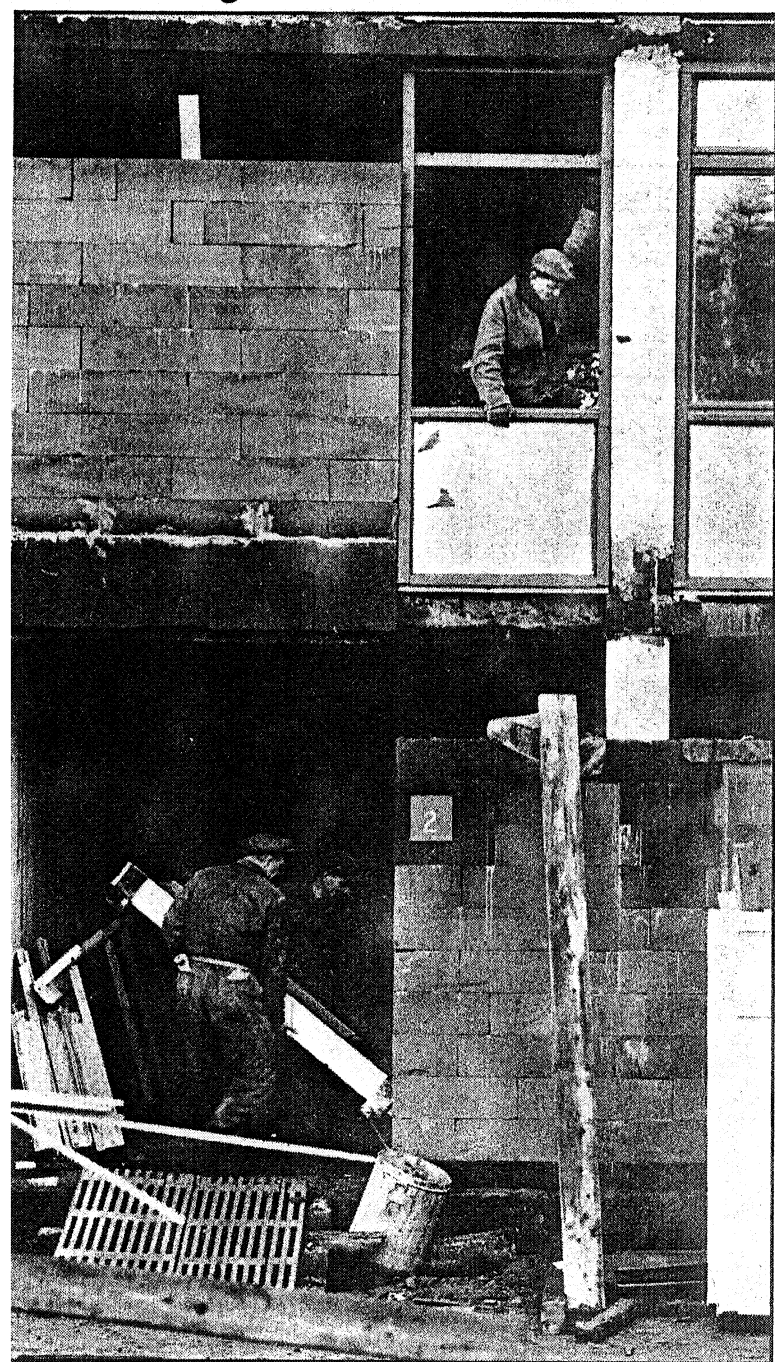


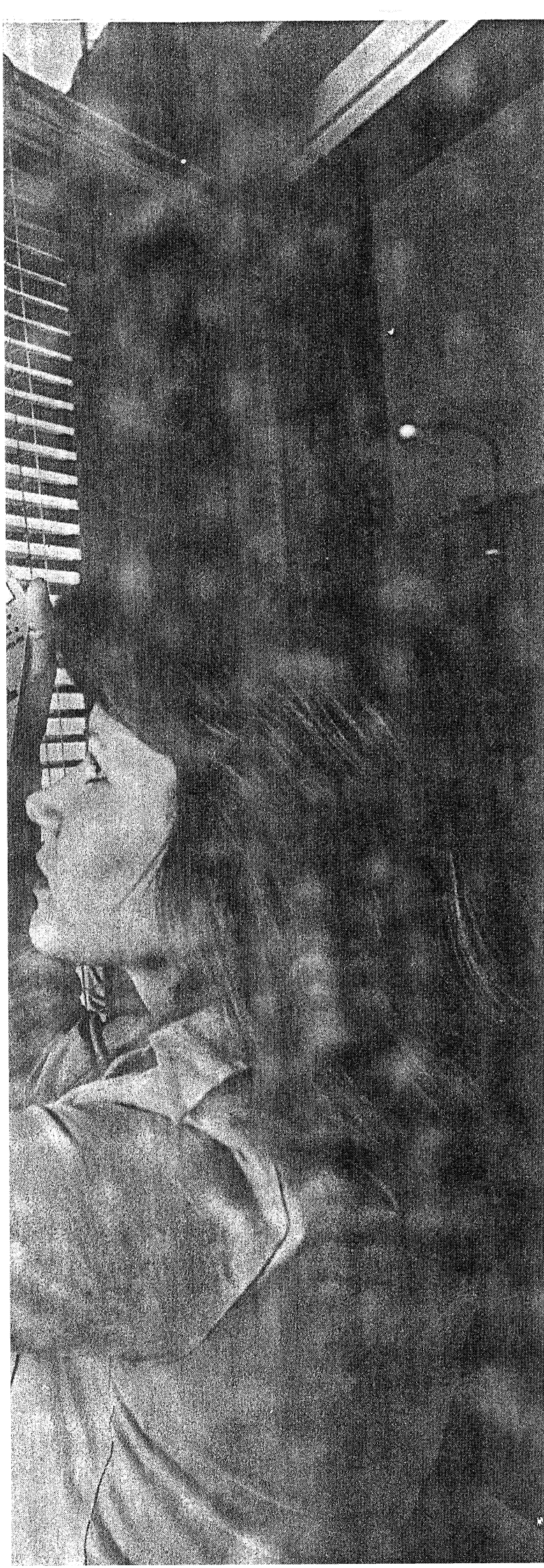
Byggnaders täthet: Ett energi- problem i skymundan



På de flesta bygplatser är kunskapen om tätningsproblemen liten.

Genom att tätta fönster o dyl samt inreglera ventilationen m m kan man minska energiförlusterna i byggnader med kanske en fjärdedel innan sekelskiftet. ➔





Tätare byggnader har hittills ansetts som ett självklart medel för energisparande. Men detta är inte så enkelt att genomföra som många trott. Tex kan hygieniska krav komma i motsättning till en acceptabel uppvärmningsekonomi. Mekanisk från- och tilluftventilation (FT-ventilation) med värmeåtervinning är en lösning, skriver Nils-Eric Lindskoug. Därmed kan det bli möjligt att drastiskt minska energiförlusten i byggnader.

energi

Läckning och läckflöde är ofta liktydigt med "ventilation" uttryckt i luftomsättningar/timme. Vid mekanisk ventilation tillkommer vissa styrda luftflöden. Tanken är att dessa styrda luftflöden skall dominera.

Låt oss först definiera ett par begrepp för de fortsatta resonemangen. "Otäthet" uttrycks som antal luftomsättningar/h orsakad av läckning genom byggnadens skal då huset satts under övertryck eller undertryck av 50 Pa. Ventilationskanaler är stängda och tätade vid mätningen av denna "otäthet".

Forskning har visat på ett sam-

band mellan luftflöde under konstant tryck genom otätheterna i ett hus å ena sidan och "naturlig" luftläckning å den andra, på 1:20. ①

Detta samband skulle då ge så låga luftomsättningstal som 0,02 ggr/h - dvs 1/20 av 0,3 luftomsättningar/h, vilket är den otäthet som tillåts för ett typiskt småhus enligt Svensk Byggnorm 1975, supplement 1: Energihushållning m m.

Tveksamt samband med gasanalys

Detta samband är dock falskt. Mätningarna som gett de små luftomsättningstalen har i allmänhet skett med s k gasanalys och har oftast avsett mätning med tillslutna och förseglade ventilationskanaler. Därmed reduceras drastiskt inverkan av den termiska stigverkan, varför det på så sätt uppmätta fallet inte

① Sambandet mellan luftflöde under konstant tryck å ena sidan och "naturlig" luftläckning å andra sidan genom otätheterna i ett bostadshus (småhus) enligt förekommande litteraturuppgifter. (Anm: Det finns i litteraturen redovisade samband av upp till 1:50, vilket styrks med regressionsanalys).

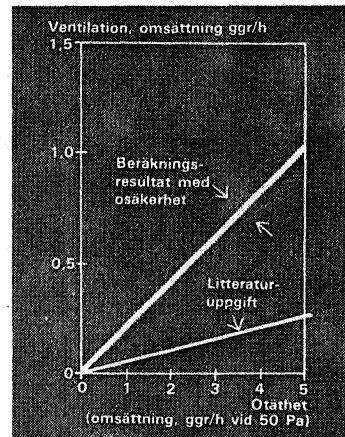
Mätning med gasanalys av "natural infiltration" (ofrivillig ventilation)

50-150 m³/h
(stort antal)

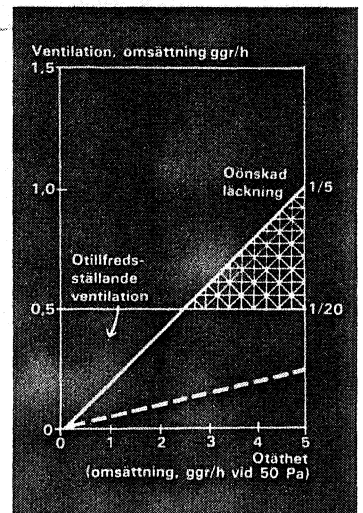
Mätning av flöde vid över- eller undertryck i hela huset

1000-3000 m³/h
(ett relativt fåtal)

Slutsats: Relationen är 1:20



② Ungefärlig luftomsättning i ett småhus i Stockholm som funktion av dess otäthet. (Otäthet=luftflöde uttryckt i antal luftomsättningar/h vid över- eller undertrycket 50 Pa.)



③ Önskad läckning vid självdragsventilation (småhus i Stockholm).

blir representativt för ventilationens (och luftläckningens) funktion i verkligheten.

Man har därför försökt att beräkna luftläckningen för ett typiskt småhus under naturliga förhållanden. Beräkningarna har genomförts med dator, varvid vindstyrkor och temperaturdifferenser har noterats för hela året. Därefter har luftläck-

Så här kan man om 20 år spara uppåt 30 TWh

ningen genom byggnadens samtliga ytterytor beräknats och summerats. Dessa beräkningar kan lätt korreleras direkt med de täthetsegenskaper som kan mätas med över- eller undertrycksmätning. ②

Beräkningsresultatet är inte helt entydigt, eftersom det undertryck som uppstår i ett hus under inverkan av vind och termik inte har kunnat beräknas. Undertrycket har därför varierats från 0 till maximalt tänkbart värde.

Det som har beräknats kan också anses vara självdragsventilationens storlek i ett småhus som funktion av husets otäthet. Dess storlek är ungefär 1/5 av otäthetstalet och inte 1/20 som vissa litteraturuppgifter gett intryck av.

Ett slags karakteristiska funktionslinjer för ventilation av olika slag kan konstrueras med ledning av hittills förda resonemang. Om man antar att den önskade ventilationen är 0,5 luftomsättningar/h, visar beräkningarna att självdragsventilationen (S-ventilationen) fungerar tillfredsställande (årsgenomsnittet) endast då huset har en otäthet motsvarande talet 2,5. ③

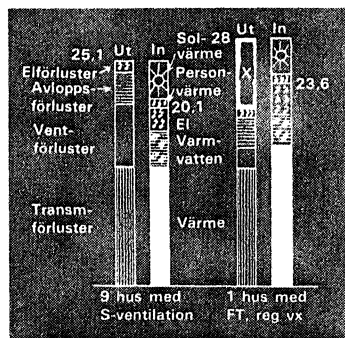
Vid frånluftventilation bestäms flödet genom kanalsystemet av fläkten. Termiken kan inte nämnvärt påverka detta flöde. Läckningen genom husets skal är ju därför mest vindberoende, åtminstone i småhus. Mycket täta hus måste göras mindre täta genom att man ordnar med tilluftöppningar exempelvis vid fönstren eller som en del av fönsterkonstruktionen. ④

Det har framhållits – nära nog som en självklarhet – att våra byggnader i fortsättningen skall göras tätare. Redan hittills förda resonemang antyder att en sådan utveckling pekar mot införandet av mekanisk från- och tilluft (FT-ventilation). Dess karakteristiska funktionslinjer skulle kunna vara enligt ⑤.

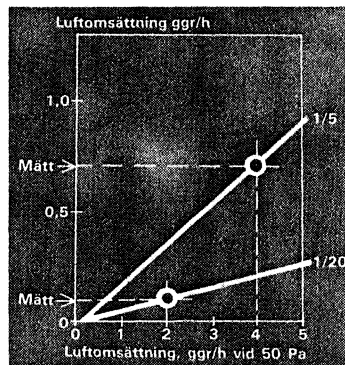
Obalans mellan tilluft och frånluft är en fråga om att justera flödena. Detta är givetvis lättare att göra i ett tätt hus. Bättre noggrannhet än $\pm 10\%$ kan man inte räkna med som "fältmässigt" värde. Tilluft som ligger på $+10\%$ samt frånluft som ligger på -10% ger 20% önskad läckning utåt. Avvikelse åt samma håll ger däremot ingen extra läckning. ⑥

Indicier talar för önskad läckning

I Tekn T 1966:8 s 147-152 redovisades tio provhus i Tillberga. Nio av husen hade självdragsventilation



⑦ Energibalanser från försöken i Tillberga. En hittills oförklarad energiförbrukningspost i huset med FT-ventilation uppgår till 7 à 8 MWh/år (X betecknar oförklarad förbrukningspost.)



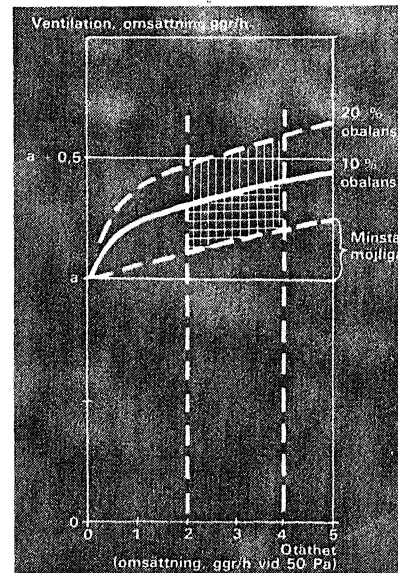
⑧ Uppmätta läcktal i försöks-huset i Tillberga vid stängd respektive öppen frånluftventilation samt jämförelse med karakteristiska funktioner enligt litteraturuppgifter och enligt teoretiska beräkningar.

och energiförbrukningen överensstämde mycket väl med på sedvanligt sätt genomförda teoretiska beräkningar.

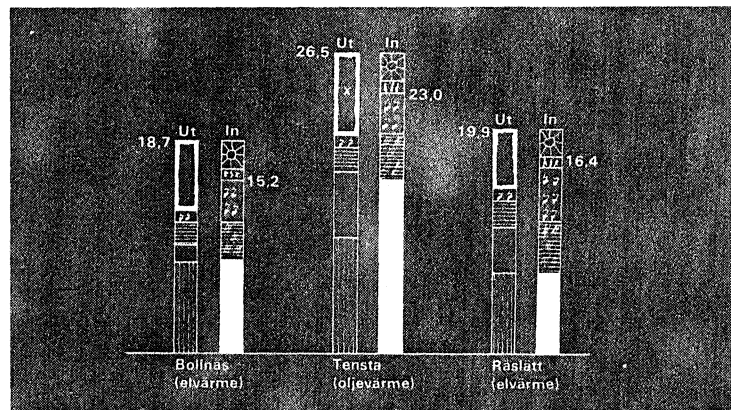
Det tionde huset hade FT-ventilation och värmeåtervinning. Detta

hus hade en oförklarligt hög energiförbrukning. Trots värmeåtervinningen förbrukade detta hus mer än alla de övriga. Vi kunde konstatera: "att utöver den reglerade luftomsättningen på en gång/h med värmeåtervinning till 80%, har värme motsvarande ytterligare 1/2 luftomsättning/h förbrukats genom ofrivillig ventilation eller försvunnit på annat sätt". ⑦

Om man accepterar grunddragen i detta kan följande resonemang bidra till en förklaring av vad som skett. Tillberghuset följdes upp noga med olika slags mätningar.



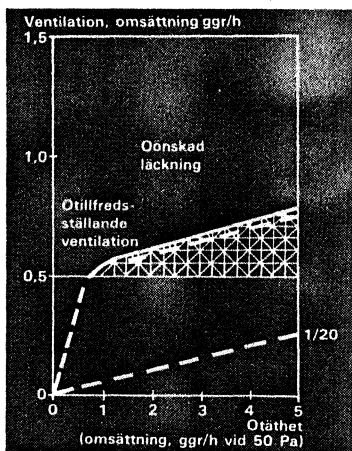
⑨ Önskad luftläckning i ett FT-ventilerat hus i Tillberga (Tekn T 1966:8 s 147-152). Merförbrukningen av energi utöver den beräknade antogs bero på ca 0,5 omsättningar per timme i önskad läckning. Nivån "a" var något över 1 omsättning per timme.



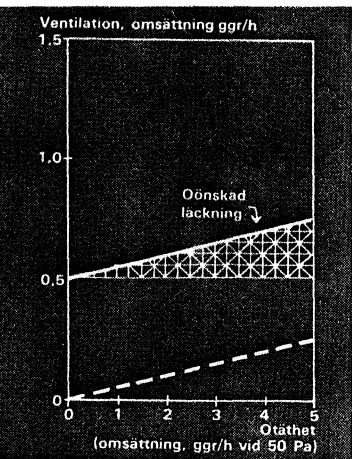
⑩ Schablonberäknade förluster samt avläst totalförbrukning i Bollnäs, Tensta och Råslätt-projekten (X = oförklarad restpost.)

⑪ Vissa förbrukningsdata ur utredningar om de tre projekten Bollnäs, Tensta och Råslätt.

Projekt	Totalenergi-åtgång per lgh (MWh/år)	Beräknad transmission ventilation + 0,5 × varmvatten (MWh/år)	Kvot
Bollnäs	15,2	11,6	1,31
Tensta	23,0	18,3	1,26
Råslätt	16,4	13,4	1,22

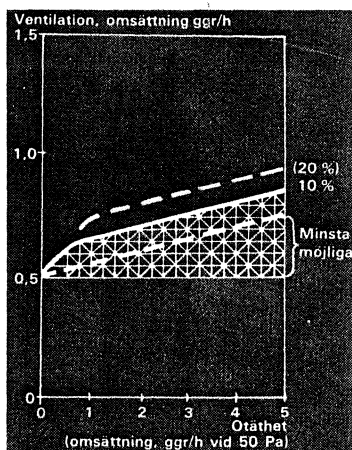


④ Önskad läckning vid mekanisk frånluftventilation. Observera att inregleringen kan ske vid lägre ventilationstal än den önskade för att därmed kompensera läckningen.



⑤ Önskad läckning vid FT-ventilation och perfekt balans (småhus i Stockholm).

⑥ Önskad läckning vid FT-ventilation och maximalt 10% obalans mellan F- och T-flöden (småhus i Stockholm).



Även otätheten mättes upp.

Vid mätning med gasanalys och stängda frånluftventiler var luftomsättningen 0,1 ggr/h. Detta motsvarar en otäthet hos husen av ca 2. (8)

Mätningar med gasanalys och öppna frånluftkanaler skulle på motsvarande sätt antyda en otäthet motsvarande talet 4. Tillberga-husens otäthet skulle alltså legat någonsans mellan talen 2 och 4, vilket verkar vara rimligt. Kombinerat figurerna (5) och (8), varvid samtidigt antas att en obalans motsvarande 10 à 20 % varit för handen, får man ett osäkerhetsområde, inom vilket luftläckningen utöver FT-ventilationen rimligen borde ha legat.

Det är bara att konstatera att merförbrukningen i verkligheten faller inom övre delen av det sålunda konstruerade osäkerhetsområdet. Den "ineffektiva värmväxlaren" i det tionde Tillberga-huset syns alltså nu ha fått en förklaring. (9)

Det finns en rad andra indikationer som pekar åt samma håll. Stapeldiagram som visar energibalansen för flerbostadshusen i Råslätt, Tensta och Bollnäs ger samma bild. Önskad luftläckning kan ha varit en väsentlig bidragande orsak till att förbrukningen varit högre än man haft anledning att vänta. (10) (11)

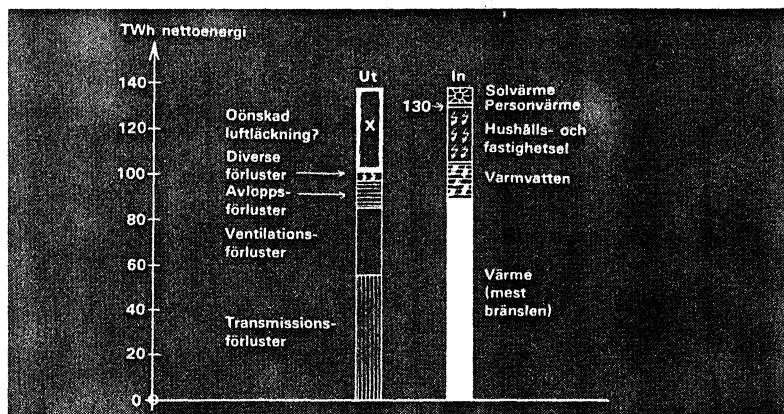
Acceptabel driftekonomi betalas med dålig hygien

Småhus skulle med en otäthet motsvarande 2,5 luftomsättningar/h vid 50 Pa tryck ha en tillfredsställande självdragsventilation. Så är tyvärr inte fallet. Vintertid är ventilationen för stor och övrig tid är den för liten för att tillfredsställa de hygieniska kraven. (12)

En acceptabel driftekonomi betalas alltså med otillfredsställande hygien. Efter den 1 juli 1978 får småhusen vara högst så otäta som motsvarar 3 luftomsättningar/h vid 50 Pa. Det genomsnittliga småhuset kanske då kan förväntas ligga vid otäthetsstalet 2. Åtminstone sommartid har sådana hus otillfredsställande ventilation. Förmodligen är den otillfredsställande även vår och höst.

Under sådana omständigheter är det naturligt att överväga FT-ventilation, varvid helt plötsligt gäller att täthetskraven måste ställas väsentligt högre än vad som nu är fallet. En otäthet motsvarande 1,0 kan mycket väl tänkas vara det mesta som bör accepteras och kanske kan högre otäthet allvarligt försämra ekonomin med FT-ventilation och värmeåtervinning. Detta blir mer och mer betydelsefullt ju högre husen är. Termik medverkar till inläckning ner till och utflöde i de övre våningarna. Läckningskurvan i (4) (och (5)), som främst baseras på mätningar i småhus, blir med säkerhet brantare och till och med mycket brantare.

Det finns ett antal indicier som antyder att just luftläckning är den största energiförbrukningsposten i exempelvis typiska kontorsbyggnader och andra liknande stora byggnader som byggts de senaste decennierna. Tamura m fl har visat att 5 kontorsbyggnader i Toronto har en läckning som motsvarar 2,5-5 luftomsättningar vid 50 Pa, vilket grovt överslagsmässigt omräknat till "naturlig luftläckning" skulle kunna ge upp emot 1,0 luftomsättning/h genomsnittligt över året i rent läckage. Rydberg redovisar i en studie stora tryckdifferenser mellan övre och undre våningar i höga hus. I energiprognosutredningen. Sinds referensprognos m fl skrifter redovisas så höga energiförbrukningstal för "lokaler" att ekvationen inte går ihop om man inte antar en mycket stor önskad luftläckning. Exempelvis kan man ur nämnda källor räkna sig fram till att energiförbrukningen för lokaler ökat från ca 95 kWh/m³ byggnadsvolym år 1972 till ca 110 kWh/m³ år 1976 (nettoenergi). Detta kan jämföras med grova överslagsberäkningar på vad exempelvis kontorsbyggnader egentligen borde förbruka, varvid luftläckningens roll som bov i dramat i varje fall inte kan uteslutas. (13)



(13) Spekulativ energibalans för alla Sveriges byggnader. Den önska luftläckningen definieras som allt det luftflöde genom byggnader som inte projekteras.

Energi-balans för Sveriges byggnader

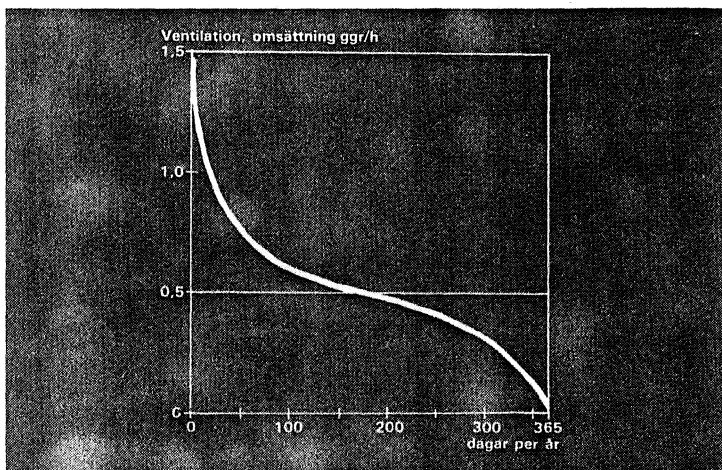
På samma sätt som man kan skissa enkla stapeldiagram för varje enskild byggnads energibalans kan man naturligtvis göra en motsvarande operation för hela det svenska byggnadsbeståndet.

Om man bygger på vissa utredningar som författaren deltagit i på senare år skulle dagsläget grovt kunna skissas enligt (14). Den enda något så när säkra siffran i ener-

gibalansen är 130 TWh som utgör nettoenergin för samtliga byggnader. Övrigt är resultat av rätt grova överslagsberäkningar. Den erforderliga ventilationen har beräknats som 1/2 luftomsättning/h på hela byggvolymen under all tid för bostäder och under tredjedelen av årets alla timmar för alla lokaler.

Uppenbarligen finns en högst avsevärd luftläckning och mycket talar för att den skulle kunna nedbringas i väsentlig grad.

Om vi antar att det nu huvudsakligen är luftläckning (eller felaktig ventilation) som är den stora "x-posten" i energibalansen vore det kanske en rimlig målsättning att med tätning, inreglering och styrning av ventilation m m försöka reducera denna förlust till 1/3 eller 1/4 av dagens värde innan sekelskiftet. Den samlade besparingen som man skulle kunna uppnå genom att successivt förändra husen på detta sätt är mycket stor. År 2000 är en årlig besparing av 30 TWh inte otänkbar. Den summerade besparingen över alla åren fram till sekelskiftet skulle i så fall kunna ge ett energibelopp motsvarande en hel årsimport av olja.



(12) Varaktighet av ventilation vid självdrag där genomsnittsnivån (0,5 omsättning per timme) är godtagbar.

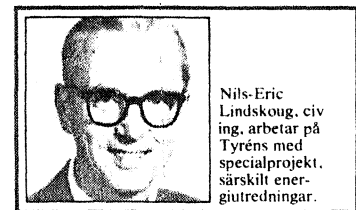
Exempel på tänkbara energibalanser för cellkontor i Stockholm i kWh/m³ byggnadsvolym.

Energiflöde	Kontor på 60-talet	Kontor på 70-talet	Kontor enligt nya energinormen
Transmission	30	30	15
Styrd ventilation	30	10*	5*
Varmvatten och kallvatten	1	1	1
Solinstrålning (nyttig)	- 10	- 10	- 5
Personvärme	- 2	- 2	- 2
Summa	49	29	14
Tänkbar luftläckning	60	30	10
	(1 oms)	(1/2 oms)	(1/6 oms)
Total nettoenergi	109	59	24
Varav el	20	20	20

* motsvarar 1/2 luftomsättning räknat på hela byggnadsvolymen under 30 % av all tid - med nya energinormen antas värmeåtervinning.

Mer att läsa:

- Håll, S. & Lindskoug, N-E: *Två års elvärme-mätningar i Råslätt*. VVS 1970:11.
- Byggnadsenergigruppen: *Energianvändning i byggnader. Mätningar och studier i flerfamiljshus*. BFR-R10:1974.
- Adamson, B. Hämler, J. & Mandorff, S: *Energi-besparing. En undersökning i två flerfamiljshus*. BFR-R23:1975.
- Lindh, A. & Lindskoug, N-E: *Hur täta hus?* Byggmästaren 1976:4.
- Rydberg, J: *Om ventilationssystemens funktion*. VVS 1968:2.
- Energi-prognosutredningen.
- SIND: *Sveriges energikonsumtion till 1995. Referensprognos*. PM 1977:5.
- Lindskoug, N-E: *Energi till byggnader 1975-2000*. BFR 1977.
- EFA 2000. *Energiförsörjningsalternativ i ett längre tidsperspektiv*, bilaga LOK "Energianvändning och besparingsåtgärder i bostads- och lokalbeståndet m m". 1977.



Nils-Eric Lindskoug, civ ing, arbetar på Tyréns med specialprojekt, särskilt energitredningar.