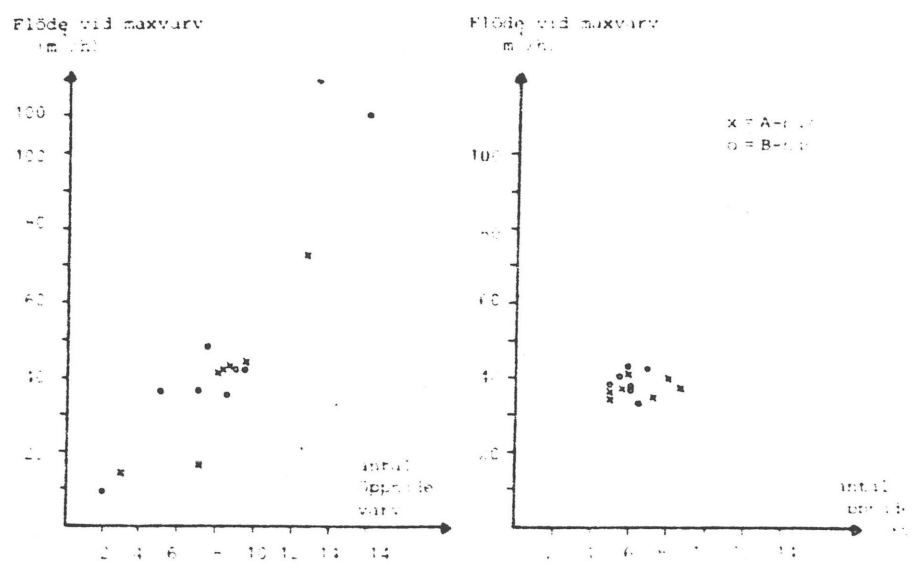
c) Vid basventilation enligt spårgasmetoden, d v s med normalt öppna don, fläkten på basvarv och naturliga klimatförhållanden. Streckad markering = b.

d) Vid basventilation, donmätta flöden, d v s med normalt öppna don, fläkten på basvarv och naturliga klimatförhållanden. Streckad markering = b.

e) Vid forcerad ventilation enligt spårgasmetoden, d v s med normalt öppna don, fläkten på force-flöde och naturliga klimatförhållanden.



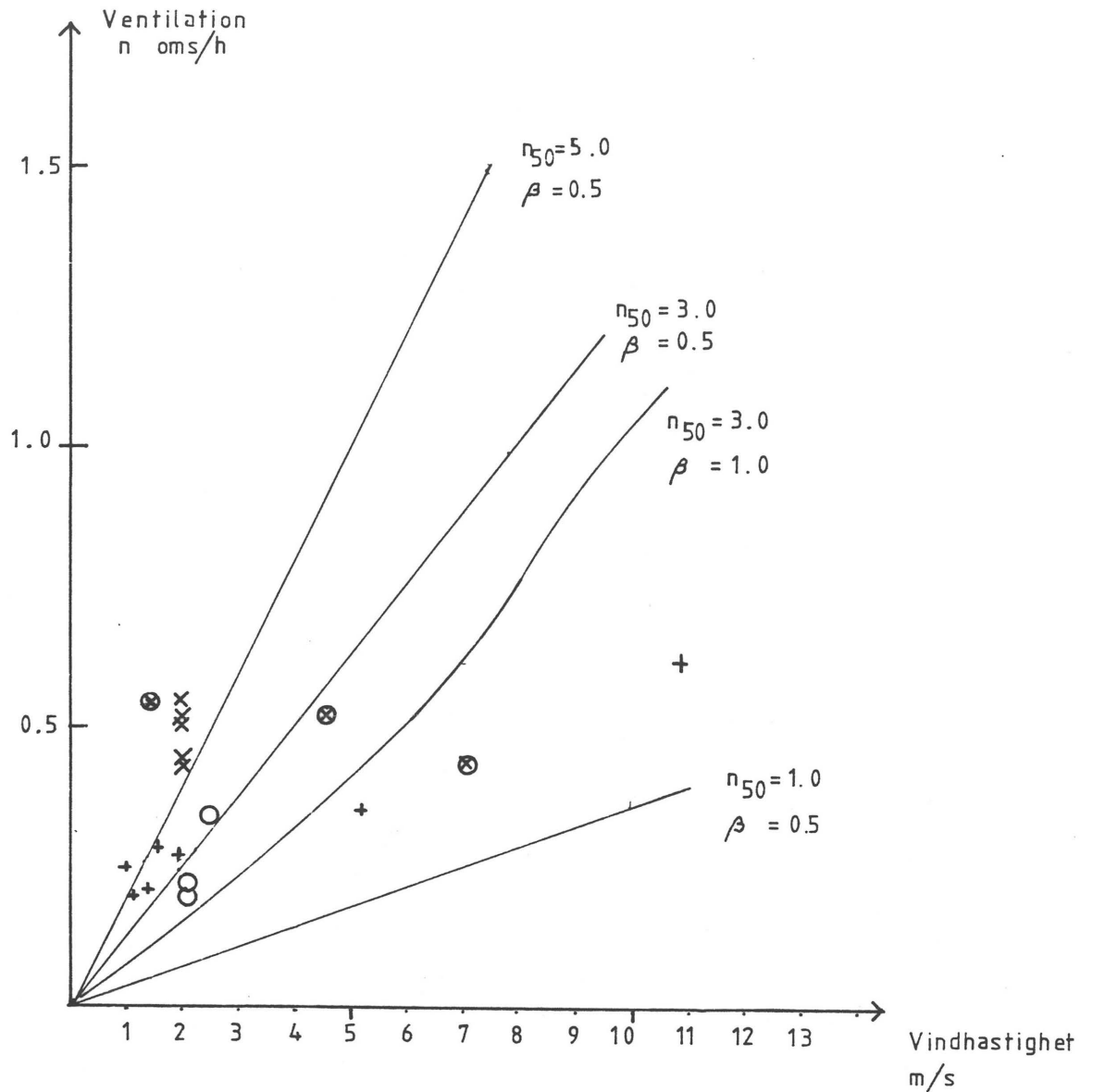
Figur 3. Luftväxlingen, (oms/h), för 25 identiska 1 1/2-planshus, uppmätt vid två olika tillfällen i varje hus.



Don i bad, WC/ÖV före inreglering.

Don i bad, WC/ÖV efter inreglering.

Figur 4. Registrerat flöde och doninställning. Donen var enligt fabrikanten "förinställda".



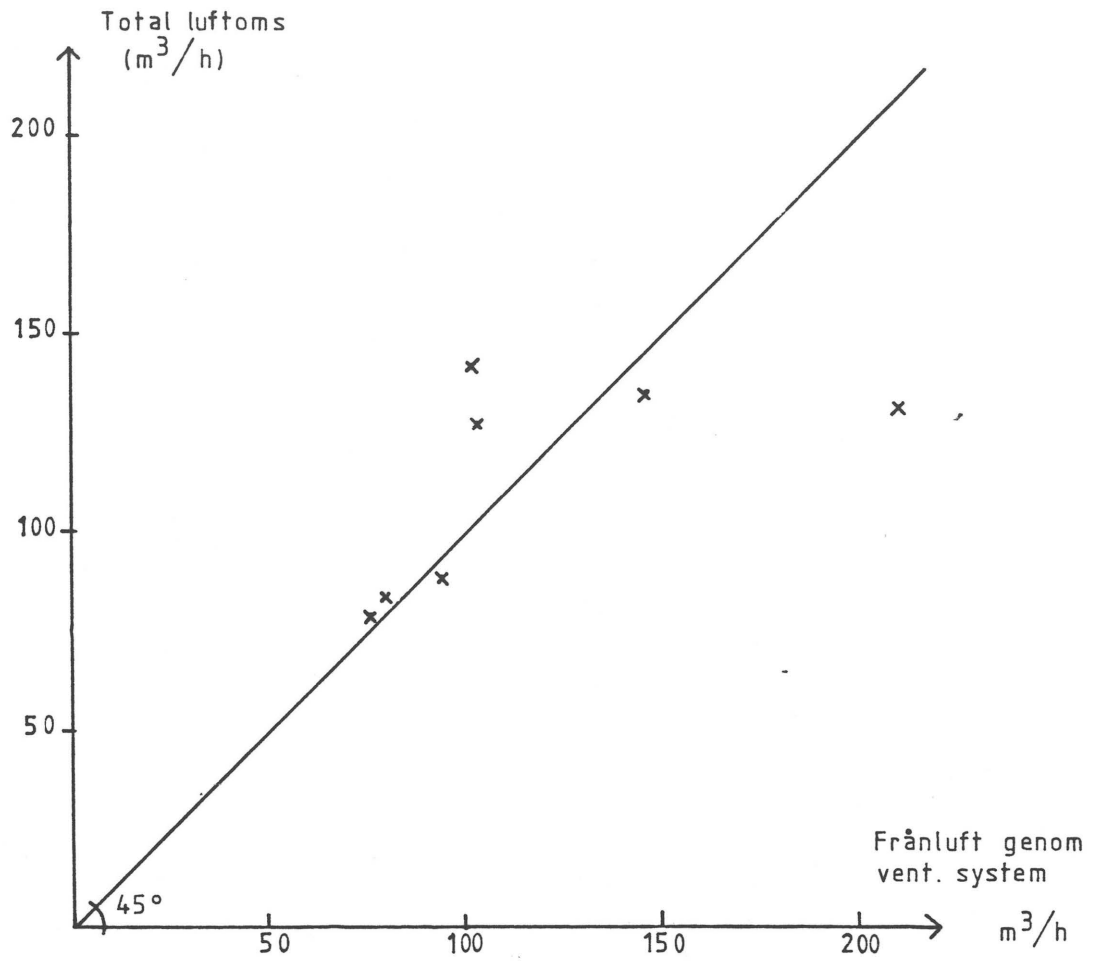
+ uppmätt i LB hus $n_{50}=4.5$

⊗ provhus 5 $n_{50}=5.3$ total ventilation [8]

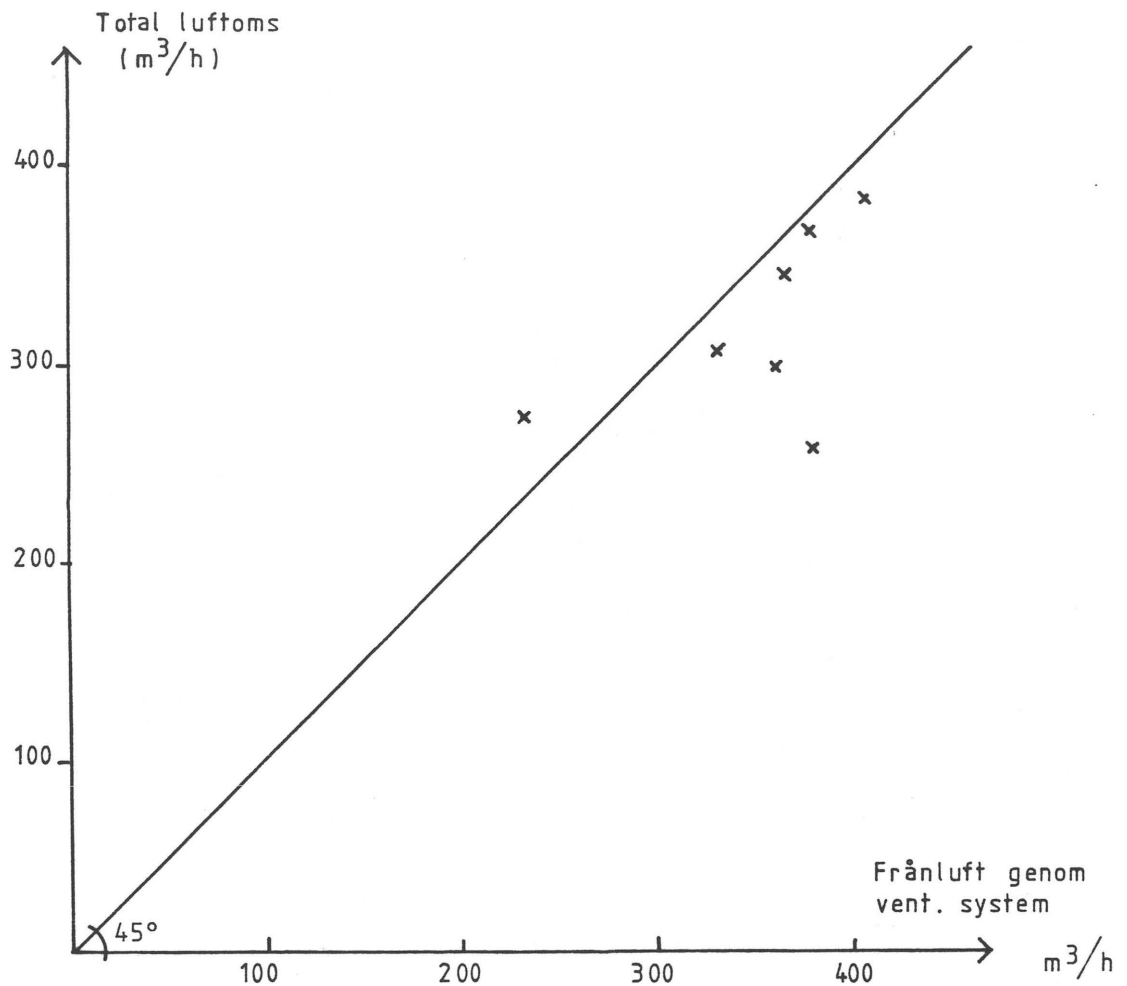
○ provhus 5 $n_{50}=5.3$ oavsiktlig ventilation [8]

× perstorp 5 hus $n_{50medel}=1.8$ vindhastighet 0-2 m/s [7]

Figur 1:13 Jämförelser mellan beräknade och uppmätta luftväxlingar. Formfaktor vid skorstensmyning $C_V = -0.5$ [28]



Basvarv



Max. varv

Figur 8 Samband mellan uppmätta flöden i don och totala luftväxlingar enligt spårgasmetoden för mekaniskt frånluftsventilerade källarlösa 1 1/2-planshus med centralfälkten på

A) Basvarv
 B) Max. varv

Observera att olika skalor har använts på avskissen.
 Negativt tecken på flöden anger luftström ut ur huset.