



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Rapport**

**R3:1984**

# **Lufttäthet och ventilation**

## **Programutredning**

**Gunnar Kärrholm m fl**

R  
A111

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	Plac Ser

**Bygghforskningsrådet**

R3:1984

LUFTTÄTHET OCH VENTILATION

Programutredning

Gunnar Kärrholm  
Jan Gustén  
Thomas Lindquist  
P-O Nylund

Denna rapport hänförsig till forskningsanslag  
810004-5 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Chalmers Tekniska Högskola, Inst. för Bygg-  
nadskonstruktion, Göteborg.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R3:1984

ISBN 91-540-4056-6  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	FÖRORD	5
	SUMMARY	8
	SAMMANFATTNING	10
1	INLEDNING	12
2	SYSTEMEGENSKAPER	16
2.1	Nomenklatur	16
2.2	Byggnadstekniska system	21
2.3	Ventilationssystem	23
2.4	Brukare och förvaltare	25
2.5	Naturförutsättningar	26
2.6	Ventilationsprocessen i totalsystemet	29
3	FUNKTIONSANSPRÅK	32
3.1	Komfort- och hälsokrav	32
	3.1.1 Kvalitetsbestämmande faktorer	33
	3.1.2 Speciella föroreningar	35
	3.1.3 Ventilationsbehov	38
	3.1.4 Ventilationssystemets funktion	40
3.2	Krav för undvikande av byggnadsskador	41
3.3	Drifanpassning och flexibilitet	43
3.4	Energihushållning	44
3.5	Normkrav	44
3.6	Problemställningar och forskningsbehov	46
4	SYSTEMANALYS	48
4.1	Frågeställningar	48
4.2	Systemparametrar	50
	4.2.1 Klimat och terräng	50
	4.2.2 Byggnad och byggnadsdelar	60
	4.2.3 Ventilation och ventilationssystem	65
	4.2.4 Brukare	69
4.3	Experimentella studier	71
	4.3.1 Enbostadshus	72
	4.3.2 Flerbostadshus och kontor	76
	4.3.3 Delstudier	79
4.4	Teoretiska studier	81
4.5	Forskningsbehov	86

5	ENERGISPARANDE ÅTGÄRDER	91
5.1	Åtgärdernas förutsättningar	91
5.1.1	Byggnadsbeståndets tillstånd, förväntad nybebyggelse	91
5.1.2	Målsättning	94
5.1.3	Produktionsmetoder	95
5.2	Åtgärdsöversikt	95
5.2.1	Ventilationen som energiförbrukare	95
5.2.2	Principlösningar för begränsning av ventilationsförlusterna	95
5.3	Tillämpning på olika byggnadskategorier	102
5.3.1	Ventilationsprocessen i olika byggnadstyper	102
5.3.2	Småhus	102
5.3.3	Flerbostadshus och kontorshus	103
5.3.4	Övrig bebyggelse	105
5.4	Problemställningar och forskningsbehov	106
6	SAMMANFATTANDE SYNPUNKTER PÅ KUNSKAPSLÄGE OCH FORSKNINGSBEHOV	108
7	REFERENSER	114

## FÖRORD

Denna programskrift har utarbetats inom avdelningen för Byggnadskonstruktion, Chalmers Tekniska Högskola och Tyréns Företagsgrupp AB, Stockholm. Gunnar Kärrholm har koordinerat arbetet som i sitt första skede - insamling av faktaunderlag och textutkast - av praktiska skäl uppdelats enligt följande

Gunnar Kärrholm	- kapitel 1 och 6
Jan Gustén	- kapitel 2.2 - 2.6, 3 och 5
Thomas Lindquist	- kapitel 2.1 och 4
P O Nylund	- bidrag till kapitel 2, 4 och 5

Den vidare bearbetningen av utkastet har sedan skett gemensamt.

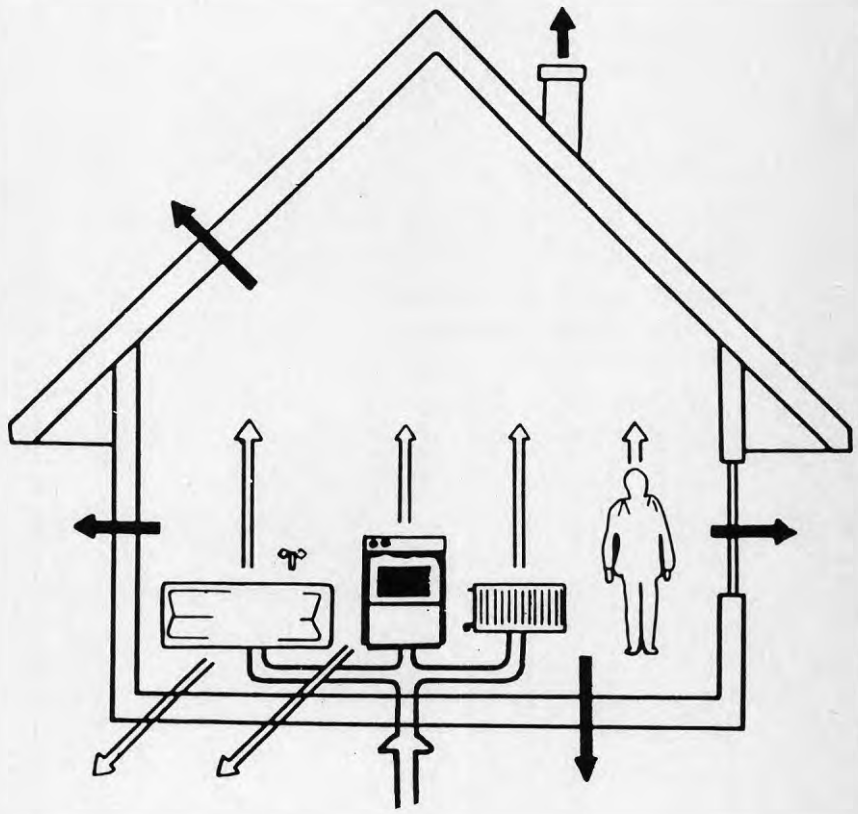
Vi tackar Ulf Bergström, Peter Finney, Kamal Handa, Christer Harrysson, Anders Svensson och Bengt Wirén för värdefulla synpunkter på innehållet.

Göteborg i januari 1982

Gunnar Kärrholm    Jan Gustén    Thomas Lindquist    Per-Olof Nylund







## SUMMARY

The "airtightness group" was initiated by the Swedish Council for Building Research for the purpose of co-ordinating and appraising research and development work in the area of air tightness and ventilation in buildings. The work of the group resulted in a number of T-documents during 1979 and 1980. As a development of its work the group initiated the investigation at hand.

The documents are intended, amongst other things, to provide a review of the research work done up to January 1982. Apart from energy-resource saving aspects, even the questions of comfort, health and maintenance and durability of the technical system were considered.

The report describes in general terms properties of the house itself, the building services, the ventilation system and the immediate environment, which are important for the ventilation process. Ventilation systems suitable for different categories of building are discussed on the basis of heat and moisture considerations. Ventilation conditions and the design of the ventilation system are only treated in so far as they are influenced by a building's lack of airtightness.

Experimental and theoretical methods are classified in terms of important system parameters such as climate, surroundings, type of building and building elements, ventilation system and occupants. On the basis of these parameters a number of ventilation studies for single- and multi-dwelling houses are described. Existing computer programs for single cell and multi-cell models are presented.

The effectiveness and execution of energy-saving measures are discussed with respect to the condition of existing buildings and anticipated new development. A survey of energy-saving measures treats two, in principle different, methods, i.e. a reduction in the total amount of air exchanged and heat recovery. The effect of measures to improve airtightness as well as the choice of airtightness level are discussed from the point of view of the type of ventilation. Special attention is paid to the risk of suboptimizing different measures.

The investigation has also resulted in a presentation of a number of especially important research areas including a tentative order of priority.

## SAMMANFATTNING

Den av Byggforskningsrådet, BFR initierade "Täthetsgruppen" har haft till uppgift att samordna och sammanfatta forsknings- och utvecklingsarbete inom området byggnaders täthet och ventilation. Arbetet resulterade i ett antal T-skrifter under åren 1979-80. Som ett led i detta arbete initierade gruppen föreliggande programutredning.

Programskriften avser bl a att ge en översikt över arbetet inom forskningsfältet fram till januari 1982. Förutom energihushållningsaspekterna behandlas också frågor om komfort och hälsa, tekniska systems skötsel och varaktighet. Presenterade översiktliga analyser och problemidentifieringar kan ses som ett första steg i en konsekvensanalys.

Rapporten beskriver i stora drag för ventilationsprocessen betydelsefulla egenskaper hos bebyggelsens byggnads- tekniska system, ventilationssystem och närmaste omgivning. Byggnadsfysikaliska bedömningar av ventilationssystem för olika byggnadskategorier redovisas. Ventilationsförhållanden och utformning av ventilationssystem berörs däremot endast i den mån de påverkas av byggnaders otätheter.

Inventering av experimentella och teoretiska metoder redovisas genom klassificering av viktiga systemparametrar som klimat, terräng, byggnad och byggnadsdelar, ventilations- system och brukare. Utifrån dessa parametrar beskrivs ett antal ventilationsstudier för enbostads- och flerbostadshus. Befintliga datorprogram för encells- och flercellsmodeller presenteras.

Energisparande åtgärders effekt och genomförande diskuteras med avseende på byggnadsbeståndets tillstånd och förväntad

nybebyggelse. En åtgärdsöversikt behandlar principlösningar i form av reducerad total luftväxling eller olika system för återvinning av energi. Effekten av täthetsbefrämjande åtgärder liksom valet av täthetsnivå diskuteras, bl a med utgångspunkt från aktuell ventilationstyp. Speciell uppmärksamhet ägnas åt risken för suboptimering av olika åtgärder.

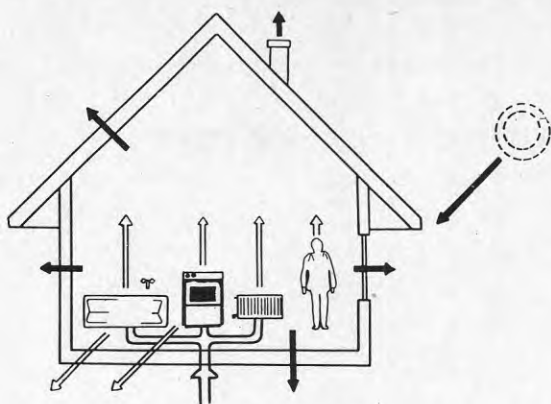
Utredningen presenterar och gör även en försiktig prioritering av ett antal speciellt angelägna problemområden.

## 1 INLEDNING

Värmeförlust genom ventilation svarar för en avsevärd del av en byggnads värmebehov. Luftutbytet med byggnadens omgivning sker genom vädring, ventilationsdon och uteluftsventiler eller genom otätheter i väggar, golv och tak. Den sistnämnda typen av lufttransport kan inte kontrolleras men kan väsentligt påverka ventilationsförhållandena i stora delar av bebyggelsen.

Insikten om täthetsförhållandenas betydelse för en byggnads luftomsättning och därmed för energianvändningen föranledde Statens råd för byggnadsforskning att 1977 tillsätta en kommitté för samordning av forsknings- och utvecklingsarbete inom det aktuella området, den s k täthetsgruppen. Denna har under sitt arbete i olika skrifter, Handa, Kärrholm & Lindquist (1979), Nylund (1979), Kronvall (1979), Carlsson, Elmroth & Engvall (1979), Persson (1980) sammanställt problemöversikter och forskningsbehov, initierat FOU-insatser och främjat erfarenhetsutbyte mellan olika forskar- och användargrupper.

Detta erfarenhetsutbyte är viktigt eftersom ett effektivt energisparande i byggnader kräver kunskap om hur byggnad och installationer samverkar som totalsystem. Vid val av tekniska lösningar bör förutom beräknad energibesparing även byggnadsfysikaliska konsekvenser beaktas. Detta innebär ofta komplicerade bedömningar inte minst med tanke på inneklimatet. Det går vanligen inte att generellt ange spareffekter av enstaka åtgärder. Vid valet av åtgärder krävs en ingående kännedom om hur byggnaden fungerar som totalsystem. I detta sammanhang är energibalanser ett viktigt hjälpmedel.

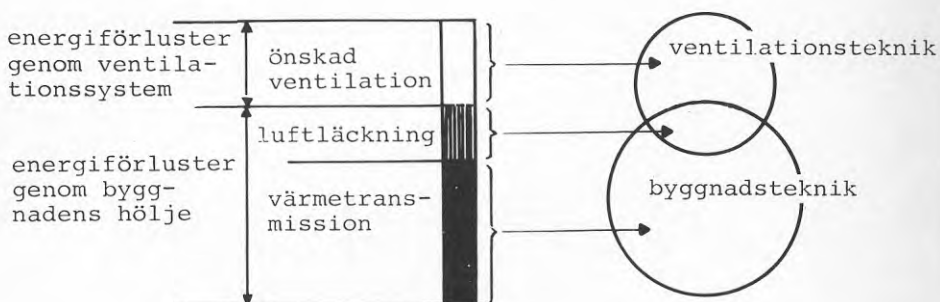


Centrala uppgifter i täthetsgruppens intresseområde har varit kartläggning av byggnaders otätheter och dessas inverkan på ventilationen. Härtill kommer ett klarläggande av uteklimatets funktion i ventilationsprocessen. Med tillgång till sådan information är det i princip möjligt att bestämma motsvarande totala luftomsättning i en byggnad.

En nyanserad kunskap om ventilationsprocessen skapar förutsättningar för en tillfredsställande behandling av olika praktiska frågor. Det kan exempelvis gälla val eller komplettering av olika komponenter i klimat-höljet för att erhålla önskad luftomsättning i en byggnad eller val av optimal täthet med hänsyn till fordringarna på resurshushållning och inneklimat. I det sistnämnda fallet fordras också kunskap om vilka funktionellt betingade krav som måste ställas på ventilationen.

De senaste årens forsknings- och utvecklingsarbete har lämnat väsentligt underlag för ovannämnda frågors lösning. Denna programskrift avser att sammanfatta de uppnådda resultaten och placera in dem i den fortsatta problembearbetningen. Skriften kan ses som ett första steg i en konsekvensutredning genom att diskutera dels redan genomförda undersökningars resultat, dels önskvärda studier av olika tätnings- och ventilationsåtgärders följder. Den sammanställer dessutom forskningsuppgifter vilka synes angelägna som komplettering till de redan genomförda undersökningarna.

Behandlingen av energifrågorna sker under aspekten täthet och ventilation. Den bör vid försök till totaloptimering av en byggnads energianvändning kompletteras med hänsyn till samspelet mellan olika besparingsåtgärders inverkan.



Ventilationsförhållandena berörs endast i den mån de påverkas av otätheter i byggnadens olika delar. Detta innebär att energisparande åtgärder avseende installationernas utformning inte behandlas. Funktionen hos olika typer av ventilationssystem diskuteras endast med avseende på konsekvenserna för den oavsiktliga ventilationen.



Programskriften börjar med en till kap. 2 förlagd genomgång av de för ventilationsprocessen betydelsefulla egenskaperna hos byggnaden och dess omgivning. I kap. 3 ges en översikt över krav som kan uppställas på ventilationen med utgångspunkt från anspråk på god funktion och resurshushållning. Därefter behandlas i kap. 4 experimentella och teoretiska metoder för studier av ventilationsprocessen och dess delfenomen. Mot denna bakgrund diskuteras i kap. 5 energisparande åtgärder och dessas tillämpning i olika slag av byggnader. Kapitlen 3-5 innehåller dels en översikt över kunskapsläget, dels en sammanställning av forskningsbehovet inom respektive problemområden.

I kap. 6 formuleras ett antal utredningsuppgifter som kan startas med utgångspunkt från slutförd och pågående forskning. Utredningarna syftar till att belysa tillståndet i befintlig bebyggelse samt förutsättningar för och konsekvenser av olika energisparande åtgärder. Avslutningsvis ges en översikt över det forskningsbehov som mera detaljerat återgivits i tidigare kapitel.

## 2 SYSTEMEGENSKAPER

### 2.1 Nomenklatur

Behandling av klimat, byggnad och ventilation som ett totalsystem är av så sent datum att en accepterad nomenklatur som täcker hela forskningsfältet ännu inte etablerats. Detta kan ha sin grund i forskningens internationella karaktär där fenomenbeskrivning, som är viktig för vissa länder, saknat relevans för andra. Inom Air Infiltration Centre, AIC, pågår ett arbete att ta fram ordlistor, där en första utgåva med engelska termer har publicerats, se AIC (1981).

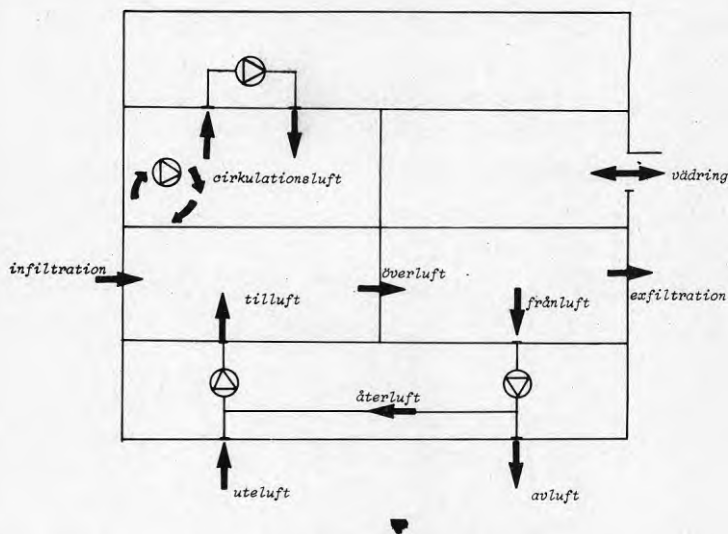
För svenskt vidkommande återfinns viktiga ventilations- tekniska begrepp och definitioner i TNC 69, "Luftbehandlingsordlista" med översättningar till finska, tyska, franska och engelska.

En kort lista på termer med speciell användning inom området byggnaders lufttäthet har sammanställts av Persson (1978), på uppdrag av BFR:s täthetsgrupp. De viktigaste av dessa termer återfinns i TNC 69.

Nedanstående sammanställning refererar i huvudsak begrepp i TNC 69 med tillägg för de gängse benämningar eller kompletteringar vi funnit ändamålsenliga.

<i>avluf</i>	- <i>frånluft</i> som avlämnas i det fria
<i>cirkulationsluft</i>	- luft som cirkulerar inne i ett rum eller till rummet återförd <i>frånluft</i> från samma rum
<i>exfiltration</i>	- utträngning av luft från en byggnad genom otätheter i dess begränsningsytor mot det fria
<i>frånluft</i>	- luft som bortföres från rum
<i>infiltration</i>	- inträngning av luft i en byggnad

	genom otätheter i dess begränsnings- ytor mot det fria
<i>tilluft</i>	- luft som tillförs rum. Tilluft kan vara <i>uteluft</i> , <i>cirkulationsluft</i> eller <i>överluft</i>
<i>uteluft</i>	- luft i eller från det fria
<i>vädning</i>	- ventilation av utrymme genom öppnande av dörr, fönster
<i>återluft</i>	- <i>frånluft</i> som återförs till grupp av rum. Återluft kan vara en blandning av <i>cirkulationsluft</i> och <i>överluft</i>
<i>överluft</i>	- luft som överförs från rum till rum



Figur 2.1 Ventilationstekniska begrepp

Vid *provtryckning* av en byggnad mätes de samtidiga värdena på *provtryckningsflödet*  $q$  och *provtrycket*  $\Delta p$ . Flödet dividerat med byggnadens volym ger *luftomsättningen* eller *luftväxlingsfrekvensen*. Medelvärdet av luftomsättningen vid en över- och undertrycks-

provning vid 50 Pa ger *täthetsnivån* (SBN "otäthetsfaktor"), betecknad  $n_{50}$  [ $\text{h}^{-1}$ ].

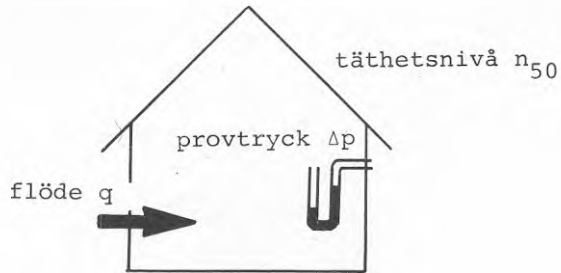


Fig. 2.2a Provtryckning av byggnad

Element, fogar och byggnadsdelar kan provtryckas i fält och i laboratorium. Som resultat av provningen fås en tryck/flödeskurva *läckningskurvan*, som ger elementets *läckningskaraktäristik*, ofta uttryckt i elementets yta,  $A$ , eller per löpmeter fog. Ofta återges läckningskurvan i det empiriska sambandet  $q = k \cdot A \cdot (\Delta p)^\beta$ , där  $k$  betecknar en karaktäristisk *permeabilitetskonstant*.

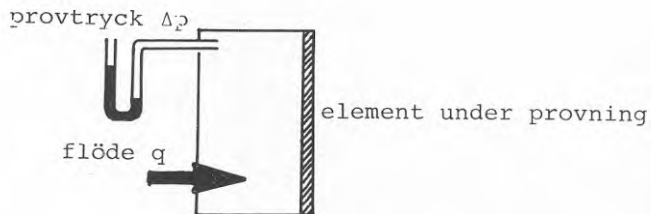


Fig 2.2.b Provtryckning av element

Begreppsmässigt bör man skilja mellan *fläktventilation*; F-, T-, FT- och FTX-ventilation å ena sidan och *självdraagsventilation*, S-ventilation å den andra. Flödet vid olika slag av ventilation åskådliggöres med principiella tidsdiagram i figurerna 2.3.

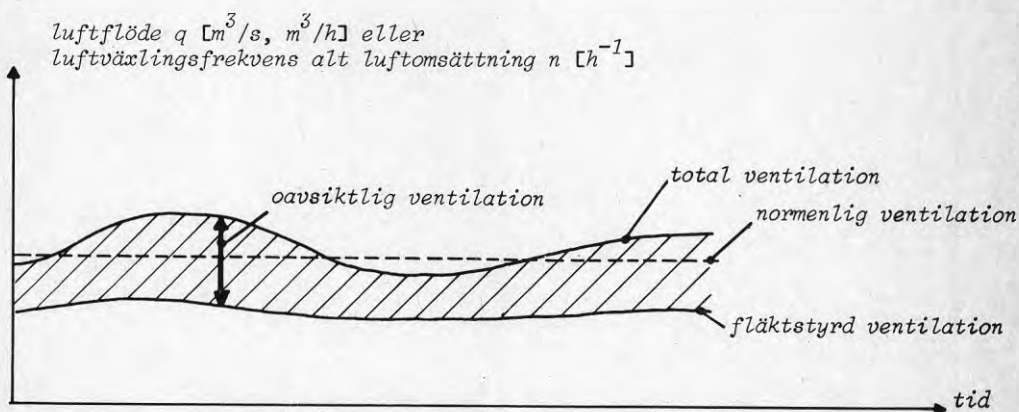


Fig. 2.3a Fläktventilation

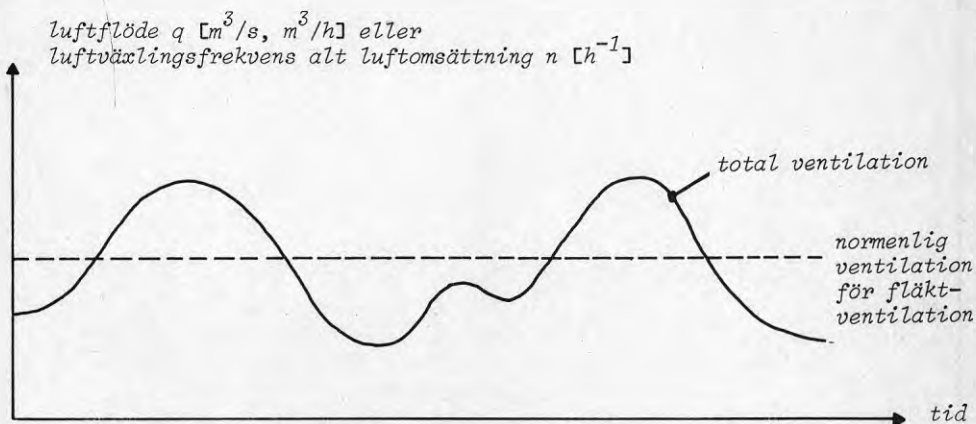


Fig. 2.3b Självdragsventilation

- total ventilation* - byggnadens totala luft-  
utbyte med omgivningen
- fläktstyrd ventilation* - luft som passerar genom  
byggnadens ventilations-  
system
- oavsiktlig ventilation* - ventilation på grund av icke  
avsedd luftläckning. För  
F-system är den lika med  
exfiltrationen, för ett FT-  
och FTX-system lika med det  
numeriskt minsta värdet  
av *infiltrationen* och *ex-  
filtrationen*
- normenlig ventilation* - av myndigheterna i Svensk  
Byggnorm, SBN, angivet  
ventilationskrav för fläkt-  
ventilation

För *självdragssystem* är det inte meningsfullt att använda begreppet *oavsiktlig ventilation*. Då normkraven för S-ventilation inte uttrycks i några mätbara storheter är det heller inte meningsfullt att relatera till normenlig ventilation enligt figur 2.3.b.

## 2.2 Byggnadstekniska system

De i detta sammanhang intressantaste byggnadstekniska systemen är klimat- och rumsskiljande. Bärande system och olika slag av inredning har endast sekundär betydelse betingad av systemelementens värmekapacitet eller påverkan på luftrörelser och värmeisolering i olika utrymmen.

Kunskaperna om byggnaders och byggdelars luftläckning har väsentligt utökats under senare år. Detta gäller såväl förhållandena vid diffus luftläckning som vid luftströmning genom fogar, sprickor och springor.

Täthetsförhållandena i praktiken är dock ej så väl kända att man kan formulera någon modell för otätheters sannolika fördelning över klimatskärmen. För närvarande har man heller inte någon klar uppfattning om hur betydelsefull denna fördelning kan vara för luftutbytet vid olika förekommande vindförhållanden, se Etheridge (1980).

De rumsskiljande elementen är liksom fogarna dem emellan mer eller mindre otäta och genomströmmas vid tryckskillnader mellan ute och inne av vissa luftmängder. Otätheterna kan vara kontinuerligt fördelade över vägg-, golv- och takytor, "diffus", eller mer eller mindre koncentrerad till fogar etc. Permeabilitetens fördelning är av intresse både vinkelrätt mot och parallellt med de mot elementens omgivning vända ytorna.

Den diffusa permeabiliteten förorsakar en luftläckning som åtminstone inom vissa områden för Reynolds tal följer Darcy's lag, se Abel et al. (1978). Strömningen genom springor och sprickor har ett ofta komplicerat förlopp som varierar med turbulensgraden och otätheternas geometriska egenskaper.

En byggnads luftutbyte med omgivningen kan inte bestämmas enbart med hjälp av samband mellan strömmande gasmängd och tryckdifferens. Även om samtliga otätheters egenskaper vore tillräckligt kända för att kunna precisera strömningsförloppet i varje springa, kan det totala flödet in i byggnaden inte erhållas utan beaktande av otätheternas fördelning över och mellan olika delar av klimatskärm och innerväggar, jfr Handa et al. (1981).

En god kontroll över läckornas fördelning är avgörande för funktionen hos speciallösningar där väggarna, som t ex vid dynamisk isolering, utnyttjas för inblåsning av uteluft.

En annan företeelse som inte beaktas i flödesekvationer för endimensionell strömning är de luftrörelser i klimatskärmens plan som sker i isolerskikt och luftspalter och som härrör från bl a elementfogar utsatta för olika höga vindtryck, se Bankvall (1981).

Av stor vikt är att den för nybyggnader planerade täthetsnivån bibehålles under husens användningstid. En med tiden ökande luftläckning kan uppkomma av många orsaker, t ex rörelser i byggnadsdelar, slitage, sättningar i grunden, vibrationer och successiv förändring av egenskaperna hos olika slag av tätningsmaterial, jfr Kärrholm et al. (1979).

Om en avsedd täthetsnivå skall kunna förverkligas vid byggandet krävs bygghandlingar som beskriver tillvägagångssättet vid alla för luftläckning kritiska delar av klimatskärmar och innerväggar. De föreslagna tekniska lösningarna måste också vara sådana att de kan tillämpas med rimliga arbets- och kontrollinsatser. Ett omfattande arbete har nedlagts, se Carlsson et al. (1979), i syfte att underlätta en



ändamålsenlig projektering och produktion i detta avseende varvid tyngdpunkten lagts på nyproduktion av småhus.

För flervåningshus är problemet att framställa ytterväggar, golv och tak med tillfredsställande täthet ofta lättare. Detta sammanhänger med egenkaperna hos använda byggnadsmaterial. Betydande luftläckning i klimatskärmar riskeras framför allt i lätta utfackningsväggar och i fogar mellan förtillverkade komponenter. Väsentliga delar av luftläckningen sker enligt Nylund (1981a) stundom via otätheter hos dörrar mot trappor och hisschakt, läckor kring vertikala ledningsschakt och springor kring rör genomföringar.

Det finns orsak att vid behandling av ventilationsfrågor ägna speciellt intresse åt fönster och dörrar. Tätheten hos dessa byggnadsdelar är ofta starkt tidsberoende i fall då fogmaterial och andra detaljer åldras eller successivt bryts ned genom vibration, röta och korrosion. Fönster kan också ingå som en komponent i ventilationssystemet - frånluftsfönster, se Gefwert (1980).

### 2.3 Ventilationssystem

Otäthetens inverkan på luftutbyte och rumsklimat bestäms i väsentlig omfattning av ventilationssystemet. Luftströmningen genom en byggnads klimatskärm kan i ett självdragssystem, S-system, svara för huvuddelen av ventilationen. I ett frånluftssystem, F-system, deltar den på ett mer eller mindre kontrollerat sätt i lufttillförseln. Finns anordningar för både till- och frånluft i ett fläktventilationssystem, FT-system, blir luftläckningen, åtminstone vid balanserade förhållanden, ett okontrollerat tillägg till den styrda ventilationen, se fig. 2.4.

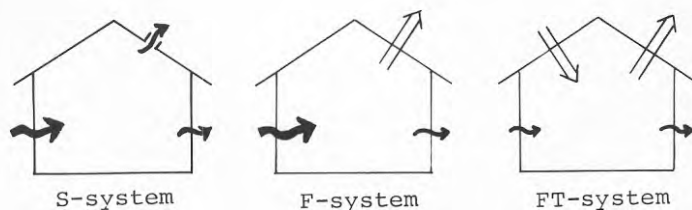


Fig. 2.4 Ventilationsprinciper

En huvudfråga vid planering av ventilationssystem är valet av en ur funktionell och ekonomiska synpunkt lämplig nivå på komplexitet och reglerbarhet. Skall man kunna utnyttja skillnader mellan ventilationsbehov för olika lokaler måste från- och tilluftsflöden kunna fördelas inom byggnaden på ett ändamålsenligt sätt. Detta kräver samordning av planeringsåtgärder med avseende på rumslig organisation, byggnadsteknisk utformning samt val av installationsystem. Luftrörelserna i de olika utrymmena måste också ge en tillfredsställande ventilation utan besvärande drag- och stagnationszoner.

Speciella anspråk på reglermöjligheter ställs i fall då ventilationsbehovet växlar i tiden och man med hänsyn till energihushållning och ekonomi i övrigt önskar utnyttja förekommande möjligheter att, exempelvis då en byggnad står tom, tillfälligt reducera omsättningen.

Behovet att minska värmekostnaderna har föranlett utveckling av system för värmeväxling och för ledning av från- och tilluft genom byggnadsdelar med stor värmekapacitet. Förutsättning för god funktion är också här att byggnadsdelarnas täthet och övriga systemegenskaper är väl anpassade till installationernas avsedda verkningsätt.

#### 2.4 Brukare och förvaltare

Brukarnas betydelse för ventilations- och täthetsförhållandena i en byggnad kan hänföras till olika grupper av beteenden:

1. Ingrepp som ändrar planerade förutsättningar och som utan olägenhet kan ersättas med ekonomiskt gynnsammare handlingsmönster. Hit hör vissa typer av överdriven vädring samt handhavande av hälsofarliga ämnen på sådant sätt som inte kan godtas vid förutsedd ventilationsnivå.
2. Levnads- och arbetsvanor som bör kunna utövas i aktuell byggnad men vars förekomst ej beaktas vid planeringen. Det kan röra sig om olika mönster för användning och kombination av tillgängliga utrymmen och om utövande av aktiviteter som inte skapar hälsofara men ändå genom sina konsekvenser, exempelvis för temperatur- och fuktförhållanden, påverkar luftutbyte och ventilationsbehov.
3. Attityder till och beredskap för utnyttjande av olika regleranordningar. De åtgärder vilka avses bli genomförda av brukarna, måste vara välmotiverade och svara mot tillgänglig tid och kompetens.

De problem som kan uppstå i anslutning till första fallet kräver för sin lösning dels kännedom om brukarvanor och dels en effektiv information. Andra fallet kräver tillfredsställande insikt hos projektörer och förmåga att förutse de ändringar i planeringsförutsättningarna som kan bli en följd av vissa energisparåtgärders genomförande och som bör påverka valet av ventilationsnivå. I tredje fallet fordras information till såväl användarna som till regler-systemens konstruktör. Den senare måste ha realistiskt underlag för ett förväntat rätt utnyttjande av installerade reglerdon.

Förvaltningspersonalen kan äventyra ventilations-systemens avsedda funktion dels genom felaktig eller utebliven skötsel och reglering av installationer, dels genom bristande underhåll av byggnadsdelar som påverkar eller påverkas av byggnadens luftutbyte med omgivningen. I syfte att främja tillfredsställande driftsförhållanden fordras driftinstruktioner till förvaltningspersonalen, en rimlig avvägning mellan installationssystemens komplikationsnivå och tillgången på specialutbildad personal men också utbildning och information till systemtillverkare och projektörer.

## 2.5 Naturförutsättningar

Strömningsförhållandena omkring en byggnad påverkar de tryckdifferenser som utbildas över klimatskärm och innerväggar. De inverkar också på strömningen genom ventilationssystemens luftintag och -utsläpp och därmed på dessa systems funktion.

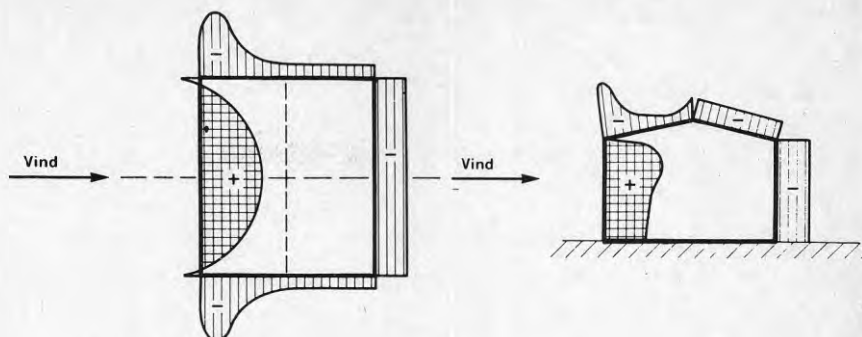


Fig. 2.5 Exempel på tryckfördelning över fasader och tak. Källa: Newberry et al. (1974).

De för tryckdifferenserna avgörande klimatparameternerna är vindförhållandena och temperaturen. Vindens hastighets- och riktningsförhållanden kring en byggnad svarar mot en tryckfördelning på byggnadens ytor vilken inverkar på olika förekommande otätheters belastning. Möjligheterna att realistiskt skatta tryckfördelningen med utgångspunkt från tillgänglig klimatstatistik, bebyggelsens karaktär, vegetationsförhållandena och den lokala topografin är för närvarande ytterligt blygsamma. Till detta kommer att det erfarenhetsmaterial som står till buds för en överslagsmässig bedömning, hänförs till relativt höga vindhastigheter då temperaturförhållandena spelar underordnad roll för hastighetsfördelningen. I de för denna framställning aktuella sammanhangen är måttliga vindhastigheter med relativt lång varaktighet av intresse då de är avgörande för de genom luftutbyte uppkommande energiförlusterna, se Handa et al. (1979).

De vindbetingade trycken mot en byggnads yttertor beror på byggnadens utformning, vindens hastighet, turbulens och riktning samt omgivande bebyggelse, vegetation och topografi. Med vindens hastighet avses

en för området karaktäristisk lokal hastighet på taknockshöjd, dvs hänsyn till storskaliga topografiska förhållanden har redan tagits. I praktiken kan det innebära svårigheter att finna en sådan karaktäristisk vindhastighet.

Vindtryck på byggnader har i övervägande utsträckning studerats i vindtunnel varvid mätobjekten varit enstaka, enkla modeller. Under senare tid har flera undersökningar, som behandlar vindens inverkan på byggnader i grupp, presenterats, Soliman et al. (1974) och Lee et al. (1980). Vindtunneltekniken har samtidigt utvecklats så att t ex väl definierade turbulensförhållanden kunnat återges. Användningen i ventilations-sammanhang försvåras dock av att aktuella vindhastigheter är måttliga, varvid som tidigare nämnts luftens termiska skiktning bör beaktas.

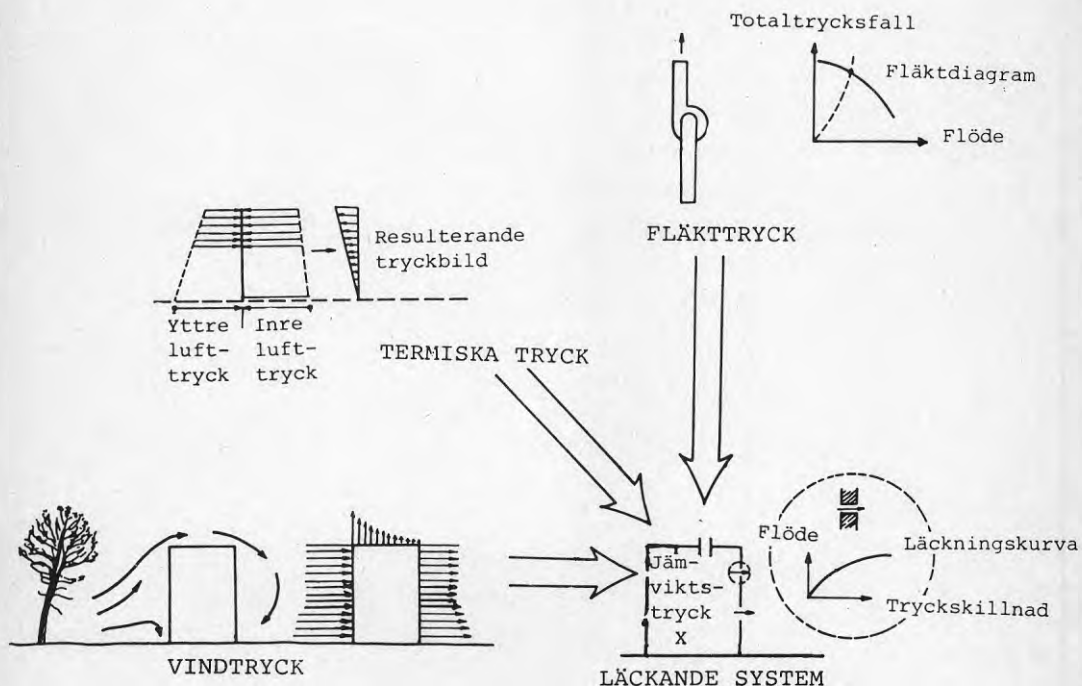
De många oklarheter som fortfarande råder beträffande vindtryckens rumsliga och tidsmässiga fördelning gör att de försök som trots allt gjorts att relatera registrerade vindhastigheter till uppmätt ventilation inte gett klara samband.

I höga byggnader dominerar ofta skorstenseffekten. Den därav betingade, linjära tryckvariationen låter sig enkelt beräknas när de lokala temperaturförhållandena är kända. Osäkerhet råder däremot ofta beträffande den referensnivå där intern- och extertryck överensstämmer. Här inverkar bl a ventilationssystemets egenskaper och fördelningen av byggnadens otätheter. Som tidigare nämnts spelar inte bara klimatskärmens egenskaper in, utan också springor mellan rum och mellan rum och vertikala schakt är av betydelse.

## 2.6 Ventilationsprocessen i totalsystemet

För bostadshus svarar den oavsiktliga ventilationen för en ofta avsevärd del av en byggnads energiförbrukning. Vid beräkning av dessa energiförluster betraktas byggnaden som ett läckande system, som exponeras för klimatiskt och maskinellt betingade tryck. I en enklare problemformulering bortses från inre strömningsmotstånd genom innerväggar och bjälklag.

Analysen av luftläckning och ventilation kan då i huvuddrag beskrivas med utgångspunkt från figur 2.6.



Figur 2.6 Huvuddragen i en systemanalys för bestämning av luftläckning

Figur 2.6 innefattar, enligt Nylund (1980a), identifikation av ett läckande system och ett påverkande trycksystem samt etablering av en balans-ekvation för luftflöden. Det läckande systemet utgörs av klimatskärmens otätheter och de ventilationskanaler som bryter igenom höljet. Tryckdifferenserna är temperatur-, vind- och fläktbetingade.

Den av termiska förhållanden bestämda tryckdifferensen varierar som nämnts linjärt med höjden. I figur 2.6 antas tryckskillnaden vara noll vid byggnadens bas. Det yttre trycket avtar mer med höjden än det inre, så att den resulterande tryckskillnaden blir ett uppåt tilltagande inre övertryck. Detta är vid stabila förhållanden väl definierat.

Vindtrycken beror bl a på vindhastigheten, byggnadens form och storlek samt på byggnadsytornas orientering i förhållande till vindriktningen.

Fläkttrycken illustreras av den heldragna, krökta kurvan i det insprängda fläktdiagrammet överst till höger i figuren. Den streckade kurvan - anläggningslinjen - för ett kanalsystem är analog med läckningskurvan för andra otätheter i höljet.

I detaljförstoringen av en av otätheterna antyds att sambandet mellan tryckskillnad och otäthet normalt inte är rätlinjigt. Man kan alltså inte summera läckflöden av olika drivkrafter. I stället måste först totaltrycket av samtliga drivkrafter summeras. Därefter bestäms det inre jämviktstrycket, betecknat med  $x$  i figur 2.6, med hjälp av en flödesbalans för byggnaden.

Sedan läckande system och kraftsystem definierats och fysikaliska samband formulerats, kan det interna



trycket bestämmas med ett iterativt förfarande.  
Därmed är också tryckdifferenserna över klimatskärmen  
fastlagda så att flödena genom byggnadens otätheter  
kan erhållas.

### 3 FUNKTIONSANSPRÅK

#### 3.1 Komfort- och hälsokrav

##### 3.1.1 Kvalitetsbestämmande faktorer

Klimatkomforten inomhus karaktäriseras genom kombination av sammanhörande värden på olika fysikaliska företeelser såsom lufttemperatur, luftrörelser, luftfuktighet och innehåll av föroreningar. De sistnämnda har genom att i vissa fall framkalla odörer en komfortaspekt men påverkar i många fall också brukarnas hälsotillstånd.

Komfortkravens innehållande fordrar en anordning för luftrening eller visst minimum av luftväxling. Luftrörelserna får inte ge upphov till besvärande dragkänsla på grund av alltför höga, lokala luft-hastigheter. 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 när det gäller att ange lämpliga nivåer för varierande typ av verksamhet och förutsättningar.

I det följande behandlas komfortkriterier avseende lukt, termiskt inneklimat och en mer subjektiv bedömning av inneluftens "friskhet". Luftens "friskhet" bestäms av dess ålder definierad som den tid som förflutit sedan den kom in i rummet. Begreppet ventilationseffektivitet har introducerats i avsikt att ge ett kvantitativt mått på hur ett tilluftsflöde fördelas i rummet. Variationer kan uppkomma beroende på blandningsgraden och tilluftsdonens placering, Sandberg (1981).

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 dem som befunnit sig där en tid. Luktintrycket kan ej direkt hänföras till koncentration av luktpartiklar. Istället har man valt att relatera det till koldioxidhalten.

Luktproblem har aktualiserats i samband med ökat antal fuktskador, se vidare kapitel 3.2. Mögel ger ofta upphov till lukt som infekterar kläder och inredning.

I brist på kunskap hur fysiologiska, psykologiska, kemiska och fysikaliska parametrar skall kombineras, kan luktkriteriet i vissa avseenden fortfarande betraktas som relevant då det täcker många gasformiga ämnens effekt, Berglund (1979).

Den för luftkomforten erforderliga ventilationsgraden kan förenklat relaterats till det aktuella utrymmets halt av koldioxid. Rimligt underlag för att fastlägga tillåtna mängder av  $\text{CO}_2$  har emellertid inte varit tillgängligt för alla slag av rumskategorier. Det yrkeshygieniska gränsvärdet 0.5% gäller enligt Arbetskyddsstyrelsen för en arbetsplats, se t ex Elmroth et al. (1981). Motsvarande värde saknas för bostäder. För dessa kan gränsvärdet behöva jämkas nedåt med hänsyn till osäkerheter om ventilationens effektivitet, spridning i rummet, brukarnas aktivitetsnivå och störningar i form av lukt och besvärande hög luftfuktighet. Efter en sådan modifikation kan koncentrationsgränsen för  $\text{CO}_2$  komma att svara mot ett ventilationsbehov på ca 10-15  $\text{m}^3$  per person och timma. Detta skulle i sin tur med vissa antaganden om rumsstorlek och personantal kunna översättas

i acceptabla lägsta nivåer på luftomsättningen. Som jämförelse kan nämnas att 0.12% kan anses som ett rimligt värde med hänsyn till personlig hygien, se Rødahl (1980).

Verksamheter som matlagning eller tobaksrökning påverkar i hög grad luftkvaliteten.

Upplevelsen av det termiska klimatet beror av såväl luftens och rumsytornas temperatur som lufthastigheten, luftfuktigheten och människans beklädnad.

De boende avger vattenånga, uppskattningsvis 40 g per timme vid vila, se Elmroth et al. (1981). Matlagning och tvättning bidrar till en ökad fukt i inomhusluften. Luftfuktigheten kan 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 fuktmängd som tillförs bostaden. Vår uppfattning av luftens fuktighet och kvalitet är i hög grad beroende av lufttemperaturen. Speciellt kan problem uppstå vid hög eller låg relativ fuktighet i kombination med höga temperaturer. Hålles innetemperaturen mellan 20-21°C kan ur komfortsynpunkt en variation av luftfuktigheten mellan 25 och 60% accepteras, se Valbjørn (1979).

Lufthastigheten bör vara mindre än 0.2 m/s för att ej besvärande drag skall uppkomma. Höga lufthastigheter kan förekomma vid otäta fönster och dörrar samt vid olämpligt placerade och utformade ventilationsdon.

### 3.1.2 Speciella föroreningar

Några luftföroreningar blir under vissa förhållanden hälsofarliga. Särskilt viktigt är att beakta detta förhållande i täta byggnader med obetydlig styrd 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 och av byggnadssättet. Detta gäller också radioaktiv strålning från byggnadsmaterial och undergrund. Ventilationsbehovet kan då bli större än vad som betingas av normala anspråk på klimatkomfort.

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

I det följande beröres några speciellt viktiga typer av föroreningar.

#### Radon.

Under de sista åren har problem i samband med förekomst av radon och radondöttrar uppmärksamats, se t ex Swedjemark (1979), Svenska kommunförbundet (1980), Statens Planverk (1981). Koncentrationen av radon är tidsberoende och bestäms av

- radonkoncentration i den luft som tillförs huset
- i byggnaden alstrad mängd radon eller radondöttrar
- lägenhetens volym
- ventilationsflöde och ventilationssystem

Risken för radontillförsel från mark ökar vid invändigt undertryck, såsom vid F-ventilation. Mängden gas som diffunderar in i ett rum är beroende av konstruktionens täthet mot diffusion. De största gasmängderna härrör ofta från bjälklag, Peterson (1980).

Om rummet ventileras  $n$  gånger per timma med "radonfri" ventilationsluft kan radonkoncentration  $R$  tecknas, Jonassen (1979)

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

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

$n$  = antalet luftväxlingar  $[\text{h}^{-1}]$  och

$R_0$  = den radonkoncentration som ett material kan ge en lokal.

Ett flertal utredningar om radons skadeverkningar har genomförts och 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
- reducera hälsorisker i befintlig bebyggelse.

Bestämmelserna har baserats på mycket osäkra riskuppskattningar, vilka förutom strålningsnivå också ska beakta expositionstiden. Risken för skadeverkningar ökar vid sammanlagrad exposition t ex om tobaksrökning förekommer. Osäkerheter behåftar också tillgängliga uppgifter om verkliga radonhalter i bostadsbeståndet. I diskussionen om rimliga värden på acceptabla risknivåer har ekonomiska konsekvenser av låga gränsvärden måst beaktas, Linder (1981).

### Formaldehyd

Byggnadsmaterial, inredning och installationer kan sprida formaldehyd. Denna bildas bl a av vissa limsorter, som används i olika skivmaterial, se Fickler (1978). Den kan också avges från heltäckningsmattor och andra textilier samt från vissa möbelsorter. Skaderisker finns även vid injektering i fuktiga utrymmen med karbamidskum med felaktiga blandningsproportioner.

Enligt Socialstyrelsens rekommendationer till regeringen, 1977, är 0.4 ppm den lägsta koncentration som bör medföra något ingripande, Falkenhaus (1981). Förslaget är fortfarande vilande men den lokala hälsovårdsnämnden kan på eget initiativ vid nivå 0.7 ppm och efter uppmaning från de boende vid 0.4 ppm vidtaga lämpliga åtgärder. Speciellt känsliga personer - som allergiker - kan reagera på betydligt lägre koncentrationer.

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 av hög formaldehydhalt som förekommit har orsakats av olämplig proportionering av lim eller av material som byggts in i fuktigt tillstånd.

Problemet bör i första hand lösas genom val av lämpliga byggnadsmaterial i kombination med en ur energihushållningssynpunkt rimlig ventilationsnivå. Flera utredningar visar att man inte kan lösa problem med höga halter av formaldehyd enbart genom ökad luftväxling.

### Andra substanser

Ett flertal byggnads- och inredningsmaterial som avger gaser har blivit vanliga i våra bostäder, Johansson et al. (1978). Föroreningar i omgivningsluften består av ett mycket stort antal ämnen, vilket gör det svårt att entydigt relatera skadliga 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 står också i relation till luftens innehåll av föroreningar, se t ex Graeffe (1979).

Lätta luftjoner förefaller att ha biologiska effekter men inget entydigt samband med människans hälsotillstånd har ännu klarlagts.

### Mikroorganismer

Mögel och dammkvalster innebär hälsorisker speciellt för människor med benägenhet för allergier. En dansk undersökning, Korsgaard (1979), visar att 1% av Danmarks befolkning har allergiska besvär som orsakats av dammkvalster.

### 3.1.3 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 konstruktion för olika ämnen t ex l/s person, l/s m<sup>2</sup>, oms/h och Bq/m<sup>3</sup>. 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 fukt-synpunkt - med en förstärkt ventilation under en begynnelseperiod. Problem som återstår att lösa sammanhänger i första hand med beständighetsfrågor och konsekvenser av täta och välisolerade 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 stannar ofta vid att gälla antalet luftväxlingar. Inverkan av vädring och dörrars öppethållande beaktas ej. Utan tvekan bidrar - för normalt boende - vädringen till att öka luftväxlingen över dygnet och bör därför inte lämnas utan avseende.

Det kan diskuteras om den totala luftomsättningen generellt skall fastslås i ett värde oavsett ingående byggnadsmaterial och grundens beskaffenhet. Alternativt kunde nyanserade krav ställas på ventilationen genom anpassning till gällande förutsättningar, exempelvis

- . mindre luftväxling för trähus jämfört med t ex skifferbaserad gasbetong
- . mindre luftväxling för kryprumsgrundlagda hus än för hus med källare
- . högre luftväxling för hus grundlagda på radioaktivt material än för andra objekt.

#### 3.1.4 Ventilationssystemets funktion

När det gäller ventilationssystemen är ett huvudproblem valet av ett ur olika synpunkter optimalt strukturerat regelsystem och av anordningar som medger en för olika utrymmen lämpligt avvägd lufttillförsel. Väsentligt är också att det finns goda möjligheter att kontrollera tätheten hos kanal- och apparatanslutningar.

I de fall husen är utrustade med frånluftssystem med tilluft genom springventiler har dessas funktion en avgörande inverkan på rummens luftomsättning och på komforten. Problem kan uppstå genom att de boende för att slippa dragupplevelser eller för att minska energiförbrukningen stänger tilluftsdonen. Tilluftsanordningar, som t ex springventiler i fönster, bör därför ur denna synpunkt inte gå att stänga helt. En vidare kunskap om spridningsbilden för tilluftsdon är önskvärd.

Fortsatt forsknings- och utvecklingsarbete är angeläget beträffande

- . luftrörelsernas fördelning i ett rum vid olika placering och utformning av tilluftsdon
- . system som fördelar luftmängderna så att luftutbytet i olika utrymmen begränsas till vad som svarar mot rimliga funktionskrav
- . ventilationsdon som med hänsyn till krav på energihushållning reglerar lufttillförseln på lämpligt sätt och som är fördelaktiga ur dragsynpunkt.

### 3.2 Krav för undvikande av byggnadsskador

Låg luftomsättning kan äventyra uppfyllandet av de långtidskrav som ställs på byggnadsdelars egenskaper. I allmänhet rör det sig om en så småningom inträdande försämring i bärande och isolerande funktioner med eller utan samtidig förstörelse av ingående material. Försämringen uppkommer ofta genom en olämpligt hög fukthalt, som emellertid kan reduceras genom

ändamålsenligt anordnad 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. Härtill kommer den höga täthetsnivå som man under de senaste åren sökt uppnå för att spara energi.

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. Orsak till sådana skador har bland annat varit brister i ventilationssystemets funktion och inreglering.

Skadorna visar sig oftast genom rötskador på fönster och mögelbildning bakom möbler och inredning, kondens på fönster, långa torktider för tvätt samt att luften känns fuktig.

Den för god funktion erforderliga ventilationen beror av berörda byggnadsdelars konstruktion, ingående materials fuktkänslighet 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 en byggnads olika rum stor

roll för kravuppfyllelsen. Även om luftomsättningen i stort är acceptabel kan områden med stillastående luft uppträda med gynnsamma betingelser för kondens och mögelbildning.

Speciella problem erbjuder helt eller delvis uppvärmda delar av byggnaden såsom vindar och kryputrymmen. Den för dessa erforderliga ventilationen diskuteras bl a i Levin (1981) och Elmroth et al. (1970).

### 3.3 Drifanpassning och flexibilitet

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 så att den kan anpassas till eller enkelt utbyggas 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 funktionsstörningar 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.

### 3.4 Energihushållning

Kravet på energihushållning 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, se t ex Jonsson (1978).

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 energihushållning mera komplicerat.

### 3.5 Normkrav

Svensk byggnorm sammanfattar krav på god funktion i föreskrifter om lägsta luftomsättning. Ventilationen i bostäder skall utformas med utgångspunkt från basvärdet  $0.35 \text{ l/s m}^2$  lägenhetsyta. Bestämmelserna kompletteras i avsikt att undvika hälsorisker bland annat genom angivande av maximala värden på formaldehyd- och radonhalt. Hänvisningar görs till speciella regler för bekämpningsmedel mot röta och mögel samt ämnen som av olika anledningar betraktas som hälsofarliga.

Bestämmelserna för radon har gjorts beroende av husets situation i byggprocessen,

- befintlig byggnad i normal användning
- befintlig byggnad inför ombyggnad
- nybyggnad.

I befintliga byggnader anses sanitär olägenhet föreligga om radondotterhaltens årsmedelvärde överstiger  $400 \text{ Bq/m}^3$ . Vid ombyggnad anser 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 sattes därför till  $200 \text{ Bq/m}^3$ . Skulle däremot ingrepp i form av utbyte av bärande stomdelar och utbyte av massor under hus erfordras, får detta värde överskridas. För nybebyggelse gäller gränsvärdet  $70 \text{ Bq/m}^3$ .

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  $70 \text{ Bq/m}^3$  inomhus kan innebära en fordran på tekniska åtgärder mot radontillförsel från mark och hushållsvatten och mot användning av byggnadsmaterial med låg radonavgång.

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

I normen formuleras riktlinjer syftande till att:

- luftkvaliteten i varje rum hålles 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 förhindras
- luftströmning mellan rum endast sker från mindre till mera luftförorenade rum

spridning till det fria av gaser eller ämnen inte sker i en sådan omfattning att sanitär olägenhet uppstår.

Vid fläktventilation gäller förutom krav på den ytmässiga luftväxlingen också speciella riktlinjer för vissa utrymmen. Den största risken att utsättas för ett mindre lämpligt inomhusklimat förefaller att finnas i sovrummen vid F-ventilation.

Självdraagsventilation godtas i enbostadshus även om föreskrivna krav på en lägsta luftväxling inte kommer att uppfyllas under alla väderleksförhållanden. Kravet på en högsta medgiven radondotterhalt gör dock att självdraagsventilation inte generellt kan godtas.

Kravet på energihushållning tillgodoses bl a genom maximering av byggnaders otäthetsfaktor uttryckt som oms/h samt genom föreskrift om förhindrande av oläglig luftläckning genom vissa byggnadsdelar och dessas anslutningar.

### 3.6 Problemställningar och forskningsbehov

En ur funktionssynpunkt välavvägd kravkatalog är en huvudförutsättning för lämpligt val av byggnaders täthet och en rationell utformning av ventilations-systemet. Bestämmelserna har under de senaste åren genomgått en betydande utveckling både vad avser anknytning till funktionsanspråk och precisering. Det har blivit möjligt att, låt vara på relativt osäkert underlag, ange gränsvärden för förekomst av hälsofarliga föroreningar, vilket i sin tur ger förutsättningar för bestämning av erforderlig luftväxling. Vidare har uppgifter om gränsvärden för otätheter i olika byggnadsdelar tillkommit.



Fortfarande råder dock osäkerhet om relevansen i existerande komfort- och hälsokriterier och om komfortkänslans beroende av olika faktorer enligt 3.1.

Grundläggande forskning beträffande ventilationsbehov och erforderliga luftrörelser med hänsyn till komfort- och hälsokrav är därför fortfarande angelägen, Löfgren (1981).

Ur praktisk synpunkt efterlyses ett övergripande utredningsarbete som skulle kunna leda till riktlinjer för val av ventilationsgrad under samtidigt beaktande av de i föregående avsnitt berörda kravkomplexen. Parallellt med en sådan studie av fordringar på luftutbytet i olika slag av utrymmen borde man sammanställa uppgifter om lämpliga övre och undre gränsvärden för lokala lufthastigheter.

Sammanfattningsvis hänvisas till följande omfattande problemkomplex vars fortsatta behandling är mycket angelägen,

- Framtagning av minsta acceptabla luftutbytet ur hygien- och hälsosynpunkt för olika nyttjargrupper och bostadstyper
- Upprättande av riktlinjer för val av minsta luftutbyte med hänsyn till kondensrisker i typifierade byggnader med olika konstruktion och fuktbelastning
- Beskrivning av sambandet dos-respons för olika luftföroreningar.

## 4 SYSTEMANALYS

### 4.1 Frågeställningar

I en konsekvensanalys av täthet och ventilation gäller det att kunna kvantifiera egenskaperna "energismål" och "komfortabel" samt de parametrar som inverkar på dessa egenskaper. Först därefter är det möjligt att söka sig fram till optimala lösningar både när det gäller energibesparings storlek, investeringskostnader och framtida underhåll med beaktande av en godtagbar komfort.

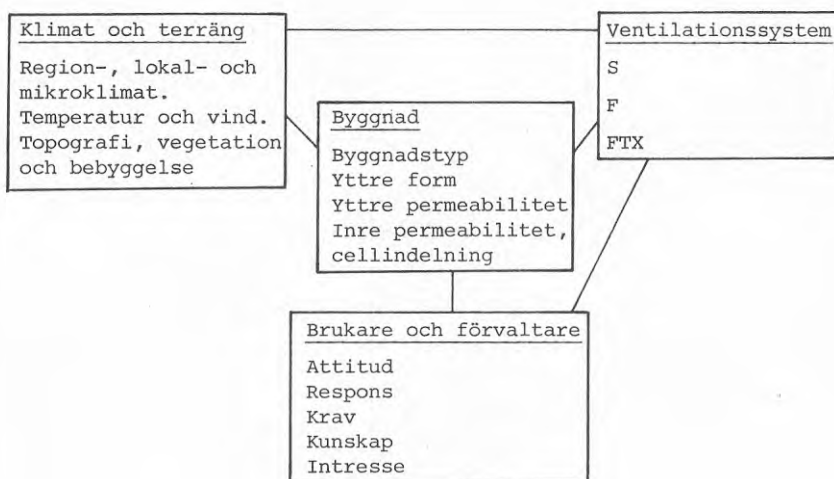
En analys av de konsekvenser som åtföljer olika åtgärder beträffande byggnaders täthet och ventilation måste baseras på ett omfattande empiriskt och teoretiskt underlag. Detta kräver i sin tur tillgång till ändamålsenliga mätmetoder och beräkningsförfaranden. I detta kapitel diskuteras resurser och utvecklingsbehov i dessa avseenden. I samband härmed ges referenser till avslutade och pågående projekt inom området. I första hand berör denna inventering verksamheten i Sverige och de nordiska länderna, men även resultat från andra länder med direkt användbarhet i detta sammanhang kommer att tas upp. Genom inventeringen kan viktiga luckor identifieras, liksom önskvärda kompletteringar eller breddningar i program och dataunderlag.

En, om än noggrannt uppmätt, energibesparing säger bara något om en åtgärds, eller ett åtgärdspakets inverkan i det speciella fallet. Med matematiska modeller kan olika parameterändringars inverkan på energiförbrukning och komfort studeras i ett större sammanhang. En sådan modell utgör ett återkopplat system, dvs parameterändringar kan inte studeras utanför systemet. Uppbyggd i avsikt att på ett

noggrant sätt beskriva de fysikaliska förloppen i en byggnad, kopplade till mänskliga beteenden och upplevelser kan den bli alltför komplicerad för praktiskt bruk. Då dessutom numeriska värden på många viktiga ingångsparametrar fortfarande är oklara, bör modellens komplexitet hållas på en rimlig nivå. Trots därigenom införda förenklingar behöver beräkningarna i allmänhet utföras i dator. Det är nödvändigt att de modeller som väljes, innefattar alla viktigare faktorer. Fortfarande saknas säkra numeriska värden på vissa av dessa, varför antaganden eller gissningar måste göras. Betydelsen av sådana antaganden bör prövas i en känslighetsanalys, varvid man studerar hur olika parametervärden inverkar på slutresultatet. Om detta varierar avsevärt med valet av ingångsdata bör man åtminstone skatta troliga gränser för de i praktiken uppträdande förhållandena.

## 4.2 Systemparametrar

Mätmetoder och matematiska samband knyts till olika parametrar inom totalsystemet. Dessa parametrar kan sorteras in i ett blockdiagram visande inbördes kopplingar:



### 4.2.1 Klimat och terräng

Klimatets inverkan på luftutbytet behandlas i Handa et al. (1979) och har i korthet berörts i kapitel 2.5. En god orientering om klimatelement ges i Taesler (1972), en central uppslagsbok när det gäller klimatdata för Sverige. Utgående från denna information kan olika relevanta parametrar för naturförhållandena definieras. De presenteras i det följande tillsammans med aktuella mättnings- och beräkningsproblem.

### Regionklimat

Klimatet i form av klimatelement mäts vid ett stort antal klimatstationer i landet. Man sträver att lägga stationerna i flack, öppen terräng, oftast i anslutning till flygplatser. Observationerna insamlas centralt till SMHI, utvärderas och lagras i dator och görs tillgängliga i form av allmän klimatstatistik och speciella uppdragsbearbetningar. Eftersom man eftersträvar så litet inflytande av lokala störningar som möjligt blir sådana klimatdata karaktäristiska för den region klimatstationen är placerad i. Av de i detta sammanhang viktigaste klimatelementen påverkas lufttemperatur, vindhastighet och vindriktning i hög grad av en "förflyttning" från stationen, solinstrålning (molnighet) i mindre grad.

### Topografi

Den mera storskaliga landskapsbilden i form av slätter, bergsryggar, sjöar och närhet till hav har stor betydelse för klimatförhållandena. Det är nödvändigt att ta hänsyn till detta vid användningen av SMHI-mätta klimatelement.

### Lokalklimat, mikroklimat

Lokalklimatet kan anses karaktäristiskt för ett bebyggelseområde av begränsad omfattning och med likartad topografi och vegetation. Man strävar att förankra sina på platsen uppmätta klimatelement på ett sätt som är oberoende av variationerna i mikroklimatet, dvs klimatet i omedelbar anslutning till de enskilda husen. I verkligheten är det ofta problematisk att hitta en lämplig, relativt ostörd plats för en sådan mätning, speciellt vad avser vind.

### Vegetation

Den naturliga eller planterade vegetationen kan, i likhet med bebyggelsen själv, i hög grad påverka mikroklimatet. För lövfällande träd ges ytterligare en variabel i vegetationstidens längd.

### Mätning av utetemperatur

Skillnaden mellan ute- och innetemperatur inverkar direkt på husets transmissions- och ventilationsförlust. Temperaturskillnaden utgör också en viktig drivkraft - skorstenseffekten. Stora mikroklimatiska skillnader kan finnas inom ett område, skillnaderna tenderar dock att utjämnas vad avser byggnaders värmeförluster sedda ur längre tidsperioder (veckor, månader).

Lufttemperatur kan mätas med ett stort antal olika givare, vätsketermometrar, motståndsgivare, termoelement, halvledarelement. Vid utomhusmätning bör de hängas upp skyddade mot solbestrålning. För beräkning av gradtimmar måste man använda registrerande instrument, speciella gradtimmeintegratorer finns också framtagna.

### Solinstrålning, molnighet

Genom direkt solinstrålning mot ytor uppvärms dessa. Detta är en orsak till mikroklimatiska variationer i utetemperatur. Om ytan utgöres av en tunn fasadskiva, kan luftspalten innanför kraftigt uppvärmas. Beroende på hur spalten luftas, får man en mer eller mindre uttalad motverkande skorstenseffekt, resulterande i ett minskat luftflöde genom fasadväggens otätheter.

Bara ett fåtal klimatstationer mäter den direkta strålningen och globalstrålningen. Det finns dock goda möjligheter att utifrån molnstatistik räkna sig fram till önskade instrålningsvärden, se Girdo (1978), refererad av Magnusson et al. (1981), och Taesler (1981).

## Vindhastighet

Vindhastigheten mäts vid en klimatstation på en höjd av 10 meter, och anges i form av tio minuters medelvärde. Mätningen sker varje hel- och halvtimme. Från detta värde är det möjligt att genom empiriskt erhållna samband beräkna vindprofilens största värde. För platser på begränsat avstånd från klimatstationen finns det också, i enklare fall, möjlighet att uppskatta en karakteristisk, lokal vindhastighet på valfri höjd över marken, förutsatt at terrängtypen är känd, se Taesler (1972) och Handa et al. (1979). Inverkan av större topografiska hinder är svårbedömd, en ofta anlitaad utväg är att med lokala mätvärden som grund bilda en översättningsfaktor till klimatstationsmätta värden.

Vindhastighetens medelvärde  $\bar{v}$  definieras som

$$\bar{v} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt$$

där T anger den valda integreringstiden (vanligen 10 minuter enligt ovan). Vindhastighetsfluktuationer, vindturbulens i form av lågfrekventa byar eller mera högfrekventa virvlar, har en ej klarlagd betydelse för en byggnads luftutbyte. Några tänkbara mekanismer beskrivs i Handa et al. (1979). Den atmosfäriska turbulensen kan uppkomma både på mekanisk och konvektiv väg. Den förra, som uppträder vid högre vindhastigheter, är relativt väl kartlagd genom arbeten inom vindlastsidan. Den konvektiva turbulensen, som uppkommer vid lägre vindhastigheter, är mindre känd, och kan spela en stor roll för vindtrycksfördelningen över byggnader. Viktiga data om den konvektiva strömningen kan hämtas från studier av

luftföroreningsspridning. Turbulensen anges ofta i form av turbulensintensiteten  $I$  där

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int (v(t) - \bar{v})^2 dt} / \bar{v}$$

Vindhastighet mäts vanligen med skålkorsanemometer, ofta försedd med pulsutgång via reedkontakt eller läsgaffel. De känsligaste typerna har startvärden på ca 0.2 m/s och tidskonstanter i storleksordningen 3 sekunder. Vid hög turbulensintensitet kan skålarnas utformning vara viktig, så att de accelereras och retarderas med samma lätthet, se Aronsson (1977), som ger en sammanfattande kommentar till Lamboley et al. (1977) som gjort en omfattande serie jämförande prov på internationellt använda anemometrar.

Man kan också använda propelleranemometrar, vanligen monterade vinkelrät mot varandra för två- eller trekoordinatmätningar. Propellrarna är gjutna i polystyrencellplast och mycket ömtåliga, de har å andra sidan låg starttröskel och liten tidskonstant - 0.1 s vid 10 m/s. En beskrivning finns i Glaumann (1977).

För speciella ändamål finns också andra möjligheter för vindmätning - ultraljudsanemometrar, varmtråds- och termistorgivare, dopplerlaserinterferometri, pitotrörsmätning. En närmare beskrivning skulle här leda för långt.

### Vindriktning

Vindriktningen (anblåsningsriktningen) är en av de faktorer som påverkar den yttre vindtrycksfördelningen över en byggnad och därmed dess luftutbyte. Byggnadens orientering i förhållande till förhärskande vindriktningar kan därför vara av betydelse. Inverkan av riktningsfluktuationerna är föga utredd. Då dessa ligger i en för virvelavlösning känslig anblåsningsriktning kan de dock antas ha en betydande effekt.



Vindriktningen  $\psi$  anges vanligen i form av en kompassros N, NV, V, etc. eller i ett 360<sup>o</sup>-system med 0<sup>o</sup> mot norr.

Dess aritmetiska medelvärde, medelriktningen under tidsintervallet T, betecknas

$$\bar{\psi} = \frac{1}{T} \int \psi(t) dt$$

Sektorn definierad av riktningens största och minsta värde  $\psi_{\max}$  och  $\psi_{\min}$  innefattar vinkeln

$$\Delta\psi = \psi_{\max} - \psi_{\min}$$

Något etablerat mått för riktningsfluktuationen synes inte föreligga.

SMHI anger vindriktningen i 8 sektorer enligt kompassros.

Vindriktningen mätes vanligen med lätttrörliga vindfanegivare. Det riktningskännande elementet kan vara en sektorskiva med läsgaffel som ger en digital utsignal, ofta i Grey-kod. Vanligare är att använda en kontinuerlig eller sektoriell potentiometer, vars motstånd motsvarar vindfanans inriktning.

I Aronsson (1980) ges en kort översikt över vindfanors dynamiska egenskaper; SMHI:s typer har distansvärden på drygt en meter för 63% av slutvärdet.

Man kan också beräkna vindriktningen efter mätning med två- eller trekoordinatsanemometrar. Dessa bör då ha ett cosinusformat riktningsberoende.

## Vindtryck

Övergången från vindhastighet till tryck sker via formfaktorer  $\mu$ . Dessa bildas med utgångspunkt från Bernoullis ekvation för stationär, laminär strömning och blir för delytor  $n$

$$\mu_n = 1 - \left(\frac{v_n}{v_0}\right)^2$$

där  $v_0$  betecknar en referenshastighet i ostörd strömning och  $v_n$  strömningshastighet vid delytan.

Tryckändringen  $p_n$ , relativt atmosfärstrycket vid delytan erhålls ur sambandet

$$p_n = \mu_n \cdot \frac{1}{2} \rho v_0^2 \quad (\text{Pa})$$

där  $\rho$  är luftens densitet ( $\text{kg/m}^3$ ).

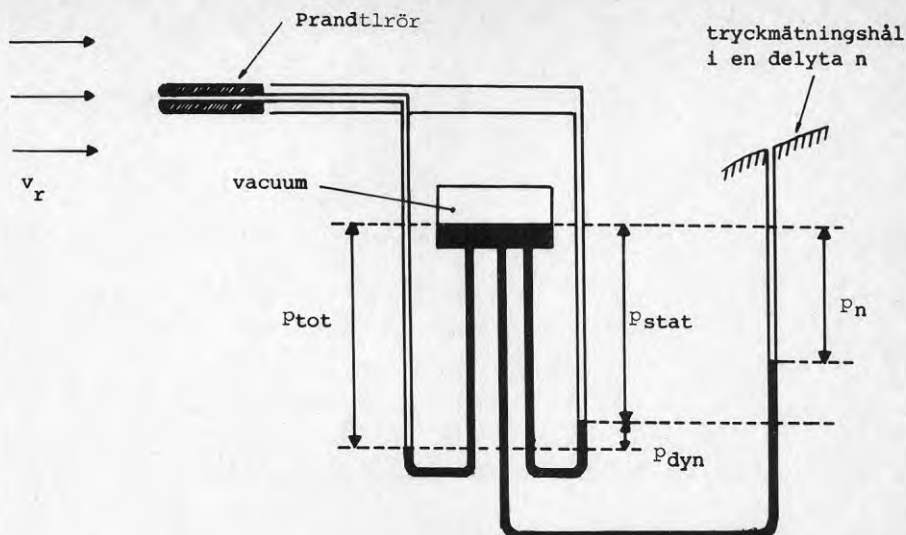
Vinden är varken stationär, laminär eller förlustfri. I praktiken bestäms formfaktorn ur fullskalemätningar eller ur vindtunnelförsök, där man söker simulera den naturliga vindens egenskaper.

Med beteckningar enligt figur 4.1 definieras formfaktorn  $\mu_n$  för en delyta  $n$  som

$$\mu_n = \frac{p_n - p_{\text{stat}}}{p_{\text{dyn}}}$$

där  $p_{\text{dyn}} = \frac{1}{2} \rho v_r^2$

och  $v_r$  betecknar en referenshastighet, vald utifrån mätförfarandet. Vid vindtunnelförsök används ofta lufthastigheten i höjd med modellens taknock som referenshastighet. Vid fullskalemätningar är valet av referenshastighet mer problematiskt - praxis är att man söker en i görligaste mån "ostörd" vindhastighet.



Figur 4.1 Definition av statistiskt tryck,  $p_{stat}$ , dynamiskt tryck,  $p_{dyn}$ , totaltryck  $p_{tot}$  och vindtryck för en delyta  $n$ ,  $p_n$ .

Fullskalemätningar måste av ekonomiska skäl begränsas starkt till sin omfattning. De har emellertid stort värde som "facit" till motsvarande vindtunnelmätningar och förmår belysa de i 2.5 nämnda turbulens- och temperaturbetingade effekterna på hastighetsprofilen.

Vid fullskalemätningar mäts vindtrycksfördelningen med olika typer av differenstryckgivare. Ett huvudproblem har därvid varit - och är - att finna ett statistiskt tryck att relatera differenstrycken till. Äldre undersökningar brister ibland i detta avseende, genom att exempelvis inomhustrycket använts som referenstryck. Som tryckgivare har använts vätskemultimanometrar kopplade via plastslangar till mätthål fördelade över byggnadens ytor, se t ex Handa et al. (1981). Multimanometern fotograferas och utvärderas manuellt eller på dator efter digitalisering.

Utrustningen är enkel och relativt billig, samt ger en momentan tryckbild över samtliga mätpunkter. Nackdelen är en relativt lång responstid, ca 3 sek, dålig upplösning och förhållandevis stor manuell arbetsinsats.

För mätning av tryckfluktuationer (0 - ca 10 Hz) används elektroniska tryckgivare av membrantyp med olika omvandlarprinciper. Registrering sker via FM bandspelare för senare digitalisering och datorbaserad utvärdering. Då många kanaler krävs blir utrustningen mycket dyr och fordrar ett högt kvalificerat mät- och utvärderingsarbete. Om metoden se Eaton et al. (1974, 1979), Cook et al. (1980) och Cook (1980).

En väg att till ett rimligt pris automatisera mätdatainsamling och bearbetning är att använda en datorstyrd sekvensiell ventilscanner, där mätslangar i tur och ordning via magnetventiler anslutes till en gemensam differenstryckgivare. Samplingshastigheten är ca 2 kanaler/s. Metoden är lämplig för medelvärdesbildning över längre mätperioder. Den ger ingen uppfattning om den simultana tryckbilderna över alla mätpunkter, och är därför inte lämpad för efterföljande korrelationsanalys. Om metoden se Lindquist (1981) och Blomsterberg et al. (1981). Ett gemensamt problem för alla metoder som använder mätslangar, är att uppvärmningen av vertikalt placerade slangar genom solbestrålning påverkar mätvärdet, som därför måste korrigeras numeriskt. I mätprogrammet bör ingå uppmätning av byggnadens interntryck i varje cell som vetter mot utsidan.

Vindtunnelstudier av formfaktorfördelningar sker numera i speciellt utrustade vindtunnlar för byggnadsaerodynamisk forskning. Enligt modellagarna måste Reynolds tal  $Re = \frac{vd}{\nu}$  vara lika i verklighet och modellförsök. Av praktiska skäl "tummar man" på detta, vilket inte betyder så mycket vid de skarpkantade modeller som är aktuella. I vindtunnlarna kan man vidare efterlikna den naturliga vindens hastighets- och turbulensgradienter samt de turbulenta hastighetsfluktuationernas energispektrum.

Den överväldigande litteraturen på området behandlar formfaktorer för fritt liggande, enstaka byggnader, se exempelvis en klassisk studie av Jensen (1965). En studie av Soliman & Frick (1974) behandlar i starkt schematiserad form inverkan av den omgivande bebyggelsen.

#### Temperaturbetingade tryckdifferenser

Den i 2.5 omnämnda skorstenseffekten uppkommer genom att varm luft är lättare än kall vid samma barometertryck. Tryckdifferensen  $\Delta p_t$  över klimatskärmen beräknas enligt ekvationen

$$\Delta p_t = \rho_0 \cdot g \cdot 273 \left( \frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_i} \right) \cdot z \quad (\text{Pa})$$

där  $\rho_0$  = luftens densitet vid 0°C (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = tyngdaccelerationen (m/s<sup>2</sup>)

$T_u$  = utetemperaturen (°K)

$T_i$  = innetemperaturen (°K)

$z$  = höjden från ett referensplan (m)

Formeln kan i SI-systemet approximativt skrivas

$$\Delta p_t = 0.04 \cdot (T_u - T_i) \cdot z \quad (\text{Pa})$$

Den inre temperaturfördelningen varierar vanligtvis föga inom en byggnad. Normalt betraktas utetemperaturen som konstant runt huset. Det kan emellertid uppkomma relativt höga temperaturer i luftspalten innanför fasadskiktet. Motsvarande tryck i luftspalten kommer att motverka det temperaturberoende luftutbytet.

Temperaturbetingade tryck kan mätas genom att ansluta en tryckdifferensgivare till ömse sidor om klimat-höljet. Mätslangen måste då föras direkt genom väggen, se Blomsterberg et al. (1981). Därvid kan man dock inte särskilja tryckskillnader uppkomna på andra sätt (vind, fläktar). Man kan också föra med sig en barometer med hög upplösning och avläsa den på in- och utsidan av byggnaden. Vid centraliserad mätdata-insamling fås den bästa mätnoggrannheten genom uppmätning av inne- och utetemperaturer samt nivå-skillnader. Tryckskillnaden kan sedan enkelt beräknas.

#### 4.2.2 Byggnad och byggnadsdelar

##### Lufttäthet och läckning

Läckningen  $q$  ( $m^3/h$ ) genom en byggnad eller byggnadsdel beskrivs ofta som nämnts i 2.2 genom empiriska samband. En vanlig formel är

$$q = k \cdot A(\Delta p)^\beta$$

där  $k$  = en faktor som karakteriserar permeabiliteten

$A$  = byggnadsdelens yta

$\Delta p$  = tryckskillnaden

$\beta$  = en exponent mellan de ungefärliga gränserna 0.5 och 1.0.

Andra samband har använts, exempelvis för sprickor i betongskivor, se Jergling (1981).

Mätning av luftläckning, genom t ex fogar och otätheter, sker ofta vid förhållandevis höga tryck. Vid beskrivning av en naturlig ventilationsprocess är modelleringen av tryckflödesdiagram speciellt viktig inom området  $\pm 15$  Pa. Enligt de Gids (1978) är ansatsen enligt ovan acceptabel inom ett tryckområde 1-100 Pa, den är därmed i praktiken användbar för modellering av byggnaders luftutbyte. Då trycket går mot noll går flödesderivatan mot oändligheten, varför den kan vara olämplig för en noggrannare analys av lufttransport i sprickor.

Måttet på lufttäthet i hela byggnader anges i SBN som ett krav på maximalt antal luftväxlingar vid en pålagd tryckskillnad av 50 Pa. Värdet kallas  $n_{50}$  och utgör medeltalet för en vid samma tillfälle utförd över- och undertrycksmätning. Ett stort antal friliggande småhus, ett smärre antal radhus, några industribyggnader men knappast någon större institutionsbyggnad har provats.

Provningsproceduren finns beskriven i SP Metod 1977:1, förfarandet återges också i Kronvall (1979), en beskrivning av mätutrustning finns i t ex Johansson (1978). Förfarandet skiljer sig något vid mätning på radhus, där luftläckningen in i angränsande lägenheter måste beaktas, se Nylund (1979c) och Lundin (1981).

Såväl tryckprovning av friliggande hus som radhus är av kategorin täthetsprovning vid artificiellt trycktillstånd. Provningsen ger ingen information om hur total otäthet är fördelad på olika delytor, t ex väggar eller tak. Genom att provtrycket valts till 50 Pa ger metoden reproducerbara resultat vid vindhastigheter upp till ca 7 m/s.

Kontorshus och flerbostadshus kan provtryckas med befintliga fläktar. För mätningen krävs att endera av tillufts- eller frånluftssystemen tätas. Undertrycksprovning sker exempelvis i följande etapper:

- . Tilluftssystemet tätas
- . Frånluftssystemet utnyttjas för att ge undertryck. Flödesmätning sker i huvudkanaler - med t ex Prandtlrör
- . Tryckskillnaden över yttervägg mäts på olika nivå för varje fasad med barometer - man får en tryckbild
- . En del av frånluftsfläktarna stängs och tätas för att ge en lägre nivå på undertryck och flöde. Förnyad flödesmätning genomföres
- . Tryckbilderna över ytterväggen bestäms på nytt
- . Läckningskurvan per  $m^2$  yttervägg beräknas ur mätvärden ovan

Metoden har börjat tillämpas i Finland, se Railo (1981), som anger en tidsåtgång på ca 10 mantimmar för ett hus med 20 lägenheter. Bestämningen sker med enkla instrument och kännetecknas av svårigheter att nå hög noggrannhet, speciellt vid otäta byggnader. Utveckling av metoder och instrument är angelägen.

Krav på lufttäthet för byggnadselement finns i SBN. Speciella krav gäller fönster och dörrar. Dessa indelas i olika klasser A, B och C med stigande krav på lufttäthet, täthet mot vatteninträning vid slagregn, samt deformationstålighet. Krav och mätmetoder finns angivna som SIS-standard. Metodbeskrivningen gäller laboratoriemätning i en speciell prov-



rigg och vid väsentligt större tryckskillnader än som vanligen förekommer i praktiken. En sammanställning av fönsterprovningar vid SP ges i Brolin (1980), som även sammanfattar gällande provningsmetoder. Bland speciella elementprovningar i laboratorium kan också nämnas gummilistprovningar av Höglund et al. (1979) och mätningar av läckning genom betongsprickor av Jergling (1981).

Vid fältmätning av tätheten hos byggnadselement används olika former av guarded box, dvs man använder en inre "påse" vars öppning tätas kring provytan, och en yttre vars öppning tejpas en bit utanför denna yta. Tryckskillnaden mellan "påsar" balanseras till noll via en yttre hjälpfläkt, samtidigt som en tryck/flödeskurva upptas genom trycksättning och flödesmätning för den inre "påsen". Metoden finns beskriven i t ex Hedberg (1980).

En metod som utnyttjar Maxwells reciprocitetsteorem kan användas för att bestämma tätheten hos en byggnadsdelytor. Strand (1979) har verifierat metoden experimentellt i laboratorium. Den är ännu inte provad fältmässigt men avses bli en möjlighet till kompletterande stickprov av fasadpartier i kontorshus, se Nylund (1980b). Kvalitativa mätningar kan göras med termokamera, metoden diskuteras i Axen & Pettersson (1979).

Vid luftutbytesberäkningar måste en känd vindtrycksfördelning motsvaras av en känd permeabilitetsfördelning. En avsevärd komplikation är därvid att både vindtrycksfördelningen och permeabilitetsfördelningen egentligen bör hänföras till ytterväggens eventuella luftspalt. En ytterligare komplikation är att läckningen ingalunda behöver ske vinkelrätt genom väggen - det kan förekomma läckvägar i klimathöljets plan.

En framkomlig väg är att som tidigare sagts, relatera tryckmätning och läckmätning till den eventuella luftspalten. Detta kräver dock att luftspalten är tillgänglig för instrumentering. En annan väg är att använda korrelationsanalys på ett stort antal mätningar av yttre vindtryckfördelning och total läckning (spärgasmetod). Klimathöljets permeabilitetskonstant kommer då även att innehålla effekten av vindtrycksreduktionen i luftspalten.

Diskussionen har hittills varit mest tillämpbar för encellsbyggnader. Som en sådan kan vi betrakta ett småhus med öppna innerdörrar. Redan vid stängda dörrar med överluftdon uppkommer inre tryckfall som kan vara av betydelse för luftomsättningen. Problemet blir än mer accentuerat vid "normalfallet" innerdörrar med vanlig tröskel utan överluftdon. Här bör en flercellsanalys göras, vid flerbostadshus är den nödvändig. I samband med flercellsanalys behövs numeriska värden på den inre permeabilitetsfördelningen. Denna kan mätas genom successiv trycksättningsmätning av enskilda celler med samtidig mätning av interntrycken i samtliga angränsande celler.

#### Tryckutjämning i luftspalt

I byggnader med fasadtegel, trä- eller plåtpanel finns det en luftspalt bakom fasadskiktet; "regnkappan". Denna luftspalt står i mer eller mindre direkt kontakt med ytterluften. Beroende på permeabilitetsfördelningen i regnkappan och luftspaltens utformning erhålls en tryckutjämning i luftspalten. Denna utjämning kan troligtvis bli betydande, och ha en stor inverkan på vindens faktiska betydelse som drivkraft för luftutbytet. Som ett exempel kan ses en studie av Lindquist (1980), där mätningar visade att tryckgradienten utanför fasaden hade halverats i luft-

spalten. Luftspaltstrycket kan bara mätas i fullskala genom inbyggnad av tryckslangar; det vore ytterligt vanskligt att försöka uppmäta det i modellskala i vindtunnel.

#### Interstryck

Interstrycket beror av yttre tryckfördelning, byggnadens läckkaraktistik och fläktstyrda flöden. Teoretiskt erhålls det genom en flödesbalansberäkning, se exempelvis Handa et al. (1979). Det kan också, som tidigare sagts, mätas.

#### Läckning vid fluktuerande tryck

Detta område har behandlats av relativt få forskare, några kortfattade kommentarer och litteraturhänvisningar finns i Etheridge et al. (1980). Situationen torde motsvara de experimentella svårigheter som förefinns och den osäkerhet som råder om effekten av tryckfluktuationer. Sannolikt bör ventilationen genom otätheter vid fluktuerande tryck i första hand undersökas i speciella testriggar på laboratorium, där kvantitativa data med god noggrannhet kan erhållas under reproducerbara förhållanden.

#### 4.2.3 Ventilation och ventilationssystem

##### Ventilationsmätning med spårgasteknik

Genom att injicera en lätt detekterbar gas - spårgas - i luft kan ventilationsförloppet studeras. Tekniken, kallad spårgasteknik, finns översiktligt behandlad i Kronvall (1979) och Harrje (1980).

Vanligen används den för att mäta total luftomsättning. Den enklaste metoden är att injicera spårgasen och sedan mäta koncentrationens avtagande med tiden. Avtagandet får ett exponentiellt förlopp vid perfekt omblandning och i encellsstrukturer. Abel et al. (1979)

beskriver ett automatiserat förfarande med mikrodator. Metoden mäter egentligen luftomsättningen; för att beräkna motsvarande luftflöde måste man veta volymen av deltagande gas. Här kan stora osäkerheter uppkomma.

Som alternativ till mätningen av koncentrationsminskning finns olika former av kontinuerlig spårgasteknik - med konstant koncentration eller med konstant injiceringsflöde av spårgas. Den förra varianten är lättare att utvärdera och passar utmärkt att använda i flercellsstrukturer, se exempelvis Collet (1981). Man mäter dock bara friskluftstillförseln - inte överluften till t ex ett badrum.

I kombination med kanalmätning av ventilationsflöden ger spårgastekniken möjlighet att bestämma den oavsiktliga ventilationen.

Spårgasteknik används också för att mäta ventilations-effektiviteten, dvs hur uteluft inblandas i rumsluften och kommer t ex vistelsezonen tillgodo. En närmare behandling av begreppet ges i en introduktion av Sandberg (1981a) och en fördjupad diskussion i Sandberg (1981b).

#### Ventilationssystem i bostäder

Olika, i bostäder förekommande ventilationssystem är S, F och FT system. Det sistnämnda systemet försett med värmeväxlare betecknas FTX. S och FTX systemen är ofta kombinerade med en separat köksfläkt eller imkåpa. Skälen för detta arrangemang är att otillfredsställande ventilation respektive risk för nedsmutsning av värmeväxlaren annars kan uppkomma.

I SBN finns bestämda krav på systemval, installation och injustering.

### Ventilationskomponenter

Ventilationsfläktar är vanligen av radialtyp, som är lättare att reglera och ger en högre tryckstegring än axialfläktarna. De minsta typerna - för enbostads- hus - är direktdrivna av enfasmotorer. Varvtalet kan vanligen regleras via en tyristor eller reglerbar transformator. Större typer drivs av trefasmotorer över remtransmission. Flätkapaciteten ges i ett fläktdiagram. Genom tryckstegringen över fläkten och tryckfallet i kanaler och don blir luftflödet genom fläkten ganska oberoende av yttre vind och temperaturförhållanden. Nätspänningsvariationer och avlagringar på fläkthjulen kan inverka avsevärt på luftflödet.

Kanaler byggs av runda spiralfalsade spirorör. Större dimensioner byggs av rektangulära element. I SBN finns krav på kanaltäthet och täthetsprovning, se också Vent AMA. Provningstvånget för kanaltäthet bortfaller vid användningen av typgodkända gummiringstättade kanaldelar i täthetsklass A.

Metoder för flödesmätning i kanaler finns noggrant beskrivna i Svensson (1977). En godtagbar metod är kanaltraversering med pitotrör eller varmtrådsanemometer. Bekvämast är att använda i kanalsystemet inbyggda flödesmätton. Kanalflödet injusteras via fläktarna eller genom speciella injusteringspjäll.

Tilluftsdon injusteras genom variation av spaltöppning. I regel har fabrikanterna tagit fram en speciell utrustning för mätning av donflödet, ofta bestående av en spaltbreddsmätare och en tryckfallszond. Man kan också använda den i Svensson (1977) beskrivna påsmetoden. Varmtrådsanemometrar med mätstos är olämpliga.

Frånluftsdon injusteras i likhet med tilluftsdon. Frånluftsflödet kan mätas med varmtrådsanemometer försedd med mätstos.

Överluftsdon. Ofta stipuleras funktionen i form av en spaltarea. Genom det ringa tryckfallet är en noggrann flödesmätning svår.

Uteluftsdon. En marknadssammanställning och mätning av spridningsbilden på uteluftsdon har gjorts av Eriksson et al. (1978).

#### Förslitning, nedsmutsning och skötsel

Alla tekniska system behöver någon form av skötsel och tillsyn för att fungera tillfredsställande. Ventilationssystemet är inget undantag. Tyvärr visar sig inte gradvisa försämringar med den dramatik som t ex ett läckande vattensystem har, varför försämringen kanske inte ens uppmärksammas, långt mindre åtgärdas. För småhus gäller att fläktarna har en livslängd på ca 5 år, att filter måste bytas med något halvårs mellanrum och att ventilationsvärmewäxlaren kan behöva en grundlig rengöring någon gång per år. Görs inte detta, och injusteras inte anläggningen ordentligt efter ingrepp i dess funktion, kommer den inte att fungera på avsett sätt. Ett steg i rätt riktning har tagits genom att myndigheterna nu kräver en läslig skötselinstruktion till varje anläggning.

Dessa aspekter är viktiga när vi diskuterar energibesparing och komfort på sikt, och bör följaktligen i någon form ingå i en konsekvensanalys.

### Ventilation i övrig bebyggelse

Ventilation i övrig bebyggelse behandlas inte eftersom den oavsiktliga ventilationen är av underordnad betydelse, eller måste behandlas utifrån olika specialförutsättningar.

#### 4.2.4 Brukare

Brukarens beteende har inverkan på luftomsättningen i samband med

- . fönstervädring
- . öppnande av ytterdörrar
- . ingrepp i ventilationssystemets tänkta funktion och
- . bristande skötsel och underhåll

Stora svårigheter föreligger att kvantifiera brukarens inverkan, inte minst genom att brukarvanorna i sig självt har stor spridning och dessutom påverkas av aktuella tekniska system.

Flera försök att urskilja energianvändningsbestämmande mönster i brukarvanorna har gjorts, se t ex Bjerrome (1978). Några undersökningar har inriktats på delfrågor. Vädringsvanor och energiförlust vid vädringsvanor behandlas av Lyberg (1982); energiförlusten vid öppnande av ytterdörrar behandlas av Johannesson (1978). En noggrann bestämning av energiförlusten vid vädring och öppning av dörrar bjuder avsevärda teoretiska och experimentella svårigheter, ett intryck av sådana studier är att betydelsen av tillhörande energiförlust övervärderas. Genom montering av magnetkontakter i fönster och dörrar är det lätt att övervaka öppningstider. Sådana magnetkontakter används också regelmässigt i försök. För att kunna uppskatta vädringsförlusterna behövs också åtminstone uppgift

om öppningsvinkeln. Några sådana givare tycks dock ännu inte ha använts i fullskaleförsök.

Vid genomförande av undersökningar i fullskala bör man vara observant på att ingrepp i ventilationssystemets tänkta funktion är ytterst vanliga. Dessa aktiviteter skall givetvis inte förhindras eller motarbetas, då de ger värdefulla uppgifter om ett systems svagheter i praktiskt bruk. Oftast är det komfortproblem i form av drag, buller eller känsla av "dålig luft" som ligger bakom ingripanden. Det finns talrika exempel på att sådana komfortproblem drastiskt ändrat ett systems förment energibesparande effekt genom brukaringripande.

Resonemanget ovan illustrerar de svårigheter som förefinns att simulera brukarnas inverkan på totalsystemet och nödvändigheten av att förhållandena beaktas.

Frågeställningar beträffande brukarattityder är i väsentliga avseenden ännu obesvarade. Detta är en svårighet både när det gäller formulering av funktionskrav och vid utarbetande av kontrollsystem för ventilationsprocessen.

Väsentliga delar av erforderliga insatser ligger här på informationsplanet. Kompletterande studier synes i första hand behöva ägnas

- . attityder till olika åtgärder för att reglera ventilationen till lämplig nivå.
- . brukares vädringsvanor och vädringstendenser vid olika ventilationssystem och variation i injustering av värme- och ventilationssystem.



### 4.3 Experimentella studier

De viktigaste parametrarna i totalsystemet täthet och ventilation har beskrivits i kap. 4.2. Genom experimentella studier, både i fält och modellskala, har man sökt klarlägga systemsamband, både för totalsystemet och för några viktigare delsystem. Genom studierna får man

- en exemplifiering av verkliga parametervärden
- möjlighet att studera effekterna av systemändringar
- indata till matematiska modeller
- möjlighet att verifiera matematiska modeller.

Många undersökningar har gjorts för ett speciellt ändamål och kan därför ha ett begränsat allmänt intresse. För att få en överblick över mängden användbart material har en kortfattad inventering utförts.

Inventeringen har gjorts genom litteraturstudier och genom direkt kontakt med forskare inom området. Den redovisas i tabellform. Förutom studier av totalsystem medtages några viktigare studier av delsystem. Inventeringen, med en tonvikt på skandinaviskt material, gör inga anspråk på att vara heltäckande. För totalsystem delas den upp i enbostadshus samt flerbostadshus och kontor.

För att försöka vidarebefordra en uppfattning av materialets användbarhet för vidare studier har följande, något subjektiva skala för mätbara egenskaper tillämpats:

- Ej medtagen
- 1 - Finns med som en kvalitativ bedömning
- 2 - Kvantifierad men ofullständig; låg upplösning; låg mätnoggrannhet
- 3 - Kvantifierad med tillräcklig noggrannhet för direkt användning i konsekvensanalys
- 4 - Utmärkt upplösning/mätnoggrannhet
- ( ) Möjlig att uppnå efter bearbetning av rapportens originaldata.

Rapporterade undersökningar berör till överväldigande del småhus. Detta skall inte ses som en genomtänkt nationell prioritering av forskningen, utgående från energibesparingspotentialen.

Det är visserligen sant att luftutbytet i småhus är speciellt känsligt för skiftande väderlek och lufttäthet, men tyngdpunkten för besparingspotentialen ligger ändå hos flerfamiljshus, kontor och industribyggnader.

En inriktning på småhus kan däremot motiveras med forskningens behov av hanterbara mät- och beräkningsobjekt under den snabba metodutveckling som nu sker. Ett sådant utvecklingsarbete bör kunna ge de verktyg som behövs för analys också av mera komplicerade byggnader.

#### 4.3.1 Enbostadshus

En sammanställning av några rapporterade projekt finns i tabell 4.3.1; av pågående projekt i tabell 4.3.2. Tabellerna avser att belysa omfattning och fullständighet, i viss mån även mätkvalitet hos befintligt mätmaterial, samt visa vilka projekt av intresse som pågår och vad de kan förväntas ge för resultat.

Av tabell 4.3.1 framgår att ingen undersökning är så fullständig att den kan ge tillräckligt underlag för en beräkningsmodell. Gustén et al. (1978) är den mest omfattande för svenskt vidkommande, svagheter ligger i bestämningar av vindtrycks- och täthetsfördelningen och mätfel i bestämning av fläktventilationsflöden.

Pågående projekt enligt tabell 4.3.2 synes komplettera varandra på ett utmärkt sätt. Den mest detaljerade undersökningen, men begränsad till ett hus, görs av Lindquist (1978), en motsvarande undersökning med lägre detaljeringsgrad men med fler objekt görs av Gustén et al. (1981). Båda kompletteras med omfattande vindtunnelprov och teoretiska beräkningar. Svensson (1981) ger mätningar med hög kvalitet på total luftomsättning och fläktflöden och Blomsterberg et al. (1980) supplerar med ventilationskomfort; i en långtidsstudie med kontinuerlig spårgasteknik.

Tabell 4.3.1 Enbostadshus, rapporterade projekt

Projektnamn	Gustén, J., Johansson, Ch.(1978) Täthet och ventilation.	Elmroth, A., Höglund, I.(1970) Analys av ofrivillig ventila- tion i småhus	Gids, F. De W., Schijndel Van, L.L.M., Jaap, A.T.(1979). Wind tunnel and on-site pressure distribution measurements on a house and its effect on infiltration
Omfattning	33 hus, två mätomgångar	Mätningar i fem provhus	Längtidsmätningar i lägenhet i ett tre-våningshus
<u>Klimat och terräng</u>			
Regionklimat	: vindhastighet (3)	-	3
	: vindriktning (3)	-	3
	: temperatur (3)	-	3
Topografi	2	-	-
Lokalklimat	: vindhastighet 3	3	-
	: vindhastighetsprofil 3	-	-
	: vindturbulens -	-	-
	: vindriktning 2	3	-
	: temperatur 3	3	-
	: solinstrålning -	-	-
	: vegetation -	-	-
<u>Byggnad och bebyggelse</u>			
Bakgrundsfakta	: husgruppering -	-	3
	: hus 3	3	3
Tryck	: vindtrycksfördelning 2	-	2
	: formfaktorfördelning -	-	2
	: luftspaltstryck -	-	-
	: inomhustemperatur 3	3	3
Täthet	: total lufttäthet $n_{50}$ 3	-	-
	: yttre permeabilitetsfördelning -	-	-
	: inre permeabilitetsfördelning -	-	-
	: interntryck 2	-	-
<u>Ventilation och ventilationssystem</u>			
Total luftomsättning	3	3	3
Luftomsättning i enskilda rum	-	-	-
Ventilationseffektivitet	-	-	-
Ventilationssystem (S, F, FTX, A, Te, där A betecknar avstängt, Te tejpät system)	Te, F	S, Te	S
Variation i fläktflöden	2 st	-	-
Kanalmätt flöde	-	-	-
Flöde mätt i tilluftsdon	-	-	-
Flöde mätt i frånluftsdon	2	-	-
<u>Brukare</u>			
Brukarvanor, intervju	3	-	-
Koppling till teoretiska studier	Nej	-	-
<u>Kommentar</u>		Utgående från mätresultaten har genom regressionsanalys samband tagits fram för luftomsättningens vind- och temperaturberoende	Bebodd lägenhet med oregelbunden form belägen i ett tre-våningshus vid Nordsjön. Mindre än 10 tryckmätpunkter in-kopplade. Fönster-öppning registrerades. Vindtunnelmätningar av yttre formfaktorer med och utan simulering av omgivande byggnader. Inverkan av fönster-öppning på intern-trycket

Tabell 4.3.2. Enbostadshus, pågående projekt

Projektnamn	Lindquist, Thomas (1978): Årlig ventilationsförlust i småhus, CTH, Byggnads-konstruktion	Gustén, J, Handa, K. (1981): Mikroklimat och ventilation, CTH, Byggnadskonstruktion	Svensson, A (1981): Värmeåtervinning ur ventilationsluft SIB, Gävle	Blomsterberg, A, Lundin, L (1980). Luftomsättning, täthet, klimat. Statens Provningsanstalt, Borås
Omfattning	Årsvisa mätningar i ett hus	2-3 småhus	31 radhus i Skellefteå/16 med F-system, 15 med FTX-system	Ca fem hus

Klimat och terräng

Regionklimat	:	vindhastighet	3	3	-	(3)
	:	vindriktning	3	3	-	(3)
	:	temperatur	3	3	-	(3)
Topografi			3	3	-	-
Lokal klimat	:	vindhastighet	3	3	3	3
	:	vindhastighetsprofil	3	3	-	-
	:	vindturbulens	-	3	-	-
	:	vindriktning	3	3	3	(3)
	:	temperatur	3	3	3	3
	:	solinstrålning	-	-	-	-
	:	vegetation	3	3	-	-

Byggnad och bebyggelse

Bakgrundsfakta:	husgruppering, hus	-	3	-	3
	: hus	4	3	3	3
Tryck	: vindtrycksfördelning	4	3	-	2
	: formfaktorfördelning	4	3	-	-
	: luftspaltstryck	4	-	-	-
	: inomhustemperatur	4	3	3	3
Täthet	: total lufttäthet $n_{50}$	4	3	3	3
	: yttre permeabilitetsfördelning	3	-	-	2
	: inre permeabilitetsfördelning	3	-	-	1
	: intertryck	4	3	-	3

Ventilation och ventilationssystem

Total luftomsättning	3	3	3	3
Luftomsättning i enskilda rum	3	-	-	3
Ventilationseffektivitet	-	-	-	-
Ventilationssystem A, Te, S, F, FTX (A betecknar avstängt, Te tejpät system)	Te, S, F, FTX	F, ev. FTX	F, FTX	S, FTX, F
Variation i fläktflöden	2 st	Nej	Nej	1 st
Kanalmätt flöde	4	?	3	3
Flöde mätt i tillluftsdon	3	-	3	2
Flöde mätt i frånluftsdon	3	2	3	2

Brukare

Brukarvanor, intervju	4	Nej	-	i huvudsak obebodda hus
Koppling till teoretiska studier	4	Ja	-	Ja

Kommentar

Studier kopplas till vindtunnelmätningar i samarbete med SIB

Studien kopplas till vindtunnelmätningar i samarbete med SIB samt till komfortstudie av vindfluktuationernas betydelse för utomhus-klimatet

Endast en delredovisning publicerad. I denna diskuteras luftflödernas och energiverkningsgradens temperaturberoende. Ventilationen är noggrant injusterad. Drag- och behag i F-husen ligger bakom en av brukarna åstadkommen nedstrypning av flöden genom springventilerna

Projektet innefattar instrumentutveckling, långtidsmätning med konstant spårgasteknik samt framtagning av beräkningsmodell

#### 4.3.2 Flerbostadshus och kontor

Ett stort intresse har visats för luftutbytet i höga byggnader, som dels är exponerade för höga vindhastigheter, dels har en betydande skorstens-effekt.

Shaw et al. (1977) redovisar beräkningar av luftutbytet hos en hög, fristående kontorsbyggnad med relativt öppna våningsplan och utan fläktar. Yttre formfaktorer har bestämts i vindtunnel med gränsskiktssimulering. I beräkningarna tas hänsyn till yttre och inre strömningsmotstånd baserade på uppmätta värden. Analysen utmynnar i överslagsformler för luftutbyte med tryckbilder baserade på vind och temperaturskillnad, separat och i kombination. Överslagsformlerna är knutna till den aktuella byggnadstypen, en mer generell iakttagelse är att läverkan från andra byggnader avsevärt kan minska luftutbytet. Är byggnaderna lika höga och på ett avstånd av tre gånger hushöjden minskar luftutbytet p g a vindtryck med 60%.

I Shaw (1979) har studien utvidgats till att gälla en hög kontorsbyggnad omgiven av lägre bebyggelse med ensartad höjd och på inbördes avstånd motsvarande kvartersbildningar. I likhet med föregående studie presenteras överslagsformler för luftutbytet baserade på datorberäkningar. Den omgivande bebyggelsens höjd inverkar i hög grad på luftutbytet. När den varierar från noll till den studerade kontorsbyggnadens höjd minskar luftutbytet med en faktor 2,3. Andra höga byggnader måste ligga på ett avstånd av 8 ggr hushöjden för att inte inverka på luftutbytet.

Honma (1975) redovisar en undersökning av luftutbytet i två sextonvåningars bostadshus i Stockholm,

det ena försett med F- och det andra med FT-system. Luftutbytesberäkningar har skett med ett flercellsprogram. I programmet har exponenten i den vanliga flödesekvationen enligt ansatsen  $v = a \cdot \Delta p^{1/\beta}$  modifierats enligt ansatsen  $\beta = 2 - e^{-5a\Delta p}$ . Ansatsen bygger på laboratorieundersökningar av lufttransporten genom springor och otätheter. Jämfört med resultaten för ett vanligt värde på  $\beta = 1.5$  fås i ett testfall en ungefär tioprocentig ändring av lägenheternas luftväxling, inverkan på interntrycken är ännu större. Luftväxlingen mellan rum i enskilda lägenheter undersöktes genom intermittent förgasning av torris. Rapporten saknar beräkningar av ventilationsförluster vid olika vädersituationer men innehåller värdefullt basmaterial för vidare undersökningar av teoretisk och experimentell art.

Generella slutsatser av resultat från detaljerade undersökningar av enskilda byggnader skall dras med försiktighet, då det i praktiken finns mycket stora skillnader i yttre och inre täthetsfördelning och systemfunktion mellan olika byggnadskategorier och enskilda objekt. Nämnda undersökningar har sitt stora intresse genom metodbeskrivningar och som orientering inför en allmän tillämpning. Beslut om energibesparande åtgärder i flerbostadshus och kontor grundas lämpligen på en aktuell energibalans för objektet i fråga. Såväl framtagning av energibalansen som valet av åtgärdspaket utifrån tekniska och ekonomiska realiteter kräver stort omdöme och erfarenhet hos projektören. Genomförda åtgärder visar i flertalet fall en mycket god lönsamhet för denna byggnadskategori.

Byggnadsstyrelsen, såsom en av landets största och kunnigaste byggherrar och fastighetsförvaltare,

har visat stort intresse för genomförandet av sådana åtgärds paket, och har också tillsammans med sina konsulter initierat brett upplagda metodutvecklingsarbeten inom området. Ett sådant pågående projekt, Byggnadsstyrelsen och Tyréns (1981) syftar till att finna:

- . förenklade mätmetoder för täthet, flöden, tryck och temperaturer
  
- . samband mellan klimatdata, energiförbrukning och teoretisk energiförlust, bland annat för att undersöka om klimatstationsmätta klimatdata kan ersätta platsmätta.

Ett annat pågående projekt, vars uppläggning beskrivs i Franzén et al. (1981), syftar till att ta fram åtgärds paket för ett bostadsområde i Sundbyberg. Åtgärderna utförs i etapper och kontrolleras genom mätningar och jämförelser mot referenshus. Av speciellt allmänt intresse kan här vara utvecklingen på mätmetodsidan, bland annat har framtagits en speciell temperaturintegrator användbar för energiförlustberäkning vid S-ventilation. Instrumentet mäter tidsintegralen av temperaturskillnaden inne ute upphöjd till en exponent valbar mellan 1.6 och 1.9.

Underlag för åtgärder kan också erhållas på mer indirekt väg. Rose (1981) redogör för en metod som baseras på täta avläsningar av förbrukningen av olika energislag. Genom en datorbaserad analys med korrelation till väderfaktorer anser man att energiförbrukningen kan spaltas upp i väderberoende och väderoberoende energiförbrukning. Byggnadens energistatus och potentiella besparingsmöjligheter kan sedan utläsas ur energiförbrukningsmönstret.



### 4.3.3 Delstudier

#### Lufttäthetsmätningar

På initiativ av BFR:s Täthetsgrupp har ett särskilt register lagts upp över täthetsmätningar. Registret handhas av Johnny Kronvall, Statens Provningsanstalt, Lund, och är uppbyggd på data kring ett särskilt rapporteringsformulär som tillhandhålls från honom. I november 1981 fanns i registret data från ca 230 mätobjekt. Påspädningen av data sedan 1979 har varit blygsam.

Data finns också samlade hos de grupper som utför lufttäthetsmätningar:

- Statens provningsanstalt i Borås och dess avdelningar i Stockholm och Lund
- Statens institut för Byggnadsforskning, SIB, i Gävle
- Flera institutioner vid de tekniska högskolorna
- Riksbyggen, ABV
- Privata konsultfirmor
- Småhusfabrikanter, t ex Hjärtevadshus, LB-hus, Modulent

Bergström (1978) redovisar en enkätundersökning bland Träförädlingsbyråns medlemsföretag. Enkäten speglar bredden i företagets ambitioner på produktutveckling, och dessutom de resultat som erhållits av utvecklingsarbetet på täthetssidan. Det torde idag inte vara någon svårighet att uppnå normenlig täthet, medan flera företag ställer sig tveksamma till lönsamheten i ytterligare skärpning. Lundin (1981) redovisar mätningar på radhus med och utan hjälptryck i angränsande radhuslägenheter. Resultaten visar på de täthetsskillnader som finns mellan konstruktionslösningar där plastfolien i ytterväggen avbryts mellan

lägenheterna och där den får fortsätta obruten utefter hela radhuslängan. Metoden med hjälptryck kan sägas vara det principiellt riktiga provtrycksförfarandet, då det metodmässigt jämför radhus med flerbostadshus.

Provning av industribyggnader ställer sig i många fall svår att genomföra och har veterligen endast utförts i ett fåtal fall. För lättbetonghallar redovisas mätresultat från tolv industrihallar av olika typ av Dahl (1981). Mätningarna visar stor spridning och avslöjar en påtaglig inverkan av portinfattningarnas otätheter.

#### Ventilationsmätningar

Något samlat register på ventilationsmätningar med spårgasteknik har inte lagts upp. Data finns därför bara samlade hos de grupper som utför mätningarna. Grupperna är i huvudsak desamma som tidigare listats för täthetsmätningar. De använder samtliga avklingningsmetoder med  $N_2O$  som spårgas. Utrustning för mätning med konstant koncentration finns dessutom vid SIB, SP Borås samt LTH Byggnadskonstruktionslära.

Mätresultat har publicerats i skilda sammanhang, ofta i samband med bredare undersökningar. En studie speciellt inriktad på ventilationsförhållanden i flerbostadshus med självdrag har genomförts av Eriksson et al. (1980). Studien har genomförts i 48 lägenheter belägna i trevåningshus i Uppsala och med syfte att ge underlag för att klarlägga radonhalt och radonutspädning. Studien visade som väntat stor spridning mellan enskilda mätvärden men en fast utetemperaturberoende tendens med totala luftomsättningar om 0.49, 0.41 och 0.36 oms/h för kall, medelvarm och varm mätperiod. Någon större skillnad mellan värden för bottenvåningen och tredje våningen fanns inte.

### Samtidig mätning av lufttäthet och ventilation

Hammarsten & Pettersson (1981) redovisar i ett referat av Axén & Pettersson (1979), Hammarsten och Persson (1980) samt Hammarsten & Pettersson (1980), en undersökning av tätheten och isolerutförandet i äldre hus. Undersökningen omfattade 68 småhus och 23 flerfamiljshus som fått statligt energisparstöd. Undersökningen visar framförallt på problem med tätheten hos fönster och dörrar och ger relativt höga otätheter -  $n_{50} = 8.5$  för småhusen, 6.3 för flerbostadshusen. Konstruktionsmässigt visade sig lättbetonghusen bäst, plank och timmerhusen sämst. Samtidigt gjorda spargasmätningar visade som väntat ett svagt samband mellan luftomsättning och täthetsnivå, intressant var att tegelhus och inte lättbetonghusen visade den lägsta luftomsättningen - kanske en illustration till luftspaltens betydelse som tryckutjämnare. Något klart samband mellan luftomsättning och uppmätt vindhastighet fanns inte.

#### 4.4 Teoretiska studier

För att klarlägga de kvantitativa sambanden i komplexet omgivning, byggnad och ventilation och för att snabbt kunna bestämma inverkan av systemändringar behövs teoretiska modeller. I sin enklaste form kan de göras i form av grafiska samband, se t ex Nylund (1979), och åskådliggör då viktiga principiella förhållanden beträffande fläktstyrd och oavsiktlig ventilation.

Vid en mer förfinad systemanalys blir antalet variabler snabbt så stort att datorbaserade beräkningsmetoder krävs. Viktiga parameterförhållanden är olinjära varför ingående ekvationssystem behöver lösas med passningsräkning.

Man kan skilja mellan encellsmodeller och flercellsmodeller. Encellsmodeller medger beräkning med bordsdatorer eftersom de kräver relativt litet minnesutrymme. De kan tillämpas när en byggnads inre otätheter i förhållande till de yttre är stora, exempelvis i hallbyggnader och småhus med öppen planlösning. Redan för småhus med stängda innerdörrar kan användbarheten diskuteras, speciellt för självdragssystem i vilka de naturliga drivkrafterna är svaga.

Flercellsmodeller får i sin generella form en mer komplex uppbyggnad och ger större numeriska svårigheter då de innebär passningsräkningar för kopplade system.

Största problemen med datorprogrammen ligger ändå inte på den numeriska sidan utan på att formulera lämpliga parametriska samband och att ge realistiska ingångsdata. Där numeriska uppgifter om ingångsdata saknas, kan man genom en känslighetsanalys, dvs genom beräkningar inom ett troligt intervall, konstatera betydelsen av de saknade uppgifterna.

I tabellerna 4.4.1 och 4.4.2 lämnas uppgifter om några olika encells- och flercellsprogram. Uppgifterna omfattar dels en granskning av programmens nyansering och användbarhet, dels en översikt över de beräkningsresultat som framkommit vid användningen. Redan mot denna bakgrund kan konstateras att många program framtagits för ett specifikt ändamål och därför kanske inte så lätt kan användas och modifieras av utomstående.

För att i någon mån kunna kvantifiera omfattningen av parameterbehandlingen har denna bedömts utifrån en fyragradig skala på samma sätt som tillämpats i 4.3.

Av tabellerna framgår att inget av encellsprogrammen i sin nuvarande utformning är klart för en mer generell användning. Önskvärda justeringar är dock lätta att åstadkomma programmässigt, möjligtvis med undantag för korrektionen för fluktuerande vindtryck. Problemen ligger på indatasidan, varför utvecklingsarbetet i första hand bör ske i kopplingen till verifierade fullskaleexperiment innan alltför långtgående slutsatser dras av beräkningsresultaten.

Av flercellsprogrammen är det bara det av Etheridge som kan sägas vara testat mot fullskaleförsök. Programmet är också intressant genom att det, låt vara schematiskt, tar med inverkan av fluktuerande vindtryck. Testobjektet, ett friliggande engelskt småhus har från våra vanliga förhållanden så skilda täthetsegenskaper och ventilationssystem, att testet inte nödvändigtvis konfirmerar programmets användning för svenska huskonstruktioner. Det bör dock kunna ge ett värdefullt bidrag vid utvecklingen av en "svensk" beräkningsmodell. Problemen med indata är här naturligtvis än mer accentuerade än i encellsprogrammen.

Tabell 4.4.1 Datorprogram för encellsmodeller

Dokumentation	Lindquist, T Bergentstjerna, A (1979)	Handa, K, Gustén, J (1981)	Larm, S (1979, 1981)			
Beräkningsmodell	Flödesbalans genom iteration	Flödesbalans genom iteration	Flödesbalans genom iteration			
Språk	HP-Basic	Fortran	Fortran IV			
Dator	Hewlett Packard 9835	IBM	Control data 6600			
Programmanual	Nej	Nej	Nej			
Verifiering av beräkningsmodell	Nej	Nej	Nej			
<u>Klimat och terräng</u>						
	Program	Beräkningar	Program	Beräkningar	Program	Beräkningar
Regionklimat : vindhastighet	Ja	3	-	-	-	-
: vindriktning	Ja	3	-	-	-	-
: temperatur	Ja	3	-	-	-	-
Topografi	-	-	-	-	-	-
Lokalklimat : vindhastighet	Ja	3	Ja	3	Ja	2
: vindhastighetsprofil	Ja	2	Ja	2	-	-
: vindturbulens	-	-	-	-	-	-
: vindriktning	Ja	3	Ja	2	Ja	2
: temperatur	Ja	3	Ja	-	Ja	3
: solinstrålning	-	-	-	-	-	-
: vegetation	-	-	-	-	-	-
<u>Byggnad och bebyggelse</u>						
Bakgrundsfakta: husgruppering	-	-	-	-	Nej	-
: hus	Ja	3	Ja	3	Ja	2
Tryck : Formfaktor fördelning	Ja	2	Ja	2	Ja	2
: Vindtrycksfördelning	-	2	Ja	-	Ja	2
: Luftspaltstryck	-	-	-	-	-	-
: inomhustemp.	Ja	3	Ja	3	Ja	3
Täthet : total lufttäthet $n_{50}$	Ja	3	Ja	3	Ja	3
: yttre permeabilitetsfördelning	Ja	2	Ja	2	Ja	2
: internttryck	Ja	3	Ja	-	Ja	-
<u>Ventilation och ventilationssystem</u>						
Total luftomsättning	Ja	3	Ja	3	Ja	3
Ventilationssystem S, F, FTX, A, Te (där A betecknar avstängt, Te tejpät system)	F,FTX,A,Te	F,FTX	F,FTX,Te	F,Te	F,FTX,Te	F,FTX,Te
Variation i fläktflöden	Ja	1 st	Ja	1 st F	Ja	4
Självdraagsflöden	-	-	-	-	-	-
<u>Brukare</u>						
Brukarsimulering	-	-	-	-	-	-

Kommentar

Programmet är speciellt framtaget för att "Översätta fönsters lufttäthet till energimått. Det ger som biprodukt oavsiktlig ventilation. Använda formfaktorer är baserade på vindtunnelmätningar.

Programmet innefattar en känslighetsanalys av luftutbytet vid uppmätta vindtrycksfördelningar. I det fortsatta arbetet kommer även luftflöden och luftutbyte att mätas

Programmet innefattar en känslighetsanalys av ventilationsförhållanden i småhus. Internttryckets inverkan på kanalflöden medtages genom att kanalmotstånd och fläktkurvor finns inlagda i programmet. Beräkningsresultaten pekar speciellt på betydelsen av att uteluftventilernas inverkan beaktas vid F-system, samt pekar på problem med luftfördelning vid ojämn yttre permeabilitetsfördelning.

Tabell 4.4.2 Datorprogram för flercellsmodeller

	Dokumentation	Etheridge, D.W., Alexander, D.K. (1980). Se även Etheridge, D.W., Nolan, J.A. (1979)	Bergström, S. (1981)	Larsen, B.T. (1974a,b)
Beräkningsmodell		Flödesbalans genom iteration, påslag för tryckfluktuationer	Tryck- och flödesbalans genom iteration	Flödesbalans genom iteration
Språk		Fortran	Anmärkning: I rapporten ges underlag för en framtida programmering	Fortran IV
Dator		Univac 3000, CAI Alpha minidator		Univac 1108
Programmanual		Nej		Ja
Verifiering av beräkningsmodell		Ja, utmärkt mätunderlag i form av vindtunnel- och fullskalemätningar		-
<u>Klimat och terräng</u>				
	Program	Beräkning	Program	Beräkning
Regionklimat	: vindhastighet	-	-	-
	: vindriktning	-	-	-
	: temperatur	-	-	-
Topografi		-	-	-
Lokalklimat	: vindhastighet	Ja	3	Ja
	: vindhastighetsprofil	-	-	Ja
	: vindturbulens	Ja	2	-
	: vindriktning	Ja	3	Ja
	: temperatur	Ja	3	Ja
	: solinstrålning	-	-	-
	: vegetation	-	-	-
<u>Byggnad och bebyggelse</u>				
Bakgrundsfakta	: husgruppering	-	3	-
	: hus	-	3	Ja
Tryck	: Formfaktor-fördelning	Ja	3	Ja
	: Vindtrycks-fördelning	Ja	3	Ja
	: luftspaltstryck	-	-	-
	: inomhustemp.	Ja	3	Ja
Täthet	: total lufttäthet nsg	Ja	3	Ja
	: yttre permeabilitets fördelning	Ja	3	Ja
	: inre permeabilitets fördelning	Ja	3	Ja
	: intertryck	Ja	3	Ja
<u>Ventilation och ventilationssystem</u>				
Total luftomsättning		Ja	3	Ja
Luftomsättning i enskilda celler		Ja	3	Ja
Ventilationssystem S, F, FTX, A, Te (där A betecknar avstängt, Te tejpät system)		S, F, FTX, Te	S, Te	S, F, FTX, Te
Variation i fläktflöden		Ja	-	Ja
Självdragsflöden		Ja	-	Ja
<u>Brukare</u>				
Brukarsimulering		-	-	-
<u>Kommentar</u>		I programmet skiljer man mellan flöde genom avsiktliga öppningar, komponentspringor och övriga öföretter "background leakage area". En konsistent (sort-riktig) teori används för varje läckslag. Vid balansräkningen antas kvastationära förhållanden råda, med tider i storleksordningen 10 minuter. Inverkan av fluktuerande tryck på komponentspringor baseras på vindtunnelundersökningar. Permeabilitetsfördelning är uppmätt genom korrelation av luftomsättningen i flercellsstrukturen		Programmet är avsett för ventilationsberäkningar, varvid yttre läckvägar, vindtryck och termik kan medtagas. Användarmanual finns. Programmet är fritt tillgängligt. Ett beräknings exempel presenteras

#### 4.5 Forskningsbehov

Vi har tidigare indentifierat ett antal viktiga parametrar i totalsystemet och sett hur dessa används i experimentella och teoretiska studier. En sammanfattning av brister och luckor i vårt kunskapsunderlag kan därför göras. Nedanstående genomgång av forskningsbehov begränsas till önskvärda insatser för att utveckla experimentell och teoretisk metodik vid analys av totalsystemets funktion och av olika tätningsåtgärders konsekvenser.

##### ○ Framtagning av klimatstatistik.

Klimatstatistiken bör som minimum innehålla samvariationen mellan utetemperatur, vindhastighet och vindriktning, och göras upp för ett rikstäckande nät klimatstationer. Den bör innehålla:

- . 6 timmarnsvärden i tidsföljd för enskilda år
- . frekvenstabeller för klassindelade klimat-element, årsvis och för uppvärmningssäsong
- . frekvenstabeller för klassindelade klimat-element för 30 års medelvärden; årsvis och för uppvärmningssäsong

För användning i en djupare analys bör för några orter dessutom medtas solinstrålning; direktmätt eller beräknad utgående från molnstatistik.

Arbetet bör utföras av SMHI i samråd med SIB och CTH.

- Metoder för "översättning" av klimatdata från SMHI till lokalklimat.



Det saknas idag systematiska anvisningar för hur en sådan översättning av klimatdata skall tillgå. Härigenom begränsas användbarheten av klimatstatistik till att strängt gälla i klimatstationens närhet. Situationen är djupt otillfredställande och kan medföra stora fel i indata till ventilationsanalys och tolkningsfel vid utvärdering av fullskalemätningar.

- Utvärdering av den yttre luftspaltens betydelse.

Luftspalten ger både en utjämning av vindtrycket och ett termiskt betingat tryck vid solbelysta fasadytor. Storleksordningarna bör exemplifieras genom fullskalemätningar.

- Inverkan av terrängtyp, bebyggelse och vegetation på en byggnads formfaktorer.

Utgående från en lokal vindhastighet är målet att dels ge uppgifter om rimliga vindtryck på byggnader med olika form, dels ge vägledning om storleksordningen på den reduktion av vindtrycket som olika former av vindskyddande element kan ge. Undersökningen utföres lämpligen i vindtunnel med referens till fullskalemätningar. I studien bör ingå en bedömning av hur den atmosfäriska skiktningen kan påverka vindtrycksfördelningen.

- Inverkan av fluktuerande vindtryck på en byggnads luftomsättning.

Undersökningen bör redovisa inverkan av fluktuerande tryck på olika typer av otätheter, och

hur detta skall kunna medtas i de beräkningsprogram som utvecklas för luftomsättningsberäkningar under kvasistationära förhållanden. I arbetet bör ingå exemplifieringar av vindhastighets- och tryckfluktuationernas effektspektrum för olika byggnader och under olika atmosfäriska förhållanden.

○ Utveckling av spårgasmetoden.

Utvecklingen av spårgasmetoden synes ske efter linjen datorstyrd flerkanalsmätning med konstant spårgaskoncentration. Flera instrument är under utveckling, alla med sina för- och nackdelar. Det är önskvärt med en sammanställning av instrumentens egenskaper och av erfarenheter från deras användning.

○ Lufttäthet och permeabilitetsfördelning.

Mätning av täthetstalet  $n_{50}$  är olämplig i höga byggnader med invändig vertikal tryckgradient, i flercellsbyggnader samt i stora hallbyggnader där opraktiskt stora fläktar krävs. En utveckling av byggnormen, som tar hänsyn till praktiska möjligheter att mäta tätheten är önskvärd. Täthetstalet måste kanske för de nämnda byggnadskategorierna anges som läckning per  $m^2$  ytteryta. Både i samband därmed och i samband med klarläggning av permeabilitetsfördelningen i byggnader med skilda konstruktionslösningar, behövs en metodutveckling på mätsidan.

○ Inre permeabilitetsfördelning.

För flercellsbyggnader, till vilka kanske även måste räknas småhus med stängda innerdörrar, behövs uppgifter om läckvägar och läckmotstånd. Inverkan av kanalsystemet kan lösas med traditionella ventilationstekniska metoder, men redan karakteristiken för överluftdon är föga känd. Arbetet bör läggas upp som en metodutveckling på mätsidan, dokumenterad i en mät-handbok, med felkällsanalys. Data från fältmätningar kan sedan samlas i en katalog över inre läckvägar och motstånd för skilda konstruktions typer. Värdena är nödvändiga vid systemanalys av flercellsbyggnader; utländska värden bör tillämpas med stor försiktighet med tanke på de skillnader i konstruktionslösningar och arbetsutförande som kan förekomma. Av samordningsskäl bör arbetet ledas av en styrgrupp i BFR:s regi. Detta arbete har hög prioritet då det ger möjlighet att täcka in viktiga delar av byggnadsbeståndet som idag inte är tillgängliga för analys.

○ Experimentella studier - småhus.

Mycket arbete har gjorts och mycket arbete pågår inom området. Framförallt finns ett rikhaltigt material om systemdelar - täthet, ventilation, spårgasmätningar. Få undersökningar pågår dock som söker täcka in totalsystemet. Många projekt med en mer begränsad målsättning kunde med måttliga väl genomtänkta tillägg ge den kunskapsbredd som är nödvändig. Ur forskningens synpunkt är det ett slöseri att så inte sker. Problemet

ligger inom administration, samordning och information till berörda forskare. En arbetsgrupp inom BFR kunde stå för dessa uppgifter. Ett första åtagande för denna grupp kunde vara att ge ut något slags heltäckande rapporteringsformulär, där luckor i den tänkta projektuppläggningsen lätt kan identifieras. Arbetsgruppen kunde också vara ett forum för allmänt erfarenhetsutbyte på en detaljnivå som nu inte täcks in av täthetsgruppen.

○ Encellsprogram.

Encellsprogram, grundade på iterativ lösning av flödesbalansekvationer, är relativt lätta att skriva och finns i flera varianter. En utveckling behövs för behandling av fläktar, ventilationskanaler och friskluftsventiler samt självdrags-system. Som tidigare har sagts behöver också indata förbättras. Dessutom gäller att programmen kanske bör kompletteras med algoritmer för behandling av naturliga tryckfluktuationer.

Programeringsarbetet kan ske på flera håll, men det vore ändå önskvärt att ett generellt program med väldefinierade egenskaper framtas. Ett sådant program kunde användas av dem som inte är specialister inom området, men som ändå behöver data för t ex utvärdering av värmebalans i provhus.

○ Flercellsprogram.

Något färdigt flercellsprogram för allmän användning i Sverige finns inte. Utvecklingen av ett sådant program bör få hög prioritet, och programmet bör göras allmänt tillgängligt för forskare och övriga intressenter. Stora krav bör ställas på programdokumentation och användarmanual samt på den "indatakatalog" som tidigare nämnts. Befintliga program ger en god utgångspunkt för arbetet.

## 5 ENERGISPARANDE ÅTGÄRDER

### 5.1 Åtgärdernas förutsättningar

#### 5.1.1 Byggnadsbeståndets tillstånd, förväntad nybebyggelse

Åtgärder för att minska ventilationsförlusterna bör planeras och fördelas under beaktande av volymen, egenskaperna och tillståndet hos befintlig bebyggelse av olika kategorier.

Det totala beståndet av byggnader fördelas på olika användningsområden och tillkomstperioder enligt tab. 5.1 som bygger på flera källor, se t ex Planverket (1977). Kännedom om olika huskategoriers ålder kan användas som utgångspunkt för bedömningar av omfattningen av framtida renoverings- och rivningsåtgärder.

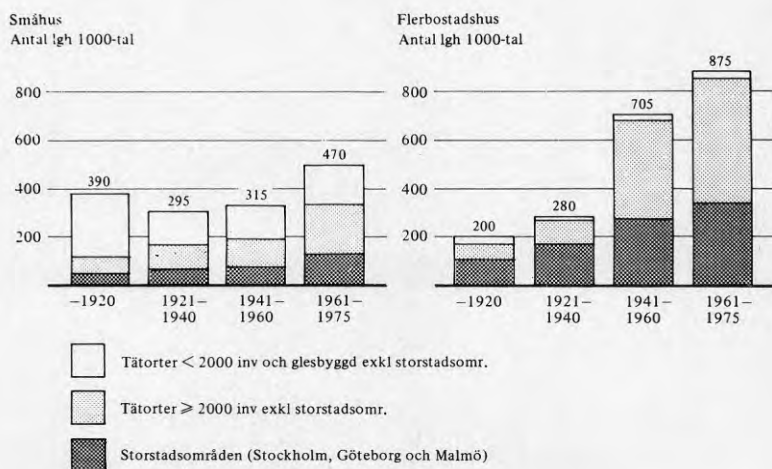


Fig. 5.1 Antal lägenheter i det befintliga byggnadsbeståndet (1975) fördelade på byggnadsår och region. Källa: Statens Planverk (1977).

Vissa uppgifter kan också erhållas beträffande förekomsten av olika ventilationssystem, fördelade på olika hustyper, fig. 5.1. Uppgifterna har sammanställts av Statens Institut för Byggnadsforskning, Erikson et al. (1979), och är även differentierade med hänsyn till husens ålder.

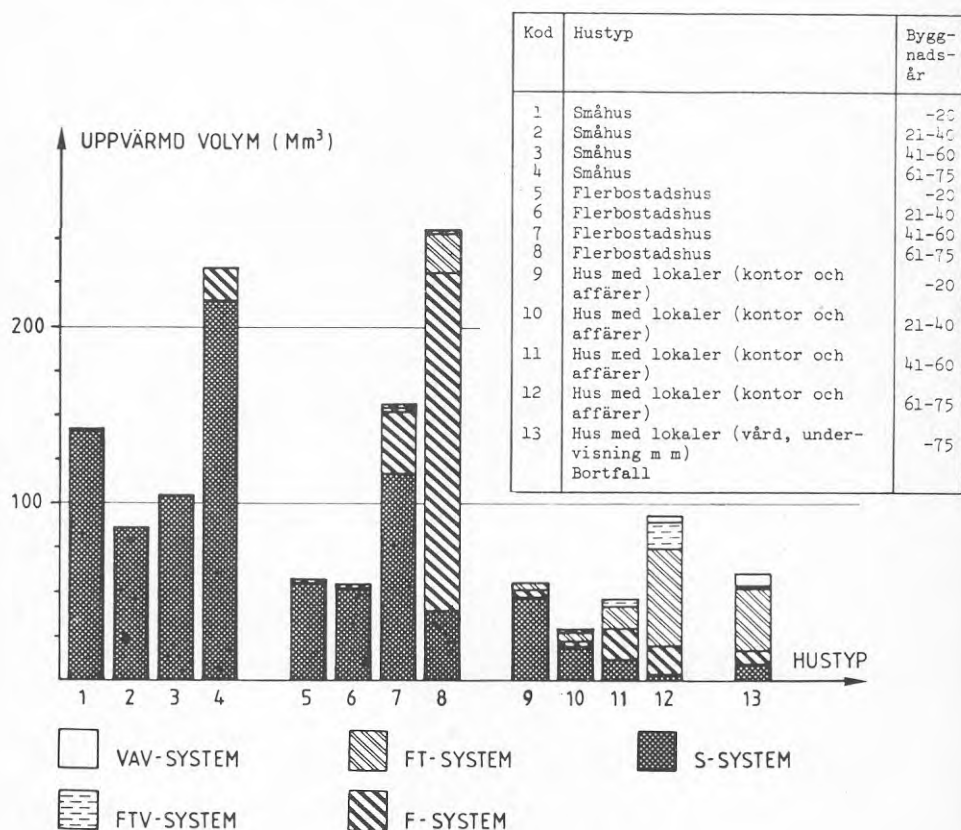


Fig. 5.2 Histogram visande frekvensen för olika ventilationssystem i vissa kategorier av bebyggelse. Källa: Erikson et al. (1979).

När det gäller luftomsättning i byggnader är uppgifterna om mätvärden relativt fåtaliga, ojämnt fördelade på olika byggnadskategorier och nästan uteslutande koncentrerade till objekt som tillkommit under de två sista årtiondena, se Erikson (1979).

En bearbetning av resultaten ger standardavvikelser, vilka genomgående är höga. Detta beror på ett flertal faktorer såsom skillnader i byggmaterial, ventilations-system, brukarvanor, konstruktionsprinciper och produktionsmetoder.

De redovisade uppgifterna ger ett visst underlag för bedömning av var förbättringsåtgärder lämpligen bör sättas in. Materialet är emellertid både knapphändigt och svårbedömt. Den oavsiktliga ventilationens inverkan på luftomsättningen är exempelvis i allmänhet inte registrerad.

Vid nyproduktion begränsas möjligheterna att välja täthetsnivå av tekniska och ekonomiska villkor, vilka dock i allmänhet ej torde vara särskilt besvärande. Det finns exempel på att man med ändamålsenliga åtgärder i projektering och produktion i det närmaste kunnat eliminera luftomsättningen genom en byggnads otätheter, se t ex Elmroth et al. (1981). Detta betyder att det med genomtänkta lösningar och en noggrann byggkontroll går att bygga husen tätare än den i SBN angivna täthetsnivå.

### 5.1.2 Målsättning

Åtgärdernas omfattning och inriktning påverkas också av målsättningen.

Planeringen kan inriktas på en mer eller mindre aktiv medverkan från brukarnas sida när det gäller reglering och kontroll av tekniska system. Ställningstaganden härvidlag styr vissa komponenters utformning.

Formuleringen av komfort- och hälsokrav blir av betydelse inte endast genom valet av anspråksnivån. Också möjligheten av att i viss omfattning nyansera föreskrifter med hänsyn till olika brukargrupperns förutsättningar inverkar.

Politiska ställningstaganden, som exempelvis genom lånegivning främjar vissa åtgärder, kan ha stor betydelse för utformning och tidläggning av sparåtgärder. Bostadsstyrelsen påverkar med sitt låneunderlag till viss del vilka typer av komponenter och system som dominerar marknaden. Lån kan t ex erhållas för FTX-system och varmvattenberedning med värmepump för återvinning av energi ur frånluften.

En effektiv ekonomisk styrning bör beakta sambandet mellan låneunderlag, produktionskostnader och verklig energibesparing. Det erfordras en generell belåningsprincip som favoriserar åtgärder efter investerings- och driftskostnad, energibesparing och livslängd. Val av förräntning, inflationshypoteser och beaktat tidsperspektivs längd påverkar lönsamheten för olika ingrepp och jämförda alternativs relativa fördelar.



### 5.1.3 Produktionsmetoder

Energibesparing genom byggandet av täta hus kräver lämpliga

- material- och konstruktionsval
- produktionsmetoder m a p 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.

## 5.2 Åtgärdsöversikt

### 5.2.1 Ventilationen som energiförbrukare

Nya bestämmelser och ökat intresse för värmehushållning har i första hand reducerat transmissionsförlusterna. Ventilationsförlusterna har därigenom fått en avsevärd ökad relativ betydelse både i äldre och nyare bebyggelse. Transmissionsförlusterna kan genom olika isoleringsåtgärder nedbringas till en låg nivå. Ventilationen får i allmänhet inte reduceras under vissa gränsvärden. Den bör därför anordnas på ett för energihushållningen gynnsamt och kontrollerbart sätt.

### 5.2.2 Principlösningar för begränsning av ventilationsförlusterna

De ovan antydda åtgärderna för begränsning av ventilationsförlusterna kan inriktas på

- en systemuppbyggnad som möjliggör avsedd luftomsättning
- reducering av de med luftväxlingen följande värmeförlusterna
- möjligheter att lokalt och temporärt minska luftomsättningen
- kontroll och underhåll av systemfunktionerna samt
- främjande av brukarnas medverkan i energibesparingen.

Åtgärderna kan vara av byggnadsteknisk natur, bestå i anordnande eller modifiering av lämpliga installationskomponenter eller vara inriktade på brukarpåverkan.

Byggnadstekniska åtgärder innebär utformning eller förändring av en byggnads delar så att täthetsnivå höjs. Det kan även röra sig om anpassning till olika typer av ventilationssystem eller luftvärmesystem, men också mer sofistikerade lösningar t ex i form av så kallad dynamisk isolering.

Höjda energipriser, ändringar i låneunderlag, intresse från massmedia och en effektiv marknadsföring har skapat en marknad för olika "energibesparande komponenter".

Åtgärder med inriktning på brukarnas beteende kan ha en god lönsamhetspotential. De måste dock kopplas till den i kapitel 3 förda diskussionen om lämplig ventilationsnivå.

Reduktion av oavsiktlig ventilation genom tätning.  
Förbättrade möjligheter att säkerställa en planerad ventilationsnivå erhålls genom tätning av klimatskärmen. Praktiskt är det stundom stora problem att spåra alla viktigare otätheter och att genomföra tätningar på ett ekonomiskt, effektivt och estetiskt tilltalande sätt. Tätningens åtgärder kan påverka luftutbytet mellan olika rum och öka risker för fuktskador.

Olika ventilationssystem innebär olika förutsättningar för luftläckningen. För självdragssystem och balanserade FT-system gäller att en förändring av tätheten ger upphov till en förändring av luftomsättningen.

För ett F-system varierar känsligheten för täthetsförändringar starkt med proportionen mellan klimatbetingat luftflöde genom klimatskärmen och flödet genom frånluftsdon:

- Om den oavsiktliga ventilationen dominerar ger en täthetsförändring upphov till flödesändringar som i stort sett är oberoende av ventilations-systemet.
- Om flödet genom frånluftsfläktarna dominerar, har mindre täthetsändringar ingen inverkan på luftomsättningen.

#### Val av ventilationssystem och täthetsnivå.

Då ventilationssystem i äldre bostadshus till stor del utgörs av självdragssystem kan komfortnivån höjas genom installation av mekaniska ventilations-system. Om åtgärden kombineras med tätningsåtgärder och möjligheter till värmeåtervinning kan viss energivinst påräknas. Generellt gäller att ingrepp av denna typ i befintliga byggnader är resurskrävande. Åtgärderna kan i princip tillämpas för alla uppvärmda byggnader.

Allmänt reduceras storleken på den oavsiktliga ventilationen i den mån byggnadens täthet ökar.

Planeras byggnaden för fläktventilation bör tätheten vara hög för att den avsedda luftväxlingen skall kunna innehållas.

Anordnande av lufttätning måste ske under beaktande av uteklimatet och planerat ventilationssystem så att rimliga hygien- och komfortkrav kan tillfredsställas. Möjligheterna att bedöma omfattning och effekt av brukarnas vädringsrutiner är av betydelse.

#### Sänkt ventilationsnivå.

Ventilationsförlusterna  $E_V$  kan skattas enligt formeln

$$E_V = n \cdot V \cdot \rho \cdot c \cdot v \cdot t \quad [\text{kWh}]$$

där

$n$  = antalet luftomsättningar [ $\text{h}^{-1}$ ]

$V$  = husvolymen [ $\text{m}^3$ ]

$\rho \cdot c = 0.33 \times 10^{-3} [\text{kWh}/\text{m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}]$  = luftens värme-  
innehåll

$v \cdot t$  = temperaturdifferensens tidsintegral [ $\text{h}^\circ\text{C}$ ]

För en uppvärmningsperiod motsvarande ungefär 90.000 gradtimmar (södra Sverige) och en boendevolym på  $320 \text{ m}^3$  medför en förändring av luftväxlingen med 0.1 oms/h en ändring av ventilationsförlusterna med 950 kWh.

Enligt formeln påverkas förlusterna förutom av luftomsättningen också av husvolymen, innetemperaturen och uppvärmningsperiodens längd. Felbedömningar av luftomsättningens storlek och innetemperaturen är ofta förklaringen till att förväntad energibesparing uteblir. Byggnadstekniska förbättringar, som ökad isolering, kan indirekt påverka ventilationsförlusterna.

#### Behovsanpassad ventilationsnivå.

Ur energi- och komfortsynpunkt kan någon form av behovsanpassad ventilation vara intressant. Genomtänkta system baserade på att olika utrymmen eller zoner kräver olika komfortnivåer eller att fordringarna skiftar mellan olika tider på dygnet finns i långt framskridna utvecklingsstadier. En lämplig form av zonindelning ger förutsättningar för att en tillräcklig luftväxling erhålls i exempelvis sovrum, samtidigt som den totala luftväxlingen och därmed energiförlusterna kan reduceras. Ett sådant system, uppbyggt som ett traditionellt frånluftssystem kompletterat med extra frånluftsdon i samtliga sovrum beskrivs av Elmroth, (1981).

Ställs krav på möjlighet att mer eller mindre drastiskt minska energianvändningen i kristider, blir det aktuellt att för kortare tid reducera anspråken på luftkvalitet. Ventilationssystemet skall då kunna inställas på motsvarande lägre luftomsättning.

#### FT-system med ventilationsvärmväxlare.

FT-system med ventilationsvärmväxlare kan ge ökad komfort, återvinning av värme samt minskat effektbehov för uppvärmning och därigenom minskade radiatorytor.

Riskerna för felaktiga luftflöden och kanalläckage med åtföljande energiförluster är större för FT-system än för F-system. FT-systemen ställer därför högre krav på kvalitet, funktion och en korrekt utförd inreglering. Genom möjlighet till en god luftkomfort under hela året bör FT-systemen i drift föranleda färre reglerande åtgärder från brukarna.

### Värmepump frånluft-varmvatten.

Energin i frånluften kan även med hjälp av värmepump utnyttjas för uppvärmning av 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.

### Dynamisk isolering.

Vid så kallad dynamisk isolering styrs en luftström mot värmeflödets riktning genom isoleringen i byggnadens omslutningsytor, se Thorén (1978). Metoden kräver att byggnaden är utrustad med ett fläktstyrt ventilations-system. Den är för småhus därför i praktiken endast användbar vid nyproduktion. Förutom att ge förutsättningar för en reduktion av transmissionsförlusterna kan den kontinuerliga luftströmningen genom klimatskärmar reducera problem med kondens och mögel.

Höga krav på fläkternas driftsäkerhet kan betecknas som systemets främsta nackdel. Fläktenergin måste beaktas vid en utvärdering av systemets energibesparing. Systemets effektivitet beror också av otätheternas fördelning över klimatskärmen. Inverkan av lokala variationer i luftströmningen, t ex vid uppvärmnings- och belysningsanordningar, måste undersökas. På sikt kan systemet försmutsa och täta isoleringsmaterialet, varvid förutsättningarna ändras.

### Kombinationer av uppvärmnings- och ventilations-system.

Installation av spisar och braskaminer kan ha ogynnsamma konsekvenser för luftomsättningen speciellt i de

fall då byggnaderna är fläktventilerade. Öppna spisar är ur ventilationssynpunkt mindre lyckade då de ofta ger en ökad luftväxling även när eldning ej sker. Vid eldning i "moderna" spisar behövs ett luftflöde motsvarande ungefär  $20-60 \text{ m}^3/\text{h}$ , vilket kan jämföras med det totala luftflödet, som t ex i ett normalt nyproducerat småhus uppgår till mellan  $150$  och  $200 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Erforderlig luftflöde tas helst utifrån. I de fall uppvärmningsanordningen är utrustad med ett separat fläktsystem skall detta beaktas vid dimensionering och injustering av husets fläktventilationssystem.

#### Risker för oekonomiska åtgärder och suboptimering.

Beräkning av energiåtgång och projektering av energisparande åtgärder eller alternativa uppvärmningssystem bör alltid utgå från kunskap om byggnaders totala energibehov och samtliga de faktorer som styr detta behov. Det är också väsentligt att samspelet mellan olika energiflöden beaktas liksom flödernas fördelning under uppvärmningssäsongen och året.

Täthetsfrämjande åtgärder kan inte planeras utan hänsyn till andra förhållanden såsom byggnadens värmeisolering samt typen av ventilations- och uppvärmningssystem. Transmissionsförlusterna kan vara så stora att tätningsåtgärder inte lönar sig utan att tilläggsisolering samtidigt tillgripes.

För åtgärder som primärt inriktas på att i nyproduktion och ombyggnad öka byggnaders täthet innebär detta bl a kontroll av att den minskade energiåtgången tillgodos göres genom minskad värmeförlust.

### 5.3 Tillämpning på olika byggnadskategorier

#### 5.3.1 Ventilationsprocessen i olika byggnadstyper

Planeringen av åtgärder som främjar energihushållningen, blir beroende av de byggnads- och installations-tekniska egenskaperna hos den aktuella byggnaden. Av avsnitt 5.2 framgår att effekten av tätnings-åtgärder beror på hur tät byggnaden är i utgångsläget och vilken typ av ventilationssystem man har.

En betydande del av forskningen har behandlat tätheten och funktionen hos fläktventilationssystem i småhus. För flerbostadshus och kontorshus har förändringar av tätheten ofta varit en av flera vidtagna åtgärder, varför dess effekt är svårbedömbär. Generella slutsatser bör därför undvikas utifrån dessa projekt. I flervåningshus tillkommer som inverkan de stora tryckvariationer som föreligger mellan olika våningsplan.

När det gäller byggnader med mera avancerade installationer - såsom sjukhus - är ventilationsförlusterna ofta betydande men mindre avhängiga av tätheten. Det finns för dessa byggnader ett flertal områden som ur energiförbrukningssynpunkt bör prioriteras före täthetstekniska åtgärder.

#### 5.3.2 Småhus

Vid nybebyggelse kan täthetsnivån avvägas med hänsyn till energihushållning och komfortkrav under beaktande av betingelserna mellan oavsiktlig och styrd ventilation. Fläktventilationssystem kommer även i fortsättningen att dominera nybebyggelsen. Självdragssystem kan för vissa hustyper fortfarande bli aktuella men de stora svårigheter, som föreligger att under vissa



klimatbetingelser erhålla en acceptabel luftväxling, kommer att begränsa användningen. Förutsättningar för denna typ av system försämrans naturligtvis också ju tätare ett hus byggs.

De energiekonomiska fördelarna med installation av FTX-system påverkas av den oavsiktliga ventilationen. FTX-systemet blir naturligtvis lönsammare vid tätare hus och ökad luftväxling. Detta skulle innebära att täthetsnivån bör väljas betydligt högre i detta fall än för S- och F-system för vilka en täthetsnivå ned till 3 oms/h kan vara ekonomiskt försvarbar. Vid prefabricering av småhus ökar produktionsproblemen med installationernas omfattning. Möjligheterna till en rationell produktion med stora serier minskar med högre kostnader och ökat antal fel som följd, Ekstrand et al. (1980).

### 5.3.3 Flerbostadshus och kontorshus

Effekten av olika energisparåtgärder är beroende av byggnadens täthetsegenskaper och inre strömningsmotstånd. Ekonomin i tätning av en fasad kan t ex vara väsentlig och lönsam i otäta hus med FT-system men av blygsamt eller försumbart värde i motsvarande frånluftsventilerade hus. Man kan sålunda inte generalisera utan bör knyta bedömningar till olika typer av totalsystemet byggnad-ventilationssystem. En ansats till sådan typisering anges i tabell 5.2. Tabellens matrisuppställning innefattar 18 rutor i vilka de för varje hustyp lämpligaste besparingsåtgärderna kan markeras.

Tab. 5.2 Typindelning av byggnader som totalsystem

		Flervåningshus				Småhus	
		Interna otätheter i främst vertikalled		Internt täta främst vertikalled		Internt otäta	
Vent-system	1	2	3	4	5	6	
	Täta ytterv.	Otäta ytterv.	Täta ytterv.	Otäta ytterv.	Täta ytterv.	Otäta ytterv.	
S							
F							
FT							

Anm. Det finns naturligtvis ingen klar skiljelinje mellan täta och otäta ytterväggar. Massiva murverksväggar kan dock betraktas som "täta" medan utfacknings- och regelväggar är att anse som förhållandevis "otäta".

Modernare kontorshus ventileras vanligen av ett från- och tilluftssystem. Det är inte ovanligt att håltagningar i bjälklagen ej blivit igengjutna efter det att försörjningssystemen installerats. De väggar som omger vertikala kanaler är också otäta, i synnerhet där horisontella förgreningar bryter igenom väggarna. Tryckbilden och luftläckaget över väggarna kan avsevärt påverkas genom att byggnaden har inre otätheter i vertikal riktning och förutom det reguljära ventilationssystemet också har ett självdragssystem.

När fläktventilation installeras i äldre bostadshus erfordras insatser för att öka tätheten. Vid trä-

hus bör speciellt intresse ägnas anslutningar mellan väggar och bjälklag.

Inväändig tätning låter sig inte utan vidare genomföras i befintliga byggnader. Mellanväggar samt luftkanaler i golv, väggar och tak komplicerar uppgiften.

Utvändig tätning är i vissa fall enklare men kan endast tillämpas när risken för fuktutfällning kan bemästras. Både in- och utväändig tätning måste genomföras på sådant sätt att kulturhistoriska värden tillgodoses i rimlig omfattning, Holmström (1981).

#### 5.3.4 Övrig bebyggelse

Betydande svårigheter föreligger att formulera allmänna täthets- och ventilationsprinciper för industrier. Lokalernas storlek, verksamhet och ventilationsbehov är direkt avgörande för valet av åtgärder. Produktions- och arbetsmiljöfaktorer kan ställa krav på en differentierad ventilationsnivå. Portar och otätheter på grund av transportsystem kan ominstetgöra effekten av en ökad täthet hos ytterväggar och tak, se t ex Dahl (1981).

Vid val av ventilationssystem och täthetsnivå bör man alltså utgå från:

- . önskat val av allmän ventilationsnivå och punktutslug
- . möjligheter att differentiera ventilation genom utnyttjande av brandsektionering, bulleravskärmning, sprutboxar etc.
- . möjlighet att tidstyra ventilationen
- . hur byggnadens värmebehov minskar genom värmeåtervinning eller sänkt ventilationsgrad

- . möjligheter att ta vara på eventuellt värmeöverskott
- . kostnader för alternativa energisparåtgärder - förbättrad process, isolering etc.

Det är givet att med den internränta och de krav på återbetalning som svensk industri arbetar med idag bör täthetskraven på byggnadsstommen i första hand ställas ur komfort- och beständighetssynpunkt. Energibesparing p g a skärpta täthetskrav blir marginell. Annorlunda ställer det sig för portar, där enkla åtgärder på täthets- och manövreringssidan har hög besparingspotential.

#### 5.4 Problemställningar och forskningsbehov

Framställningen i det föregående har berört ett stort antal frågeställningar fördelade på områdena:

- . Kartläggning av olika bebyggelsekategoriers egenskaper med avseende på ventilation och täthet
- . Besiktnings- och kontrollmetoder
- . Luftomsättningen i olika byggnadskategorier med olika installationssystem
- . Konsekvenser av åtgärder med avseende på energibesparing och förbättrade komfort- och hälsoförhållanden.

Frågor inom det förstnämnda området ovan har genom olika undersökningar fått en jämförelsevis bred belysning beträffande småhus. När det gäller flerbostads- hus är underlaget för bedömning av ventilations- systemens funktion starkt begränsat. Detsamma gäller i än högre grad för andra slag av bebyggelse.

Under de sista åren har metoder för besiktning och kontroll av byggnaders funktion med avseende på

ventilation och energibesparing utvecklats i avsevärd omfattning. Även om fortsatta utvecklingsinsatser är önskvärda torde de mest angelägna uppgifterna gälla systematisering av granskningsrutiner och information.

De i kap. 4 diskuterade beräkningsmetoderna kan efter utveckling tillämpas vid bedömning av komforten i inomhusklimatet. De kan också intagas som led i analys av olika åtgärds kombinationers effekt på energihushållningen.

Sammanfattningsvis understryks behov av forskning beträffande

- Kontroll av normernas konsekvenser för ventilation och energihushållning
- Lånebestämmelsernas underlag - realism i förhållande till effekter på energibesparing
- Besiktning- och kontrollmetoder för ventilationsförhållandena i flerbostads- och kontorshus
- Studium av luftomsättningen i olika byggnadskategorier med olika ventilationssystem
- Studium av olika åtgärders och åtgärds kombinationers ändamålsenlighet vid försök att främja energihushållningar i olika byggnadstyper
- Utveckling av brukarinriktad information i anslutning till besparingsåtgärder.

## 6 SAMMANFATTANDE SYNPUNKTER PÅ KUNSKAPSLÄGE OCH FORSKNINGSBEHOV

En kvalificerad behandling av täthetsfrågorna vid om- och nybyggnad fordrar

- . metoder för bestämning av otätheters inverkan på luftomsättningen i stort och på energiförbrukningen,
- . metoder för kontroll av strömningsförhållandena i enskilda rum med hänsyn till krav på hygien och på byggnadsdelarnas funktion och varaktighet,
- . kunskap om den inverkan täthetsnivån har på ekonomin hos olika energisparande åtgärder ur både produktions- och driftssynpunkt.

Kunskaper på detta område är nödvändiga för att bedöma effekter av olika energisparåtgärder. Vilka åtgärder som vidtas, beror till stor del på normer och låneregler. En ändamålsenlig utveckling av dessa fordrar också ett kunskapsunderlag som bl a måste innefatta

- . tillståndet i befintlig bebyggelse samt planer och prognoser beträffande nybebyggelse
- . rimliga anspråk på luftomsättningen ur komfort- och hälsosynpunkt.

Den tidigare framställningen har visat att kunnandet i ovan nämnda avseenden väsentligt breddats under de sista åren. Fortfarande är dock ett antal frågor av mer eller mindre central betydelse olösta. De motiverar FOU-insatser som förtecknats i slutet på kapitlen 3-5. Uppgifterna är många och uppträder ofta i kombinationer som måste lösas i ett sammanhang. Försök till prioritering stöter därför på betydande svårigheter. Mot bakgrund av de nyss

redovisade kunskapsbehoven framstår dock några frågor som speciellt angelägna. De kan dessutom i viss utsträckning sammanslås till mera omfattande uppgifter.

För formulering av de krav som bör ställas på byggelsen samt för beskrivning av byggnadens och dess omgivnings egenskaper synes följande uppgifter böra prioriteras:

1. Formulering av hälso- och komfortbetingade klimatkrav som kan relateras till luftomsättning och lokala luftrörelser.

Önskvärt är att definiera nivåer på luftomsättningen, vilka för olika typer av verksamheter och förhållanden i övrigt svarar mot alla relevanta fordringar på innemiljön.

2. Fortsatt undersökning av tryckförhållanden utanför och inuti byggnader, samt otätheternas storleksfördelning i byggnadskategorier för vilka den oavsiktliga ventilationen är av betydelse. Betydelsen av tryckutjämning i luftspalter.

Uppgiften innefattar alltså både en analys av mikroklimatet och en granskning av klimatskärmen. Bredden i studierna av täthetsfördelningen bör göras beroende av de erfarenheter som vid totalanalyser av ventilationsprocessen inhämtas beträffande storleken på denna fördelnings inverkan. I vissa typer av byggnader har också otätheter i innerväggar, bjälklag, ventilationskanaler och vertikalschakt avsevärd betydelse för luftutbytet. Det är angeläget att sådana hustyper identifieras.

Studier tillhörande uppgift 2 bör bl a resultera i rekommenderade vindtrycksfördelningar för användning vid analyser av ventilationsprocessen samt i uppgifter om tätheters sannolika storlek och fördelning systematiserade efter byggnads-kategorier.

3. Fortsatta studier av brukares påverkan av luftomsättningen.

Dessa undersökningar bör genomföras så att brukarvanornas beroende av husets funktion, exempelvis injusterade nivåer på ventilation och värme, beaktas.

4. Systematiska studier av erforderlig luftomsättning och luftrörelse för undvikande av funktions- och varaktighetsförsämringar hos byggnadsdelar.

Studierna bör beakta olika slag av brister såsom nedsatt isoleringsförmåga, fuktskador och mögelbildning. Det är önskvärt att de kan ge underlag för rekommendationer beträffande preventiva åtgärder, i första hand att anordna nivåer på luftomsättningen som i mera frekventa typfall ger tillfredsställande förhållanden. Utredningar av detta slag kan också ge information om konsekvenser av minskad ventilation vid driftstörningar och försörjningskriser.

En annan grupp av undersökningar gäller konsekvenserna av valda nivåer på täthet med hänsyn till total ventilation, energisparande och byggnadsdelars tekniska funktion.

5. Kvalificerad bestämning av hur olika, i praktiken vanliga och eftersträvade täthetsförhållanden



påverkar den oavsiktliga och totala ventilationen.

Undersökningen bör ske med största möjliga utnyttjande av teoretiska beräkningsmetoder och läggas upp systematiskt så att bl a förhållandena i olika hustyper med skilda installationssystem blir belysta. Det är önskvärt att kalkylerna får en statistisk inriktning för att ge en överblick över hur förekommande variationer i tidigare diskuterade faktorer påverkar beräkningsresultaten. Uppgifter av detta slag är bl a av värde vid studium av extrema ventilationsförhållandens varaktighet.

Kontroller mot förhållandena i praktiken erhålls i viss utsträckning genom jämförelser med resultat från de i kap. 4 omnämnda fältmätningarna. Fortsatta, experimentella täthetsmätningar bör vid tillgång på erforderliga resurser kompletteras med studier av luftomsättning och klimat så att resultaten kan jämföras med teoretiskt erhållna värden.

Fortsatta fältstudier av luftomsättningen är främst angelägna för byggnadskategorier vars täthetsförhållanden är särskilt komplicerade och därför outredda. Det gäller exempelvis äldre tvåvåningsbebyggelse i trä och vissa typer av bostads- och kontorshus i flera våningar.

6. Studier av hur olika för praktiken intressanta täthetsförhållanden påverkar energiåtgången i olika kategorier av bebyggelse vid skilda klimatförhållanden och installationssystem.

Studierna bör genomföras under beaktande av tillgängliga kunskaper om hur tätheten förändras med tiden och liksom utredningarna under punkt 5 innefatta känslighetsanalyser. Resultaten kan utnyttjas för att nå på olika sätt definierade, optimala lösningar.

Huvuddelen av insatserna ges formen av teoretiska analyser men tillgängliga uppgifter från praktiken utnyttjas för kontroller.

En tredje grupp av studier gäller metodik och dokumentation.

7. Vidareutveckling av metoder för beräkning och modellstudier av luftrörelse i rum med olika täthets- och ventilationsförhållanden.
8. Vidareutveckling av metoder och instrument för experimentell bestämning av täthets- och ventilationsförhållanden i flercellsstrukturer.

Metodutvecklingen syftar till enkla förfaranden för bestämning av en befintlig byggnads tillstånd. Detta är en nödvändig del av det underlag som krävs för att kunna genomföra ändamålsenliga förbättringar av tätheten.

9. Vidareutveckling av metoder för teoretisk analys av ventilationsprocessen i flercellsstrukturer.

Fortsatt arbete inriktas speciellt på förfaranden vid studier av års- och säsongslånga förlopp samt vid känslighetsanalyser och bör utgå från redan tillgängliga datorprogram. Resultatet av detta utvecklingsarbete bör dokumenteras tillsammans med översikter av tillgängliga beräkningsprogram

uppbyggnad och användningsområden.

Numreringen ovan avser ingen prioritering av de olika uppgifterna.

Installationerna har i denna rapport berörts endast i den mån valet mellan självdrags-, frånlufts- samt från- och tilluftsventilationen medför skilda förutsättningar för luftläckning. Förteckningen över forskningsuppgifter innefattar därför inte det i och för sig angelägna behovet av ventilationsteknisk utveckling.

## 7 REFERENSER

- Abel E, Andersson L, Blomsterberg Å, Dubinski K, Handa K, Hansson T, Johnson A, Kärrholm G, Persson M, (1978), Ofrivillig ventilation - Förutsättningar och betydelse för byggnaders värmebalans, Statens råd för byggnadsforskning, BFR, Rapport R34:1978, Stockholm.
- Abel E, Sundström T, (1979), Mikrodatorbaserat hjälpmedel för ventilationsmätning med spårgas, Chalmers tekniska högskola, CTH, Installationsteknik, Intern rapport, Göteborg.
- AIC, (1981), AIRGLOSS: Air infiltration Glossary (English Edition), Air Infiltration Centre, Technical Note No 5, London.
- Aronsson M (1977), Jämförelse av vindmätare, Statens Meteorologiska och Hydrologiska Institut, SMHI, Norrköping.
- Aronsson M, (1980), Vindfanor i SMHI:s tjänst, SMHI, Norrköping.
- Axén B, Pettersson B, (1979), Termografering, kontroll av byggnaders värmeisolering och täthet, BFR, Rapport T1:1979, Stockholm.
- Bankvall C, (1981), Byggnadskonstruktioners värmeisoleringsförmåga. Inverkan av luftrörelser och arbetsutförande, BFR, Rapport T18:1981, Stockholm.
- Berglund B, (1979), Lukt Kriteriet fortfarande aktuellt som ventilationsbestämmande faktor, VVS nr 4, 1979, Stockholm.
- Bergström U, (1978), Lufttäthet i prefabricerade småhus, samt Energibesparing och lufttäthet i prefabricerade småhus. Träförädlingsbyrån, Stockholm.
- Bergström S, (1981), Praktiska beräkningsmetoder för luftflöden i höga hus och deras samband med husets täthetsgenskaper, Tyréns, Arbetsrapport oktober 1981, Stockholm.
- Bjerrøme K, (1978), Energiförbrukning och boendevanor i Modulenthus, CTH, Byggnadskonstruktion, Rapport 1978:18, Göteborg.
- Blomsterberg A K, Modera M P, Grimsrud D T, (1981), The mobile infiltration test unit - its design and capabilities: Preliminary experimental results. Lawrence Berkeley Laboratory, University of California, Report LBL-12259, Berkeley

- Brolin H, (1980), Täthet hos fönster: 300 provningsresultat, Statens provningsanstalt, Rapport 1980:10, Borås.
- Byggnadsstyrelsen, Tyréns (1981), FOU-program om energibesparing i befintliga förvaltningsbyggnader, Ansökan till BFR, Stockholm.
- Carlsson B, Elmroth A, Engvall P-Å, (1979), Lufttäthet och värmeisolering - byggnadstekniska lösningar, BFR, Rapport T24:1979, Stockholm.
- Carlsson B, Elmroth A, Engvall P-Å, (1980), Airtightness and thermal insulation: building design solutions, BFR, Document D37:1980, Stockholm.
- Collet P F, (1981), Luftskiftemåling i beboede huse, Bidrag under sektion 7 till "Energihushållning i Byggnad"; Symposium 1981, Statens Provningsanstalt, Borås.
- Cook N J, (1980), Fullscale wind pressure measurements on cylindrical silos: A preliminary report, Building Research Establishment, Note no N103/80, Watford.
- Cook N J, Mayne J R, (1980), A novel and a refined working approach to the assessment of wind loads for equivalent static design, Building Research Establishment, Reprint R4/80, Watford.
- Dahl G, (1981), Aktuella täthetsmätningar av industribyggnader i lättbetong och andra material, Bidrag till "Energihushållning i Byggnad"; Symposium 1981, Statens Provningsanstalt, Borås.
- Eaton K J, Mayne J R, (1974), The measurement of wind pressures on two-storey houses at Aylesbury, Building Research Establishment, Report CP 70/74, Watford.
- Eaton K J, Mayne J R, Cook N J, (1979), Wind loads on low-rise buildings - effects of roof geometry, Building Research Establishment, Report CP 1/76, Watford.
- Ekstrand J-E, Gustén J, Harrysson C, (1980), Kunskapsbrist medför minskat energisparande i småhus, Byggmästaren nr 5, 1980, Stockholm.
- Elmroth A, Höglund I (1970), Analys av ofrivillig ventilation i småhus, VVS nr 2, 1970, Stockholm.
- Elmroth A, Lögdberg A, (1981), 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, Stockholm.

- Erikson B, (1979), Ventilationen ofta dålig i nybyggda enbostadshus, VVS nr 4, 1979, Stockholm.
- Erikson B E, Boman C-A, Nyblom L, Swedjemark G A, (1980), Radon i bostäder - en fältforskningsstudie, del 1, Statens Institut för Byggnadsforskning, SIB, Meddelande M80:12, Gävle.
- Erikson B, Hammarsten S, (1979), Undersökning av husbeståndet ur energisynpunkt, SIB, Meddelande M79:20, Gävle.
- Erikson B E, Mellin A, (1978), Undersökning av don för F- och S-system, SIB, Meddelande M78:19, Gävle.
- Etheridge D W, Alexander D K, (1980), The British multicell model for calculating ventilation, ASHRAE Transactions 1980, Vol 86, part 2, New York.
- Etheridge D W, Nolan J A, (1979), Ventilation measurements at model scale in a turbulent flow, Building and Environment, 1979 vol 14, London.
- Falkenhaus T, (1981), Formaldehyd - nulägesrapport. Trähusgruppens informationsdag 1981-10-28, Träförädlingsbyrå, Stockholm.
- Fickler H, (1978), Trälím och formaldehyd, Styrelsen för teknisk utveckling, STU-utredning 1978:78, Stockholm.
- Franzén G, Nylund P O, (1981), Energiundersökning i Sundbyberg, Väg- och Vattenbyggaren 10, 1981, Stockholm.
- Gefwert M, Södergren D, (1980), Årliga energiförluster genom frånluftsfönster- beräkningsmetod, BFR, Rapport R82:80, Stockholm.
- Gids W de (1978), Calculation method for the natural ventilation of buildings, TNO Research Institute for Environmental Hygiene, Delft, Holland.
- Gids W de, Schijndel Van L L M, Jaap A T, (1979), Wind tunnel and on-site pressure distribution measurements on a house and its effects on infiltration, ASHRAE Transactions, 1979, Vol 85, part 2, p 411-427, New York.
- Girdo V, (1978), Grundläggande förutsättningar för soluppvärmning av byggnader i Skandinavien, BFR, Rapport R108:1978, Stockholm.
- Glaumann M, (1977), Buss för klimatmätningar utomhus, Informationsbroschyr, SIB, Gävle.
- Graeffe G, (1979), Hur påverkar joner partiklar i luften, VVS nr 3, 1979, Stockholm.

- Gustén J, Handa K, (1981), Mikroklimat och ventilation, Projektbeskrivning i anslutning till BFR-ansökan, CTH, Byggnadskonstruktion, Göteborg.
- Hammarsten S, Persson A, (1980), Undersökning av hur statligt stödda energisparåtgärder utförts, delrapport 1: Resultat från besiktningar, SIB, Meddelande M80:2, Gävle.
- Hammarsten S, Pettersson B, (1980), Undersökning av hur statligt stödda energisparåtgärder utförts, delrapport 2: Resultat från luftmätningar, SIB, Meddelande M80:18, Gävle.
- Hammarsten S, Pettersson B, (1981), Har energisparåtgärder utförts på ett riktigt sätt? Byggmästaren 4, 1981, Stockholm.
- Handa K, Gustén J, (1981) Mikroklimat: Vindtrycksfördelning på småhus. Fullskalemätningar av tryckfördelningar på fasader och tak samt beräkning av luftväxling, CTH, Byggnadskonstruktion, Rapport 1981:9, Göteborg.
- Handa K, Kärrholm G, Lindquist T, (1979), Mikroklimat och luftväxling, BFR, Rapport T3:1979, Stockholm.
- Harrje D, (1980), Infiltration measurements, International Energy Agency handbook for field studies on building retrofits, Section IIIe, publicerad av Politecnico di Torino, Istituto di Fisica Tecnica e Impianti Nucleari, Turin, Italien.
- Hedberg H O, (1980), Hur testar man fönsters täthet?, Byggindustrin 24:80, Stockholm.
- Holmström I, (1981), Isolering och täthet i äldre hus. Att täta äldre hus, Bidrag till "Energihushållning i Byggnad". Symposium 1981, Statens Provningsanstalt, Borås.
- Honma H, (1975) Ventilation of dwellings and its disturbances, KTH, Uppvärmnings- och ventilationsteknik, Tekniska Meddelanden 63, 1975:2 (vol 3), Stockholm.
- Höglund I, Wånggren B, (1979), Funktionsstudier av tätningslistor för fönster och dörrar, BFR, Rapport T7:1979, Stockholm.
- Jensen M, Frank N, (1965), Model scale tests in turbulent wind, Part II, Phenomena dependent on the velocity pressure. Wind loads on building, The Danish Technical Press, Copenhagen.
- Jergling A (1979), Fogar mellan byggnadskomponenter i ytterväggar, BFR, Rapport R132:1979
- Jergling A (1981), Luftläckage genom sprickor i betongelement, CTH, Byggnadskonstruktion, Rapport 1981:7, Göteborg.
- Johannesson C M, (1978), Värmeläckage i samband med öppnande av ytterdörrar, KTH, Konstruktionslära, Rapport 18, Stockholm.

- Johansson Ch, (1978), Tryckmätningssutrustning för mätning av lufttäthet i småhus, CTH, Byggnadskonstruktion, Rapport 1978:16, Göteborg.
- Johansson I, Pettersson S, Rehn T, (1978) Luftföroreningar inomhus. Gaskromatografisk analys i fyra nybyggda barnstugor, VVS nr 11, 1978, Stockholm.
- Jonassen N, (1979), Radioaktiva föroreningar i byggnadsmaterial, VVS nr 3, 1979, Stockholm.
- Jonsson S, (1978), Energisnåla småhus - en konsekvensanalys, Träindustrin 8, 1978, Stockholm.
- Korsgaard J, (1979), The effect of the indoor environment on the house dust mite. Indoor climate. Danish Building Research Institute, Köpenhamn.
- Kronvall J, (1979), Mätningar och mätmetoder för lufttäthet, BFR, Rapport T6:1979, Stockholm.
- Kärrholm G, Persson M, Abel E, Alm B, Augustsson R, (1979), Programplan 1981-84. Redovisning av byggnadssystemgruppens arbete, CTH, Byggnadskonstruktion, Göteborg.
- Lambole G, Viton P, (1977), Compte - rendu de la Comparaison internationale des anémomètres, Organisation Météorologique Mondiale, Commission des instruments et des méthodes d'observation, France.
- Larm S, (1979), Beräkningsmetod för den totala ventilationen i en byggnad under påverkan av vind, termik och flätkrafter, Svenska Fläktfabriken, Teknisk Rapport S79.001, Stockholm.
- Larm S, (1981), Ventilation i småhus - en systemanalys, Svenska Fläktfabriken, Teknisk Rapport S81.006, Stockholm.
- Larsen, B T, (1974a), VEBER et EDB-program til hjelp ved prosjektering av ventilasjonsanlegg, Saertrykk 226, Norges Byggeforskningsinstitutt, Oslo.
- Larsen B T, (1974b), Ventilasjonsberegninger. Brukerbeskrivelse av datamaskinprogrammet VEBER, Norges byggeforskningsinstitutt, Oslo.
- Lee B E, Hussain M, Soliman B, (1980), A method for the assessment of the wind-induced natural ventilation forces acting on low rise building arrays, Building Services Engineering Research & Technology, Vol 1 no 1 1980, London.



- Levin P, (1981), Klimatstudie ger besked - stödbensvind bör ventileras, Byggmästaren nr 10, 1981, Stockholm.
- Linder C, (1981), Nya bestämmelser om strålning i byggnader, Byggmästaren nr 1-2, 1981, Stockholm.
- Lindquist T, (1980), Värmeförluster genom påtvingad konvektion i mineralullsisolerat småhus, CTH, Byggnadskonstruktion, Rapport 1980:10, Göteborg.
- Lindquist T, (1981), Datorstyrd ventilscanner för vindtrycksmätningar, CTH, Byggnadskonstruktion, Rapport 1981:21, Göteborg.
- Lindquist T, Bergenstjerna A, (1979), Värdering av lufttätethet hos fönster, CTH, Byggnadskonstruktion, Rapport 1979:2, Göteborg.
- Lundin L, (1981), Täthetsmätning av radhuslägenhet i byggnadskonstruktion av trä, Bidrag under sektion 7 till "Energihushållning i Byggnad"; Symposium 1981, Statens Provningsanstalt, Borås.
- Lyberg M, (1982), Energy losses due to airing by occupants Bidrag från SIB, Gävle till CIB W61, April 1982, Dublin.
- Löfgren I, (1981), Hälsoskydd i byggnader. FOU-program 1981-1984, BFR, Rapport G5:1981, Stockholm.
- Magnusson B, Bergenstjerna A, (1981), EBALS-datorprogram för bestämning av en byggnads energibalans, Koncept, Trätekniskt centrum, Stockholm.
- Newberry C W, Eaton K J, (1974), Wind loading handbook, Building Research Establishment, London.
- Nylund P O, (1979a), Tjyvdrag och ventilation, BFR, Rapport T4:1979, Stockholm.
- Nylund P O, (1979b), Varför täta hus?, VVS nr 11, 1979, Stockholm.
- Nylund P O, (1979c), Täthetsprovning av småhus och radhus, Byggmästaren nr 5, 1979, Stockholm.
- Nylund P O, (1980a), Byggnaden måste ses som ett totalsystem, Energimagasinet 1980:1, Göteborg.
- Nylund P O, (1980b), The application of reciprocity in tightness testing, Paper no 8, First AIC Conference, Air Infiltration Centre, London.

- Nylund P O, (1981.), Energibesparing i byggnader, huvudvärk över skrågränserna, Byggmästaren 7-8, 1981, Stockholm.
- Persson M, (1978), Förslag till nomenklatur gällande byggnaders lufttäthet, Täthetsgruppen; intern rapport, Byggeforskningsrådet, Stockholm.
- Persson M, (1980), Lufttäta hus - hur och varför, BFR, Rapport G19:1980, Stockholm.
- Peterson F, (1980), Radon från byggnadsmaterial, KTH, Uppvärmning och ventilationsteknik, Tekniskt meddelande nr 138, 1980, Stockholm.
- Railio J, (1981), Provning av lufttäthet i flerbostadshus med hjälp av existerande ventilationssystem, Bidrag till "Energihushållning i Byggnad"; Symposium 1981, Statens Provninganstalt, Borås.
- Rose J W S, (1981), SUMAC - A System of Utility Monitoring, Analysis and Control, International Energy Agency, Energy Audit Workshop 13-15 April 1981, Helsingör, Danmark.
- Rørdal E, (1980), Inneklima. Sunnhet og komfort kontra energi og økonomi, KTH, Uppvärmnings- och ventilationsteknik, Tekniskt meddelande nr 182, 1980, Stockholm.
- Sandberg M, (1981a), Luftomsättning - vad är det?, VVS nr 7-8, 1981, Stockholm.
- Sandberg M, (1981b), What is ventilation efficiency? Building and Environment, vol 2 1981. London.
- Shaw C Y, (1979), A method for predicting air infiltration rates for a tall building surrounded by lower structures of uniform height, ASHRAE - Transactions vol 85, part 1, 1979, New York.
- Shaw C Y, Tamura G T, (1977), The calculation of air infiltration rates caused by wind and stack action for tall buildings, ASHRAE - Transactions vol 83, part 2, 1977, New York.
- Soliman B F, Frick F R, (1974), Effect of building grouping on wind induced natural ventilation, University of Sheffield, England, CBI Congress, Budapest, Ungern.
- Statens Planverk, (1977), Energihushållning i befintlig bebyggelse, Rapport 41:1977, Stockholm.

Statens Planverk, (1981), Strålning i byggnader, Rapport 54:1981, Stockholm

Svensk Byggnorm, SBN 1980, Stockholm.

SP Metod 1977:1, Lufttäthet bestämd med tryckmetod, Statens Provvningsanstalt, Borås.

Svenska kommunförbundet, (1980), Strålrisker i byggnader, Cirkulär 80.50, 1980, Stockholm.

Strand S, (1979), Tillämpning av ett reciprocitetsteorem vid täthetsprovning av byggnader, Examensarbete i Byggnadsteknik, KTH, Stockholm.

Swedjemark G A, (1979), Problemet med radon och radondöttrar inomhus, VVS nr 3, 1979, Stockholm.

Svensson A, (1977), Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer, BFR, Informationsblad B4:1977, Stockholm.

Svensson A, (1981), Värmeåtervinning ur ventilationsluft, Bidrag under sektion 2 till "Energihushållning i Byggnad"; Symposium 1981, Statens Provvningsanstalt, Borås.

Taesler R, (1972), Klimatdataboken BFR, Stockholm.

Taesler R, (1981), Enloss - modell för kvantitativ analys av klimatberoendet i energihushållningen, konceptutdrag, SMHI, Norrköping.

TNC 69, "Luftbehandlingsordlista" (1978), Tekniska nomenklaturcentralen, Stockholm.

Thorén T, (1978), Dynamisk isolering, Styrelsen för teknisk utveckling, STU-information 76, Stockholm.

Valbjørn O, (1979), Indeklimaet generelt, Materialnyt nr 4, 1979, Hørsholm.

















**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
810004-5 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Chalmers Tekniska Högskola, Inst. för  
Byggnadskonstruktion, Göteborg.**

**R3: 1984**

**ISBN 91-540-4056-6**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6704003**

**Abonnemangsgrupp:  
V. Anläggningsteknik**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm**

**Cirka pris: 40 kr exkl moms**