

**Rapport**

**R38:1979**

# **Byggnaders lufttäthet**

**Arne Lindh**

**Nils-Eric Lindskoug**

**Per Olof Nylund**

**Byggforskningen**

R38:1979

BYGGNADERS LUFTTÄTHET

Arne Lindh  
Nils-Eric Lindsoug  
Per Olof Nylund

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
750697 från Statens råd för byggnadsforskning  
till TYRENS, Stockholm.

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

R38:1979

ISBN 91-540-3000-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1979 952465

## INNEHÅLL

SAMMANFATTNING . . . . .	5
1 ARBETETS BEDRIVANDE . . . . .	11
2 MÄTAPPARATER, MÄTMETODER OCH MÄTNOGGRANNHET . . . . .	15
2.1 Allmänt om tillämpade mätmetoder och använda mätdon . . . . .	15
2.2 Precisionsbarometer - ett nytt mätdon för tryckmätning . . . . .	16
2,3 De olika mätdonens användningsområden och den fältmässiga mätnoggrannheten . . . . .	16
3 FÄLTMÄTNINGAR OCH RESULTAT . . . . .	19
3.1 Allmänt . . . . .	19
3.2 Mätningar på småhus . . . . .	19
3.2.1 Kungsängen . . . . .	19
3.2.2 Det första provhuset i Skutskär . . . . .	19
3.2.3 Mätningar i Grängesberg . . . . .	20
3.2.4 Energisnåla småhus i Umeå - villa -80 (Nolia 1977) . . . . .	21
3.2.5 Täby-projektet . . . . .	22
3.2.6 Åkersberga . . . . .	24
3.2.7 Övrigt . . . . .	24
3.3 Mätningar i flerbostadshus . . . . .	24
3.3.1 Lägenhet i Hallunda . . . . .	24
3.3.2 Mätning av flerbostadshus i Jakobs- bergs centrum . . . . .	25
3.4 Mätningar i stora kontorshus . . . . .	25
3.4.1 Polishus i Norrköping . . . . .	25
3.4.2 Kv Grönlandet - kontorsdelen . . . . .	26
3.5 Sammanställning av värden från täthetsprovning . . . . .	27
4 KOSTNADER OCH ENERGIBESPARING . . . . .	29
4.1 Kostnader - småhus . . . . .	29
4.2 Lönsamhet . . . . .	29
5 SYNPKUNKTER PÅ FUNKTIONSKRAV, KONTROLL OCH UPPHANDLING . . . . .	31
5.1 Funktionskrav . . . . .	31
5.2 Upphandling och kontroll . . . . .	31
5.3 Upphandlingen av Vallatorpsområdet i Täby år 1977 . . . . .	32
5.4 Slutsatser och rekommendationer . . . . .	33
6 DISKUSSION OCH SLUTSATSER . . . . .	35
7 SLUTORD . . . . .	39
TABELL 1 - TABELL 2 . . . . .	40
BILD 1 - BILD 21 . . . . .	41 - 59
BILAGA 1 - 6 . . . . .	61

## SAMMANFATTNING

Denna slutrapport avser ett forskningsprojekt som bedrivits i två etapper. Arbetet har skett från senhösten 1975 till hösten 1978. Under denna tid har utvecklingen gått snabbt och lett till en ökad klarhet rörande frågorna kring täta hus - byggnadsteknik, provning vad tätheten betyder etc. Förståelsen för täthetens väsentliga betydelse från hygien- och energisynpunkt ökar mer och mer.

### TÄTHETENS PRINCIPIELLA INNEBÖRD, SAMVERKAN TÄTHET - VENTILATION

De primära kraven på inomhusklimat är att de skall erbjuda

- o en lagom och helst något varierande temperatur utan störande drag,
- o erforderlig luftväxling och tillfredsställande luftkvalitet.

Kravet på luftväxling tillgodoses genom ventilationssystem - numera oftast mekaniska. Byggnaden med dess hölje och ventilationssystemet ingår som komponenter i ett integrerat aeromekaniskt och termomekaniskt system, som skall vara utformat så att varje utrymme får den avsedda luftväxlingen.

Strömningsvägarna för luft till och från byggnaden utgörs av

- o avsiktliga vägar i form av från- och tilluftskanaler och ventiler etc,
- o oavsiktliga strömningsvägar i form av ofrånkomliga otätheter i höljet.

För att systemet byggnadshölje/ventilationssystem skall kunna erbjuda en väl kontrollerad och behovsanpassad luftväxling krävs att otätheterna i höljet inte är för stora. Otätheter innebär ju vad man i praktisk hantering kallar tjuvluft. Vi får en störning av den tänkta funktionen, som kan innebära att rum eller delar av hus får otillräcklig ventilation på grund av att luften strömmar andra vägar än de avsedda.

En annan störning består i drag från de okontrollerade otätheterna och - om de är för stora - betydande obehag.

Täthetens betydelse består alltså i att

- o tjuvluft i systemet byggnad/ventilationssystem och därmed otillräcklig luftväxling undviks
- o besvärande drag kan elimineras.

o lägre energiförbrukning kan uppnås.

Förutom den menliga inverkan på inomhusklimatet ger drag ytterligare ökad energiförbrukning eftersom man ofta tvingas öka temperaturen för att kompensera draget.

SMÅHUS, SITUATIONEN 1975-76, - FÖRE SBN 75,  
SUPPL NR 1

#### Hur täta hus?

Ganska snart efter det projektet påbörjats stod det klart att småhus i allmänhet hade en dålig täthet. Arbetet inriktades därför på att undersöka vilken täthet som kunde uppnås för småhus med tillgänglig byggnadsteknik. Ett provhus i Skutskär var veterligen det första försöket i landet att åstadkomma ett tätt hus i "lösverkesproduktion". Detaljerna av detta arbete redovisades utförligt i slutrapporten från etapp 1. Denna rapport fick stor spridning under senhösten 1976. I skutskärshuset uppnåddes en otäthetsfaktor av ungefär 1,0 - ett värde som föreföll tillfredsställande ur funktionssynpunkt. Som jämförelsevärde kunde emellertid resultatet endast jämföras med Gasbetongs provhus i Skövde, som hade ungefär samma täthet. Något senare kom energinormens Supplement nr 1 och då stod det klart att huset i Skutskär var mycket tätt.

#### Hur provar man tätheten?

Den s k tryckprovningssmetoden som parallellt utvecklats vid flera av de institutioner och företag som bedrev arbete på området är nu grunden för normens definition på täthet. Provningsutrustningen består av separata provningsfläktar, flödesmätare och manometrar. BILD 1 visar ett bland de första husen som täthetsprovats



BILD 1 Provhuset i Skutskär - Ett av de tidigast provade husen.

Hur mycket inverkar tätheten på energiförbrukningen?

Alla tre författarna till denna rapport hade tidigare arbetat med problemet täthet ur energi-, komfort- och byggnadsteknisk synpunkt. Det stod klart att tätheten har stor betydelse både när det gäller komfort och energiförbrukning, men den kvantitativa betydelsen kunde inte klart överblickas. Emellertid gav det upphov till spekulationer om inte otätheter och okontrollerad luftläckning skulle kunna förklara bristande energibalanser i ett tidigare forskningsprojekt i Tillberga (1963-66).

SMÅ HUS - SITUATIONEN 1978 - TVÅ ÅR SENARE.

Hur bygger man tätt?

I nuläget, dvs två år senare, finns det många småhus som byggts med tanke på täthet, med en tätningsteknik som också i många fall är ungefär densamma som i det första Skutskärs-huset. Uppmätta värden för otäthetsfaktorer ligger i många fall omkring och under 1,0.

Hur provar man tätheten?

Den grundläggande provningsmetodiken är densamma som två år tidigare. Samma sak gäller provningsutrustning som dock under tiden utvecklats och förfinats. Tryckprovningssmetoden är nu också standardiserad som Statens Provningsanstalts metod 1977:1.

En utveckling och en nyansering av provningstekniken har dessutom skett. Vi har i vårt arbete med täthetsprovning bl a gjort både teoretisk härledning och praktisk tillämpning av en ny provningsmetodik. Vid provning av radhus och lägenheter medger denna korrektion för flöden genom lägenhetsskiljande väggar - flöden som inte har med byggnadens energiutbyte mot det fria att göra. Metoden undersöks i samarbete med Provningsanstalten, som testar metodens fältmässighet i litet större skala. Bl a avses att undersöka om metoden kan ingå som komplement till den standardiserade metod 1977:1 just för täthetsprovning av radhus. Resultaten är hittills positiva. Dessutom skall göras en modellstudie i laboratorium för att verifiera hypotesen.

P O Nylund har analytiskt formulerat och framlagt ett reciprocitetsteorem för tryck och flöden genom delytor till ett hölje eller delytor i ett av flera celler uppbyggt hölje. Teoremet avser också delytor i ett av flera celler uppbyggt hölje. Resultatet härav kan komma att medföra väsentligt utökade möjligheter att kartlägga otätheters fördelning på olika delytor i byggnaders höljen. Hypotesen har undersökts experimentellt i laboratorium och bekräftats. Redovisning av detta arbete pågår för närvarande.

Hur mycket inverkar tätheten på energiförbrukningen?

Täthetens stora betydelse för en god energiekonomi har bekräftats av alla erfarenheter hittills.

STORA HUS - SITUATIONEN 1975-76 FÖRE SBN 75,  
SUPPL NR 1

I startskedet visste man inte mycket om hur problemen skulle tacklas. Östen Sandbergs tal om tryckbalansering var dock en startpunkt.

STORA HUS - SITUATIONEN 1978 - TVÅ ÅR SENARE

Parallellt med det forskningsarbete som bedrivits på anslag och som gällt små hus har inom TYRENS utvecklats metoder och apparatur för att kunna fastställa byggnaders energibalans och ekonomi. Arbetet har bedrivits på konsultbasis och huvudsakligen avsett befintliga byggnader och att lämna förslag till energibesparande åtgärder. Vid upprättande av energibalanser är det oftast nödvändigt att bestämma de enskilda energiposterna genom mätningar och beräkningar. Att bestämma storleken av någon väsentlig energiförlustpost genom att räkna fram den som skillnaden mellan total tillförd energi till byggnaden och alla kända förlustposter är klart otillfredsställande.



För stora hus har vi därför utvecklat en teknik (både apparatur och mätmetodik) som omfattar täthetsprovning och samtidig registrering av tryckfall över ytterhöljet. Vidare ingår registrering av tryckbilden, dvs tryckfallet över ytterväggarna, under drift. Genom att kombinera resultaten från sådana mätningar kan energiförluster av ventilation och luftläckning beräknas.

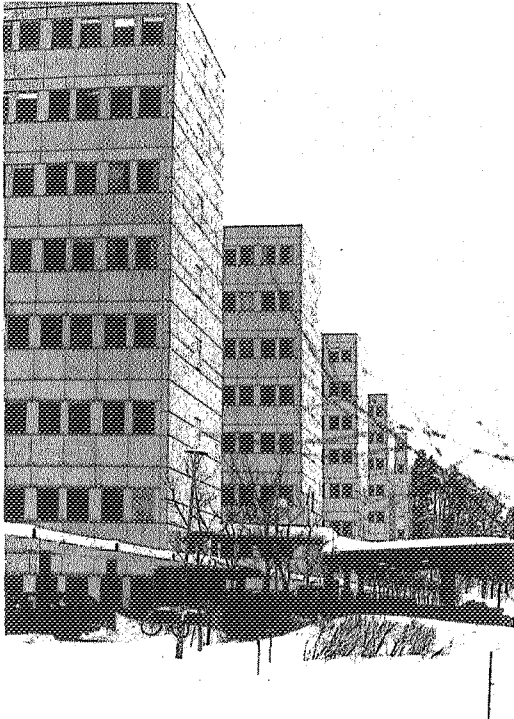


BILD 2 Frescati-Universitetet - Ett av de senare projekt som täthetsprovats och analyserats med avseende på energifunktion.

BILD 2, som visar Frescati-Universitetet illustrerar ett av våra senare större projekt. Med utgångspunkt från bl a täthetsmätningar har analyser av energibalans och -ekonomi genomförts.

Ett nödvändigt inslag i analysen av husens energifunktion är den beräkningsmodell som utvecklats i ett parallellt löpande forskningsprojekt, Systemanalys. Denna beräkningsmodell har tidigare publicerats i tidskriften Byggmästaren nr 7/8 1977 och föreligger nu i utförligare skick som en rapport "Tjyvdrag och ventilation".

Erfarenheterna från arbetet med befintliga stora hus har i hög grad berikat mätmetodik etc för små hus. Det har också gett impulser till hur man skall angripa problem kring stora hus vid nyproduktion.

## 1 ARBETETS BEDRIVANDE

Hösten 1975 författades ansökan till den första etappen av "Byggnaders lufttäthet". Tre samtidiga projekt var på gång inom olika grupper av forskare i Sverige. Det beslöts att dessa tre grupper skulle få arbeta var för sig i ett inledande skede för att sedan en samordning av insatserna på hela täthetsproblematiken skulle åstadkommas. Så skedde också. En samordningsgrupp bildades 1977 och ett antal aktiviteter inom ramen för denna grupps arbete berör direkt detta forskningsarbete.

Den första etappen i rubricerade forskningsarbete slutfördes hösten 1976 med en "Slutrapport, etapp I" innehållande litteraturgenomgång samt resultat av förberedande fältundersökning från en serie provhus. Rapporten innehöll också synpunkter på fältmätningar och en analys av de fel man måste påräkna vid fältmätning med de utrustningar som var vanliga vid den tidpunkten.

Under arbetets gång hölls löpande kontakt med andra grupper. Dessutom studerades litteratur. En mängd kontroversiella uppgifter angående mätningar med gasanalys och misslyckade försök till korrelationer mellan resultat från tryckmätningar och gasanalysmätningar lade grunden till interna och externa diskussioner om de fysikaliska förloppen vid ventilation och läckning.

I stora drag ledde diskussionerna så småningom till

- en ny metod för registrering av tryck och tryckskillnader,
- debattartiklar angående ventilationens funktion i småhus med olika typ av ventilationssystem,
- förbättring av guarded-box-metodiken,
- en utvidgning av apparaturen för tryck- och flödesmätning för bestämning av otätheter hos hus och husdelar,
- att metoden med gasanalys över huvud taget inte användes i våra undersökningar.

BFR har utdelat ett särskilt anslag för forskningsuppgiften "Byggnaders lufttäthet - samordning". Inom ramen för detta forskningsanslag finns ett avsnitt som heter Byggnaders lufttäthet - systemanalys. Detta teoretiska arbete befruktade i hög grad det praktiska arbetet med provhus och provobjekt.

Litteraturgenomgången som redovisades i slutrapporten för etapp I och återges som BILAGA 1 är idag ofullständig, eftersom säkerligen minst ett hundratal värdefulla bidrag med direkt anknytning till föreliggande forskningsuppgift publicerats sedan dess. Även Svensk Byggnorms Supplement nr 1 samt

kommentaren till denna publicerades efter det att slutrapport för etapp I inlämnats till Byggforskningsnämningen.

Parallellt försiggår på andra ställen arbete med litteraturgenomgång, varför någon uppföljning av denna del av arbetet inte skett.

I korthet gäller att man under lång tid arbetat med byggnadsdelars och komponenters täthetsegenskaper. En rik flora av publikationer från olika typer av laboratorieprov finns.

Även resultat av provning av hela byggnader finns redovisade i litteraturen. I tidigare skeden har i allmänhet gasanalysmätningar skett. På senare tid har i allt större utsträckning metoden med tryckmätning kommit till användning. I korthet gav alltså litteraturgenomgången:

- "Ofrivillig ventilation" har "uppmätts" i ett mycket stort antal fall. Normalt har man då använt gasanalys och uppmätt luftläckning med igentjepade till- och frånluftdon.
- Tryckmätningar av hela byggnader eller delar av byggnader har endast kunnat ske i undantagsfall på grund av att husens täthetsegenskaper varit så pass dåliga att tillgänglig mätutrustning inte räckt till.
- Ett flertal ambitiösa försök att göra tryckmätningar av byggnader med hjälp av husens egna ventilationssystem har genomförts med gott resultat.
- Som antytts har i debattartiklar påvisats att med gasanalys uppmätt "ofrivillig ventilation" ofta knappast har något att göra med den "oönskade läckning" som förekommer utöver den önskade ventilationen i olika ventilationssystem.
- Svensk Byggnorms bestämmelser om byggnaders täthet har kompletterats med en "kommentar" som anger hur bestämmelserna skall tolkas. Summan av byggnadsdelarnas tillåtliga läckning är endast storleksordningen 10 % av vad som totalt medges som läckflöde (gäller småhus). Detta illustrerar det "vita fält" som byggnaders lufttäthet kan anses utgöra (eller har utgjort) och de svårigheter man tekniskt och praktiskt möter vid försök att göra i ordets egentliga betydelse täta hus.

De hus som varit föremål för arbete och som följts upp på ett eller annat sätt inom ramen för denna forskningsuppgift är följande:

- 1) Småhus i Kungsängen
- 2) Lägenhet i Hallunda
- 3) Tre provhus i Skutskär
- 4) Nolia-projektets samtliga 14 provhus.
- 5) Samtliga 26 provhus i Täby-projektet (de som medhålls innan denna rapport)
- 6) Fyra enfamiljshus i Grängesberg
- 7) 13 lägenheter i Jakobsberg (Järfälla)
- 8) Polishuset i Norrköping
- 9) Äldre kontorshus i Stockholm

Ett flertal av de mätningar som genomförts har skett som uppdrag, varför endast delar av det redovisade programmet bekostats av forskningsuppgiften.

En stor del av arbetet nedlades på det första objektet i Skutskär. Här utprovades ny arbetsteknik med plastfolier och tejp samt gummimanschetter och tejpning kring alla genomföringar av rör för el, vatten, gas samt ventilation. Polyuretanskum kring fönster och dörrkarmar användes.

## 2 MÄTAPPARATER, MÄTMETODER OCH MÄTNOGGRANNHET

### 2.1 Allmänt om tillämpade mätmetoder och använda mätdon

I forskningsprojektet har använts en rad mätmetoder och mätdon för flödesmätning:

- 1) Standardgasmätare
- 2) Svävkroppsmätare
- 3) Stos + varmtrådsanometer
- 4) Strypfläns

Som minsta fläkt har använts dammsugare med tyristor. Den största fläktenheten är Fläktfabrikens PMCA-6-50-2-1-8 med ett luftflöde av ca 16.000 m<sup>3</sup>/h vid friblåsning.

En snabb utveckling av mätmetodikerna har skett bl a i samband med det parallellt bedrivna arbetet med "systemanalys". Med de nya metoder som utarbetats är det sannolikt att man i stor utsträckning kan klara sig med mindre fläktar tillsammans med den ordinarie ventilationsutrustningen.

För tryckmätning har hittills uteslutande använts mikromanometrar. Till en början anslöts dessa mikromanometrar till ytterluften med hjälp av långa slangar, för att på detta sätt få referenstryck för mätningen.

Vid blåst är emellertid detta en olämplig metod, eftersom man nära husets fasader har dynamiska över- och undertryck av betydande storlek.

Vid stark byig vind är över huvud taget tillämpade metoder för täthetsmätning tvivelaktiga. Vid måttliga vindstyrkor och tryckmätning kan felet ingränsas och beräknas.

Vid höga hus och vid stora temperaturskillnader ute/inne uppstår stora tryckskillnader mellan de övre och de nedre våningarna i huset (termik). Härvid måste ifrågasättas var tryckprovningen skall ske för att bli representativ. För höga hus måste man helt enkelt bedöma tryckbilden över hela husets höjd och göra ett stort antal tryckmätningar för att få bilden klar för sig.

Mätning med gasanalys har - i strid med den ursprungliga målsättningen - inte använts. Skälet är helt enkelt att den inte behövs för att få svar på ställda frågor. Andra arbeten på området har för övrigt också påvisat svårigheten att korrelera gasanalysmätningar med andra mätningar.

## 2.2 Precisionsbarometer - ett nytt mätdon för tryckmätning

Referenstrycket vid en tryckprovning är inte alltid lätt att bestämma. Vanligen har man en manometer med ena änden inomhus och den andra ute. För att inte störas av vind kan man använda sig av långa slangar till någon ostörd plats, för att på detta sätt få referenstryck vid mätningen.

Vid starkare blåst är detta emellertid en olämplig metod, eftersom man nära husets fasader har dynamiska över- och undertryck av betydande storlek. Dessa är ofta pulserande, vilket försvårar problemet.

I varje fall gäller vid täthetsprovning av stora hus vid registrering av tryckfall över ytterväggar att den bästa tryckreferensnivån är det för ögonblicket rådande barometertrycket inomhus. Detta kan "konserveras" i en på lämpligt sätt utformad termosflaska. Denna termosflaska öppnas, varvid dess manometerutgång nollställs. Därefter stängs kranen, varefter huset sätts under övertryck eller undertryck. Detta kan då avläsas direkt på precisionsbarometern. BILD 1.

Denna barometer har fått sin hittills största användning vid kartläggning av tryckprofiler över fasader i högre hus och inuti byggnader. Anordningen beskrivs närmare i BILAGA 2.

## 2.3 De olika mätdonens användningsområden och den fältmässiga mätnoggrannheten

Mätområden samt ungefärlig mätnoggrannhet framgår av TABELL 1. I tabellen är inte medtaget flödesmätning med kalibrerad fläkt. Denna metod förutsätter nämligen att fläktens varvtal är noga bestämt. Mätning av täthet sker ofta på byggplatser, där uttaget av byggström kan variera starkt. Detta kan vålla spänningsvariationer och därmed variationer i varvtal hos mätfläkten. Metoden har därför bedömts vara något för osäker för de aktuella mätuppgifterna.

Vad beträffar tryckmätdonens noggrannhet är den svår att uttrycka i siffror. I stora drag kan man uppnå praktiskt taget vilken noggrannhet som helst med enkla mikromanometrar. Det är endast frågan om precision i utförande och avläsning. Vanligtvis sker tryckmätningen så att avläsningsnoggrannheten motsvarar 0,1 å 0,2 Pa.

Mätnoggrannheten vid täthetsprovning påverkas av yttre förhållanden. Vind och utetemperatur påverkar resultatet. Exempelvis medför ökad vindstyrka en minskad noggrannhet vid täthetsprovning av småhus. Vid provning av höga hus blir termiken en lika väsentlig

störning som emellertid är stabil och kan registreras och därmed är lättare att komma tillrätta med. För att belysa hur vinden stör täthetsprovningen redovisas i BILAGA 3 en principiell teoretisk studie som avser provning av ett småhus.

### 3 FÄLTMÄTNINGAR OCH RESULTAT

#### 3.1 Allmänt

I kapitel 1 redovisades vilka hus som undersöks inom ramen för detta byggforskningsprojekt. En del orienterande undersökningar gjordes för att bedöma och bestämma normal otäthet för hus med för dagen tillämplig byggnadsteknik. Därefter inleddes i etapp I systematiska försök med att få fram bättre täthet.

Ett relativt stort antal fältmätningar med tryckmetoden fanns redovisade mot slutet av år 1976, när den första etappen av föreliggande forskningsuppdrag avrapporterades till BFR. Normal "täthetsnivå" låg på 3 - 7 oms/h vid 50 Pa. I litteraturgenomgången, BILAGA 1, finns ett antal referenser till sådana mätningar.

Här skall kortfattat redovisas såväl några projekt som finansierats genom vår uppdragsverksamhet som de projekt som bekostats av forskningspengar.

#### 3.2 Mätningar på småhus

##### 3.2.1 Kungsängen

Med de första fläktar som anskaffats för våra mätningar - verkstadsfläktar med högsta luftflöde ca 750 m<sup>3</sup>/h - uppnåddes endast 10 à 20 Pa. Detta antyder att otätheten låg i närheten av den övre gränsen som redovisas i litteraturen.

Mätobjektet övergavs och huvudinriktningen av vårt arbete dirigerades mot konkreta tätningsåtgärder i ett nybyggt hus.

##### 3.2.2 Det första provhuset i Skutskär

Huset ingår i en serie på ca 30 st 1 1/2-plans friliggande källarlösa småhus. ABV hade som producent inte projekterat eller inriktat byggandet med någon som helst speciell hänsyn till täthet. "Traditionella" metoder med omlottläggning av den plastfolie som tjänar som diffusionsspärr tillämpades. Tätning mellan karm och vägg skedde med drevning. Fogen mellan betongplattan och ytterväggens bottensyll tätades också med drev.

Genom plastfolien togs hål för

- elledningar och eldosor
- ventilationskanaler
- bärande träbalkar.



De särskilda tätningsåtgärder som vidtogs av oss och som i huvudsak utfördes av P.O. Nylund var följande:

- Omlottlagda skarvar i polyetenfolien tejpad.
- Fogar mellan karm och vägg tätades med polyuretanskum.
- Fogen mellan betongplatta och väggsyll tätades med två strängar kompriband. Dessutom sprutades en sträng polyuretanskum från insidan.
- Elledningar försågs med gummikragar som tätades mot plastfolien.
- Ventilationskanalernas genombrott tejpades provisoriskt. (Bättre metoder kom sedermera till användning i Täby.)
- Plastfolien tejpades noga kring övervåningens golvbjälkar.

Ytterligare ett antal detaljer gjordes till föremål för speciella åtgärder. Innan den första mätningen var eldosorna övertejpade. Takfönstren kunde av konstruktiva skäl inte göras så täta som vi hade önskat. Därför vidtogs en del åtgärder som tillät separerat mätning av över- och undervåningen.

Resultaten från täthetsprovningen av det första provhuset i Skutskär redovisas mer detaljerat i BILAGA 4.

Här kan nämnas att resultatet av arbetet gav det anmärkningsvärt goda resultatet att man trots att huset inte på något sätt projekterats för täthet - ett antal onödiga genombrott av tätskiktet fanns - nåddes ett otäthetstal strax under 1. Härvid kan konstateras

- att bottenvåningen endast hade otätheten 0,6 (takfönstren?),
- att eldosorna bidrog till otäthetstalet 1,0 med ca 0,1,
- att fönster och dörrar hade ett specifikt läckage som i stort sett överensstämmer med byggnormen, 1,9 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>,h mot 1,7.

Försöken i Skutskär fortsattes med ytterligare ett hus med likartad tätnings teknik som i det första huset. Denna gång gjordes tätningsarbetet av arbetslaget - två timmermän. Efter instruktion om tätnings teknik färdigställdes huset och mättes. BILD 2.

### 3.2.3 Mätningar i Grängesberg

Vid mättillfället hade vi tillgång till ny mätutrust-

ning med större kapacitet (se avsnitt 2.1), varför de fyra äldre småhus som stod på programmet kunde mätas utan svårigheter.

Objekten var följande:

Borrarevägen 13:

Huset är en enplansvilla med souterrängvåning. Vägarna består av regelverk och träpanel samt är försedda med fasadtegel på gavlarna. Huset byggdes ca 1965.

Konstvaktarevägen 9:

Huset är i 1 1/2 plan, källarlöst samt byggt för ca 100 år sedan. Om- och tillbyggnader har skett vid något eller några tillfällen. Sannolikt finns ligg-timmer i den äldsta delen, plankväggar i senare tillbyggnad. Möjligen kan vissa delar ha regelväggar.

Gruvfogdevägen 11:

Huset är byggt 1953. Det är ett 2-plans regelhus med källare och vind. Konstruktionen är standard enligt Svenska Trähus.

Finnmarksvägen 28:

Detta hus byggdes 1965 och är ett enplans regelhus med källare.

Resultaten framgår av TABELL 2. Det är anmärkningsvärt att endast det äldsta huset har något större otäthet än vad som tilläts i de nya normerna.

Vid mättillfället - 28 och 29 mars 1977 - företogs också termografering. Denna visar genomgående läckage i bjälklagsanslutningar. Även kring ventilations-trummor var tätheten dålig. Någon särskild undersökning av fönster och dörrar genomfördes inte.

#### 3.2.4 Energisnåla småhus i Umeå - villa -80 (Nolia 1977)

De 14 provhus som uppfördes konstruerades och byggdes parvis av olika företag. Varje företag skulle göra ett hus enligt den nya normen och ett ytterligare hus med energisparande detaljer och apparater utöver den nya energinormen. Det framhölls för samtliga producenter att lufttätheten är utomordentligt viktig om goda energisparresultat skall kunna nås.

I den första rapporten om projektet (1. Byggskedet) skrivs:

"I stort stämmer de subjektiva iakttagelser som gjorts under byggperioden med de resultat som erhållits vid provtryckningarna. Både konstruktiva lösningar, arbetsmetodik och arbetsutförande har helt klart inverkan på de resultat man erhållit i de olika husen."

BILD 3 redovisar anmärkningsvärt god täthet endast hos fyra av husen. De utomordentligt låga värden som erhållits i husen 3 och 4 (Olaus Forsberg & Co KB) tillskrivs dels listiga konstruktiva lösningar, dels noggrant arbete. Folierna hade få skarvar och tejpad.

Hus 9, 10, 11 och 12 byggdes av ABV enligt de erfarenheter som vi tillsammans fått i Skutskär. I delrapport I från Norrlands Byggtjänst (Byggskedet) skrivs:

"Ett omfattande arbete med tejpnig och tätning förekom i dessa hus, vilket också avspeglas i provningsresultaten i husen 11 och 12. Att husen 9 och 10 hade större luftomsättning vid provningarna kan sannolikt till viss del skyllas på källarvåningarna och svårigheten att täta ventiler vid provningarna. "Masonit"-balkarnas form - med liv och fläns - försvårade tätning, tejpnig, främst vid bjälklagsupplagen. Troligen kan man genom vidareutveckling av konstruktioner och metodik skapa mindre arbetskrävande sätt för tätningen."

För hus 7 och 8 (AB Elementhus) fanns tydligen inte ambitionen att göra husen täta. Den invändiga plastfolien täckte inte fogarna överallt och någon annan form av fogtätning användes inte. Otätheten hos fönster och dörrar bedömdes vara påtagligt stor.

I ett senare avsnitt skall indirekt visas täthetens stora betydelse, särskilt för FT-ventilation. Genomsnittligen förbrukade hus med FT-ventilation i detta provhusprojekt 30 % mer energi, varvid beräknat "börvärde" ligger till grund för bedömningen, än hus med enbart F-ventilation. Då har ett FT-hus, nr 1, utslutits på grund av alltför höga värden, som troligen orsakats av en mindre väl fungerande värmepump.

### 3.2.5 Täby-projektet, BILD 4.

Konstruktionen av husen i Täby byggdes på erfarenheter från Skutskär. Samtliga genomföringar av el, vatten, avlopp och ventilation försågs med tejpade gummikragar. Plastfolien var 0,2 mm tjock, UV-sta-

biliserad polyetenfolie, som tejpadades med industri-tejp. Tätningen mellan väggens bottensyll och betongplattan framgår av BILD 5.

Först avsågs att göra tätningen mellan bottenplattan och väggens bottensyll på så vis att man välte ut ytterväggen några grader, lade en polyuretencellplaststräng och därefter rätade upp väggen igen. Detta gick bra med gavlarna. För långsidornas del blev vikten så stor, att man inte kunde klara arbetet för hand. Därför övergavs metoden ifråga. Nästa försök var att använda en plastfilmsluten mineralfiberremsa, som marknadsförs av ett av våra ledande isoleringsföretag. Remsan höll emellertid inte för hanteringen på byggplatsen utan gick sönder. Även denna teknik övergavs alltså och listen enligt BILD 5 kom att användas i den fortsatta produktionen.

Fogar mellan karm och vägg sprutades med polyuretan-cellplast. Det diskuterades att sätta gummikragar även på takstolarnas dragband (= golvbalkar i övervåningen), men detta är knappast arbetstekniskt acceptabelt, varför tejpning valdes. Dragning av el i ytterväggarna förbjöds i princip, men kunde tyvärr inte undvikas överallt på grund av att särskilda öppningskontakter för fönstren skulle monteras av försöksskäl. I den första hälften av bebyggelsen förekom därför elrör och dosor i anslutning till fönster, men i den senare etappen ersattes dessa med utanpåliggande installationslist. Samma typ av utanpåliggande installationslist användes för dragningen längs yttervägg.

Resultatet från Täby redovisas i BILD 6. Den genomsnittliga otätheten är ca 1,0, vilket måste anses vara ett gott resultat. Värdet kunde ha varit marginellt bättre, om man från början uppmärksammat att undertrycksmätning kan leda till skador i tätskiktet. Mätserier visade nämligen att upprepade över- och undertrycksmätningar gav successivt försämrade resultat. Detta tillskrivs bristningar i tejpfogarna, där dessa inte stöddes av gipsskivor. I den senare etappen av projektet monterades särskilda skivor för att stödja plastfolien, dels vid övervåningens golvbalkar, BILD 5:1, dels kring rör genomföringar.

Otätheten för ett F-ventilationshus uppmäts normalt med förtejpade tilluftventiler (springventiler). Det som är intressant är emellertid husets otäthet i drift, dvs med tilluftventiler stängda (och läckande) samt öppna. För att klargöra hur dessa ventiler påverkar husets otäthetsfaktor har sådana ventiler provats i TYRÉNS' laboratorium.

Resultatet visar att otäthetsfaktorn endast påverkas marginellt (i detta fall från ca 1,0 till ca 1,3).

### 3.2.6 Åkersberga

Under 1977 byggdes sju 1 1/2-planshus i Åkersberga i AB Folkhems regi. Tätningstekniken avviker något från den i Skutskär och Täby. Den finns utförligt redovisad i ett examensarbete<sup>x)</sup>. Särskilt måste nämnas att här kunde genomföras

- ett noggrant och systematiskt projekteringsarbete för tätning,
- ett mycket noggrant arbetsutförande,
- ett minimum av genomföringar för installationer.

Husens otäthet blev mycket låg och, vilket kanske i än högre grad talar för ett högklassigt resultat, spridningen mellan resultaten var liten, BILD 7.

Under kortare perioder 1977-78 har husens tomgångsförluster uppmätts. Med ledning av dessa har energibalansen upprättats och man har anledning att räkna med låga totala ventilationsförluster - den oönskade läckningen blir liten. Elmroth och Nylund<sup>xx)</sup> har närmare redovisat täthetsmätningar etc i en tidsningsartikel.

### 3.2.7 Övrigt

På allra senaste tid (maj 1978) har några tvåplans regelhus (Brunna) utan särskilda tätningsåtgärder tryckprovats av ABV. Med "utan särskilda tätningsåtgärder" menas att skarvarna i plastfolien inte tejps. Däremot har man använt Gullfibers plastomslutna remsa mellan grundplatta och väggsyll samt polyuretanskum mellan karmar och vägg (otäthet = 1,5).

## 3.3 Mätningar i flerbostadshus

### 3.3.1 Lägenhet i Hallunda

I en lägenhet i Hallunda (Botkyrka kommun söder om Stockholm) gjordes en av de första otäthetsmätningarna inom ramen för byggforskningsprojektet. Liksom i småhuset i Kungsängen kunde fullt provtryck inte nås med den fläktutrustning som vid tidpunkten ifråga fanns till hands. Det konstaterades dock att

---

x) Välisolerade och lufttäta småhus. Konstruktion och utförande. Examensarbete. Institutionen för Byggnadsteknik, KTH. B.Björndahl och C.Matson

xx) Arne Elmroth och Per Olof Nylund  
Energispeglin, Byggnadsindustrin nr 19 1978.

fönstren bar huvudansvaret för den rätt höga otäthet som uppmättes.

Bland de metoder som användes under våra första trevande försök att hitta praktiska mätmetoder förekom också fyllning av stora plastpåsar. Det gick inte så bra. Bl a förstörde vi onödigtvis en gasmätare. Frånsett våra rena misstag syns metoden vara fältmässigt olämplig.

### 3.3.2 Mätning av flerbostadshus i Jakobsbergs centrum

I november 1977 mättes otätheten i 13 lägenheter i Järfälla kommun. I fem av lägenheterna mättes både med och utan igentejpade fönster. Mätningarna skedde både med över- och med undertryck.

Husen är 8 våningar höga skivhus i betong med ytterväggar av lättbetong.

Resultatet framgår av BILD 8. Det är ännu obekant om lägenheter i allmänhet är så täta som i detta hus. Trots den genomsnittligt låga otätheten kunde konstateras "stora otätheter", särskilt i utfackningspartierna i vardagsrummen. Ett flertal anmärkningar mot otäta fönster gjordes i protokollet.

Det kunde konstateras att fönstren genomsnittligen var ungefär 50-100 % otätare än vad som anges i Byggnormen.

## 3.4 Mätningar i stora kontorshus

### 3.4.1 Polishus i Norrköping

Byggnaden består av en centralt belägen högdal på nio våningar + en fläktvåning. Omkring och sambyggda med denna del finns en lågdal bestående av tre byggnadskroppar. Dessa är 2 å 3 våningar ovan källare, BILD 9. Förbindelsen mellan de olika huskropparna består av ventilationsrör och korridorer.

I höghusdelen finns ett öppet trapphusschakt. I fasaden finns ett antal vertikala schakt för installationer, huvudsakligen värmevattenrör.

Mätningarna inskränkte sig av tekniska skäl till en kartläggning av tryckbilden kring huset vid uppmätta temperatur- och vindförhållanden. De uppmätta trycken jämfördes med teoretiska beräkningar och goda överensstämmelser mellan de båda kunde konstateras.

Själva täthetsmätningarna gjordes på fönster med och utan tätning runt karm, karm/båge, båge/glas samt

espagnolett, BILD 10.

Den huvudsakliga otätheten i byggnadens skal var dessa fönster. Vissa otätheter mellan fasadelement uppmättes med varmtrådsanemometer och en någorlunda realistisk helhetsbild av skalets täthet kunde konstateras.

De väsentliga faktorerna, som ger drag och dålig energiekonomi, är

- skorstensverkan genom högdelen
- otäta fönster.

Undersökningen presenteras i BILAGA 5.

Om en tryckbalansering av huset kan åstadkommas med 0-punkten ungefär mitt på huset, BILD 9, skulle den önskade läckningen bara med denna åtgärd kunna nedbringas till ca 1/4. Med ledning av mätningarna av fönstrens otäthet kan ytterligare en reducering av luftläckningen till 1/4 åstadkommas. Med de kombinerade åtgärderna, balansering och fönstertätning, kan alltså det önskade läckaget nedbringas till 1/16 av det som förekom vid tiden för undersökningen.

I princip kan tryckbalansering våningsvis åstadkommas, om våningarna är sinsemellan väl avskilda. I detta fall är det emellertid inte tekniskt möjligt.

#### 3.4.2 Kv Grönlandet - kontorsdelen

Byggnaden ifråga tillhör Byggnadsstyrelsens förvaltning, innehåller för närvarande Riksförsäkringsverket och var förr tandläkarhögskola. Byggnadsvolymen är ca 27.000 m<sup>3</sup>, varav källare ca 5.000 m<sup>3</sup>. Huset byggdes omkring 1930, har kringbyggd gård, 6 våningar plus en indragen vindsvåning. Den har två källarvåningar, varav den undre sträcker sig under den kringbyggda gården. Fönsterytan är relativt stor, 31 % av fasadytan.

Kontorsdelen har frånluftventilation med springventiler under fönstren. Dessa springventiler är i allmänhet - som springventiler pläga vara - igenstoppade.

Antal sysselsatta i byggnaden är enligt uppgifter 350 personer, varför rumsvolymen är ca 60 m<sup>3</sup>/person. Om motsvarande beräkning görs för själva kontorsrummen blir siffran knappt 40 m<sup>3</sup>/person. I kontorsdelen är ventilationsflödet ca 10.500 m<sup>3</sup>/h, vilken ger 30 m<sup>3</sup>/person och timme vid full närvaro. De undersökningar som gjorts beträffande byggnaden innefattade bl a tryckförhållanden och luftläckning. Här ingick undersökningar av fasaders och fönsters täthet (boxmetoden - dvs låsmetoden). Dessutom tryckprovades hela byggnaden med hjälp av befintliga fläktar.

Kontorsdelen har två frånluftsfläktar. En mindre för toaletter och en större för kontor och kommunikationsutrymmen. Den stora fläkten är avstängd under vinterhalvåret. Oavsett om den mindre fläkten är i drift eller inte är tryckbilden och luftinläckning ungefär densamma. När den stora fläkten är i drift ökar undertryck och inläckning/ventilation, BILD 11.

Detta har till följd att ventilationen fungerar otillfredsställande. I bottenvåningen är inläckningen stor och man klagar på drag. I de översta våningarna är inläckningen mycket liten och man har för dålig ventilation. Endast då huvudfläkten är i drift, blir luftomsättningen i de övre våningarna god, men då kan draget i de undre inte accepteras.

Skälet till att tryckbilden är som den är beror på det låga luftmotståndet i frånluftssystemet. Självdraget genom F-systemet när fläktarna är avstängda är mycket stort.

Husets otäthet ligger helt i fönstren och springventilerna. Fasaderna av 1 1/2-stens tegel och betongbjälklagen har ett icke mätbart läckage.

I denna byggnad finns möjligheter att i väsentlig grad påverka såväl ventilationens funktion som husets energiekonomi. Genom att sätta in gastäta spjäll i frånluftkanalerna förhindras självdrag genom huset under icke kontorstid och varvtalsreglering av fläktarna borde kunna minska besvären med varierande fönsterdrag i de nedre våningarna vid varierande utetemperatur. Tätning av fönstren har också föreslagits.

### 3.5 Sammanställning av värden från täthetsprovning

I BILAGA 6 redovisas en sammanställning av de mätningar som nämnts i det närmast föregående.

För redovisning av resultat från täthetsprovning föreligger en redovisningsmodell som utarbetats av J. Kronwall, LTH, och rekommenderats av den samordningsgrupp som i samarbete med och med anslag från BFR var verksam under åren 1977-78. Redovisningen i BILAGA 6 har i möjligaste mån anpassats till den nämnda "överenskomna" mallen. Dock har det varit nödvändigt med vissa modifieringar för att passa redovisning av våra resultat. Dessa modifieringar motiveras av:

- Redovisningsmodellen är anpassad till provning av småhus där trycket 50 Pa lätt uppnås. Detta har ofta inte varit möjligt i de stora hus vi provat. Därför anges läckage vid andra "preferenstryck".



- Utrymme har skapats för att ur totalt uppmätta läckage särskilja hur mycket som läcker genom fönstren i de fall detta har undersökts.
- Utrymme har skapats för att i småhus med källare och övervåning redovisa totalt läckage och läckage i övervåning respektive källare.

## 4 KOSTNADER OCH ENERGIBESPARING

### 4.1 Kostnader - småhus

Nuvarande krav, eller snarare rekommendationer, enligt Svensk Byggnorm motsvarar ungefär den täthet som uppnåddes med den teknik som användes före normens tillkomst. Det står klart att en förbättrad täthet i förhållande till normen ger väsentligt minskad energiåtgång.

När det gäller stora hus har vi inte haft möjligheter att inhämta kostnadsuppgifter för förbättrad täthet. Däremot finns det uppföljda kalkyler för småhus.

- \* I det andra provhuset i Skutskär var merkostnaden för extra omsorgsfull tätning ca 4000 kronor.
- \* Från de sju hus i Åkersberga som nämnts tidigare redovisar Stig Bengtsson merkostnaden 4200 kronor för extra tätningsarbeten. Motsvarande merkostnad för ökad värmeisolering för att tillgodose den nya normen och treglasfönster anges till 17.800 kronor.
- \* För de 26 provhusen i Täby har kostnaden för förbättrad täthet beräknats till 3000 kronor.

De ovan redovisade kostnaderna avser 1 1/2-planshus med platsbyggda regelväggar. Priserna inkluderar merkostnad för projektering och utökad kontroll på arbetsplatsen.

Att kostnadsnivån för husen i Täby är lägre än för de övriga beror troligen på att husserien är större.

### 4.2 Lönsamhet

En förbättring av tätheten från 4 à 5 oms/h vid tryckmätning 50 Pa till 1 à 2 oms/h kan beräknas ge en årlig energibesparing av ca 5000 kWh/år för 1 1/2-planshus i Stockholm. Om man utgår från de kostnader som redovisas från Åkersbergahuset fås en kostnad av  $4200/5000 = 0,84$  kr/kWh årlig energibesparing.

(Som jämförelse kan nämnas att förbättring av värmeisolering och utförande med treglasfönster medförde en merkostnad av 17.800 kr. Den årliga energibesparingen av detta kan beräknas till ca 4200 kWh. Åtgärderna motsvarar en kostnad av  $17800/4200 = 4,28$  kr/kWh årlig energibesparing.)

---

Bengtsson, Stig. Avsevärd minskning av boendekostnaden. Byggnadsindustrin nr 21, 1978.

Förbättrad lufttätthet är således en lönsam åtgärd. Det bör dock betonas att livslängden hos den förbättrade tätheten är ofullständigt klarlagd. Kunskaperna om beständighet hos olika tätningsmaterial är ofullständiga, vilket innebär en stor osäkerhet.

## 5 SYNUNKTER PÅ FUNKTIONSKRAV, KONTROLL OCH UPPHANDLING

### 5.1 Funktionskrav

De funktionskrav som anges i SBN samt kommentarerna till denna är praktiska från den synpunkten att specifika krav har ställts på byggnadsdelar. Kanske kan man ställa sig något kritisk till den övergång till "otäthetsfaktorer" som gjorts i kommentarerna till SBN. Skälet skulle i så fall vara att olika byggnader har kraftigt varierande byggnadsvolym i förhållande till ytterskalets yta. Emellertid är begreppet "otäthetsfaktor" synnerligen lätthanterligt och entydigt, varför vi föreslår att det bibehålls.

Det står klart att relevanta krav på täthet hos byggnader bör kopplas till typ av ventilationssystem i byggnaderna. Detta motiveras i ett senare avsnitt och behöver inte ytterligare utvecklas här.

När det gäller stora hus talar mycket för att en tryckbalansering av husen är minst lika viktig eller viktigare än husens status vad beträffar täthet. Östen Sandberg i Kiruna har sedan många år uppmärksammat detta problem och vidtagit åtgärder, ofta med förbluffande god effekt. Det finns i svensk byggen-skap en alltför stor klyfta mellan olika kategorier av ingenjörer. Ventilationstekniker kan ofta alldeles för litet om byggnadsteknik och byggnadstekniker kan ofta näst intill ingenting om ventilation. En VÄSENTLIG FÖRBÄTTRAD samordning av ventilationsprojektering (jämte injustering) och husbyggnadsprojektering måste åstadkommas i framtiden om väl fungerande hus skall kunna byggas. Det förtjänar att upprepas att luftläckning sannolikt är den största energitjuven i vårt byggnadsbestånd.

### 5.2 Upphandling och kontroll

Med väl anpassade byggnormer och bestämmelser kan upphandlingen i hög grad underlättas. Av vad som tidigare framförts bör framgå att det i hög grad rör sig om ett kunskaps- och informationsproblem.

I upphandlingsbestämmelser och anbudshandlingar bör klart anges

- täthetskrav
- metoder för kontroll av otäthet
- påföljd eller åtgärder som skall vidtas vid brister i utförandet när det gäller täthet
- bestämmelser för injustering av ventilation samt tryckbalansering av husen.

Incitamentsavtal kan vara en god väl att nå goda resultat i en upphandling. I ett sådant avtal kan exempelvis kapitaliserad förlust av energispill orsakat av otäthet kunna ingå som vitesbelopp.

När det gäller kontrollen har vi i föreliggande forskningsuppgift endast haft anledning och möjlighet att syssla med småhus. För småhus byggda av träreglar och mineralull är främst elinstallationen och dess utförande viktig att kontrollera.

Alla genomföringar genom tätskiktet är naturligtvis viktiga, men om exempelvis tekniken med gummistosar och tejpning för alla rör genomföringar är en föreskriven och någorlunda vedertagen metod, syns inte någon särskild kontroll behöva påkallas i detta avseende. Till en början krävs med all sannolikhet en kraftigt ökad kontrollinsats i alla arbetsmoment som har med tätning att göra.

Vad beträffar tätningar mellan fönster och regelstomme, där polyuretanskum syns vara en enkel och säker metod, som alltmer vinner insteg i produktionen, gäller i stort sett samma sak som för rör genomföringar. Kontroll behövs tills vidare, men kan kanske avtrappas med tiden.

Tätningen mellan grundplatta respektive källarbjälklag och övrig stomme kan i regelhus vara ett problem. Här måste kontrollen vara god och en stickprovsmätning med hjälp av termografering verkar vara påkallad. Detta då som ett komplement till tryckprovningen, som bör vara obligatorisk.

Kostnaderna för tryckprovning kan kanske nedbringas. Sannolikt kan man på statistiska grunder forma urvalsmetoder, som ger tolerabel risk för oupptäckta fel. Därmed kan gissningsvis endast mindre del av lägenheterna inom ett område tryckprovas.

Vissa försök med sådan beräkning har gjorts inom ramen för detta arbete, men något definitivt resultat har inte erhållits.

### 5.3 Upphandlingen av Vallatorpsområdet i Täby år 1977

För upphandlingen av rubricerade bostadsområde, vilket består av ca 400 lägenheter, utformades särskilda regler för energiredovisningen i anbudstävlan. Området omfattar 400 lägenheter, varav ca 100 i låga flerbostadshus och rester i varierande typer av småhus.

Bland rubrikerna fanns exempelvis:

- ⊗ Redovisning av energibalanser för enskilda hus.
- ⊗ Lufttäthet - med underrubrikerna:  
Ventilationens funktion  
Normernas täthetskrav översatta till årlig energiförbrukning  
Täthetskrav
- ⊗ Redovisning av energirelaterade kostnader
- ⊗ Redovisning av ekonomiska, ej mätbara kvaliteter; miljö, flexibilitet, driftsäkerhet, beredskaps-synpunkter.

Som motiv för de täthetskrav som ställdes redovisades beräkningar av oönskad läckning för hus med olika otäthetstal. En differentiering av täthetskraven för olika ventilationssystem ansågs vara helt nödvändig, delvis med tanke på att täthet vid tidpunkten för bestämmelsernas utformning ansågs vara svår att åstadkomma.

Det följande är ett citat från sammanfattningen:

"Särskilt vid FT-ventilation (och ev varmluftsuppvärmning) bedöms emellertid husens täthet vara av så utomordenligt stor betydelse att kraven för Vallatorps-området ställs betydligt högre än i Planverkets kommentar. I stället för 4,5 luftoms vid 50 Pa över- eller undertryck tillåts 3 respektive 1 luftomsättning för småhusen vid F- respektive FT-ventilation. För flerbostadshusen är motsvarande omsättningstal 1,5 och 0,5 vid F- respektive FT-ventilation." BILD 12.

#### 5.4 Slutsatser och rekommendationer

Täthetskraven skärps och differentieras. När FT-ventilation skall användas, måste täthetskraven ställas högt. För F-ventilationssystem bör kraven också ställas höga, kanske lika höga som för FT-system när det gäller själva byggnaden. I så fall erfordras intagsdon för uteluft för att man skall få ventilationen att fungera väl.

I varje bebyggelse bör tätheten provas med tryckmätningssmetoden. Statistiska urvalsmetoder bör utarbetas.

För stora hus fordras mer systemarbete och beräkningar för att kraven skall kunna formuleras väl. Sannolikt täcker de krav som ställs på byggnadsdelars täthet en större del av behovet. En differentiering av kravet på högsta tillåtna otäthetsfaktor

måste på något sätt åstadkommas sedan tillräckligt kunskapsunderlag insamlats.

## 6 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Vad som skrevs i ansökan 1975-09-10 är i hög grad aktuellt fortfarande: "Bostadsventilationen fungerar generellt illa. Luftomsättningen är i allmänhet för låg i de utrymmen man vistas. Ett symptom på detta enkla faktum är, att en mycket stor del av svenska folket sover med öppet fönster.

Det dominerande problemet är att den nödvändiga tilluften kommer in i huset genom otätheter. Ju sämre tätat huset är, desto bättre tillgodoses de hygieniska kraven - fram till den punkt då obehag av drag överväger de fördelar som den ökade luftomsättningen ger. Omvänt kan energisparpropagandan för tätare hus mycket väl innebära att ventilationen blir t o m hälsovådligt låg. .... För stora hus av typ kontor, varuhus, skolor och sjukhus etc syns i allmänhet de hygieniska kraven vara tillgodosedda med god marginal. Snarast gäller väl att luftflöden är onödigt stora. ...

Den ekonomiska betydelsen av "ofrivillig ventilation" rör sig om drygt 500 Mkr per 1/10-dels luftomsättning i hela det svenska lokal- och bostadsbeståndet. Om man med andra ord skulle kunna åstadkomma fungerande och täta hus med en 0,2 ggr/h lägre ofrivillig luftomsättning än dagens genomsnitt, skulle det innebära en vinst av drygt 1 miljard kr/år. ...

På lång sikt är det önskvärt med en övergång till FT-system för bostadsventilationen. För att få ekonomi på detta krävs täta hus."

De erhållna resultaten visar med all önskvärdhet och säkerhet att nybyggda småhus kan byggas med en otäthet lägre än en luftomsättning/h vid 50 Pa provtryck (otäthetstalet 1). Detta skall jämföras med det nu och tills vidare gällande kravet på ett högsta otäthetstal av 3 (tidigare 4,5). Även med mycket enkla åtgärder kan otäthetstal på högst 1,5 åstadkommas. I båda fallen förutsetts att projekteringen anpassas till de täthetskrav man ställer och att man på platsen särskilt kontrollerar att installationerna i ytterväggar inte saboterar täthetssträvandena (och värmeisoleringen).

En väsentlig fråga är givetvis: "Vad skall man använda den ökade tätheten till?" För en tekniker är svaret enkelt: Det är en nödvändighet för att ventilationen skall kunna styras! De farhågor som framkommit i samband med debatten om radon beror delvis på teknikernas oförmåga att förmedla sina kunskaper till konsumentledet. - Att husen är täta innebär ju inte alls att de är oventilerade.



I debattartiklar<sup>x)</sup> samt forskningsuppgiften "Täthet hos byggnader - systemanalys" påvisas att det oönskade läckaget - tidigare kallat "ofrivillig ventilation" - är högst olika vid olika typer av ventilationssystem i småhus. Trots att det inte finns tillnärmelsevis full klarhet på alla punkter står det klart att:

- Självdragsventilation fungerar inte utan systematisk vädring. Vid stor otäthet uppstår dragproblem vintertid samt vid blåst.
- Frånluftventilation har relativt sett en stor stabilitet. Även vid måttligt otäta hus blir enligt beräkningarna den oönskade läckningen liten.
- FT-ventilationssystem är synnerligen känsliga för otäthet. Sannolikt krävs otäthetstal under 1 för att acceptabel ekonomi skall kunna erhållas - både med och utan värmeåtervinning.

Här finns emellertid fortfarande oklarheter. Sambanden otäthet - ventilation varierar sannolikt med byggnadstyp (OBS! fortfarande bara småhus) och teoretiska kalkyler har gett vid handen att obalans, tvärt emot vad man kanske förleds att tro, minskar den oönskade läckningen i stället för att öka den. I BILDERNA 13, 14 och 15 visas ventilationen och den oönskade läckningen som funktion av otäthets-talet för ett typiskt småhus. Kurvorna redovisar dels den arbetshypotes som framfördes i Lindskougs debattartiklar i VVS och Teknisk Tidskrift år 1977, dels beräkningar av P.O. Nylund och Stig Bergström på ett "modellhus" 10 x 10 x 3 m<sup>3</sup>.

Fortfarande råder viss osäkerhet beträffande otäthet-läckning-kurvans förändring vid FT-ventilation och obalans. Det förefaller dock vara klart att obalans, tvärt emot vad Lindskoug antog, minskar den oönskade läckningen. I BILD 16 visas beräknade och skattade samband vind-ventilation och otäthet - ventilation för modellhuset med FT-ventilation. Observera att abscissan i det ena fallet är vindhastighet och i det andra otäthet. I det ena fallet är det direkta beräkningsresultat - i det andra en kvalificerad skattning med visst beräkningsunderlag.

Resultatet är dock av principiellt intresse eftersom obalans syns ge mindre störningar än fullständig balans. Detta gäller dock endast småhus, där vind kan antas överväga som drivkraft för oönskad läckning. Hur det är vid stora hus har vi ännu inget underlag för att bedöma.

Föreliggande forskningsrapport har i huvudsak behandlat småhus och deras problem. Det viktigaste

---

x) Nils-Eric Lindskoug, Tekn.Tidskrift 1977:15  
s 21 - 23.

resultatet är följande:

- \* Tryckmätning av hus kan göras relativt enkelt och till låg kostnad.
- \* Otäthetstal på l och t o m därunder erhålls med hjälp av för täthet anpassad projektering, relativt enkla tätningstekniker samt god kontroll på byggplatsen.
- \* Önskad läckning är högst olika vid olika typ av ventilationssystem.
- \* FT-ventilation med värmeåtervinning störs i högre grad än andra system av otätheter.

I kapitel 3 angavs att otäthetsfaktorn för F-ventilerade hus i Täby ökade endast obetydligt med FÖREKOMSTEN AV TILLUFTVENTILER. Då blir också deras inverkan på ventilation/luftläckning liten och stabiliteten således god i dessa F-ventilerade hus, BILD 18. (Ventilerna är i detta fall underdimensionerade.) Ventilernas läckningskurvor visas i BILD 17.

Att FT-ventilation är känslig för störning och kräver särskilt hög täthet hos husen för att fungera väl är av alldeles speciellt intresse, eftersom en av de räknemässigt mest lönsamma åtgärderna för en god energiekonomi är installerandet av FT-ventilation och värmeåtervinning. Här finns emellertid ett antal rätt starka indicier mot värmeåtervinningens goda ekonomi.

- \* I Tillberga-projektet (10 hus) erhålls en "oförklarad post" på 8.000 kWh i det hus som var försedd med FT-ventilation och värmeåtervinning (se BILD 19).
- \* I Umeå-projektet - villa 80 - har fyra av de fem husen med FT-ventilation en energiförbrukning som med vissa beräkningsförutsättningar kan anses ha en oförklarad post av ca 5.300 kWh i jämförelse med ett beräknat värde - likadant räknade som de nio husen som har F-ventilation. Bild 20
- \* I de 30 hus i Viksjö, där SCG provade värmepumpar, luftvärmesystem samt elradiatorsystem, förbrukade 10 hus med luftvärmesystem ca 15 % mer energi än 10 hus med elradiatorsystemet.

Enligt bearbetningar av materialet från Umeå ligger korrigerade energiförbrukningstal lika högt eller högre i fyra hus med FT-system. En del av "skillnaden mellan teori och praktik" beror på att F-ventilation delvis drivits intermittent. FT-husen har alltså haft högre ventilationsstandard.

I samtliga dessa fall kan den "oförklarade posten" vara önskad läckning, vilket synnerligen väl överensstämmer med våra teoretiska överväganden.

Vad beträffar flerbostadshus har hittills kunnat konstateras att otätheter som väntat finns vid fönster och utfackningspartier. Likaså finns tecken på att otätheten per ytenhet (av fönster och utfackningspartier) syns vara av samma storleksordning som för småhus. Detta i sin tur betyder att stora hus, som nu har mindre begränsningsytor i förhållande till sin volym, har betydligt lägre otäthetsfaktorer än små hus.

Övriga stora hus av typ kontor etc har ännu inte hunnit behandlas ingående. De resultat som finns talar emellertid för att äldre kontorshus med en konstruktion som inte särdeles avviker ifrån flerbostadshus, har ungefär samma otäthet och samma ventilationsproblem som bostadshusen.

För flerbostadshus och kontor gäller rent principiellt att termiken ökar i betydelse för den oönskade läckningen. Detta är i och för sig självklart, men eftersom man konstaterat undertryck (och övertryck) av samma storleksordning som provtrycket 50 Pa för-tjänar det ändå att poängteras.

Hittills är kanske det viktigaste dokumentet när det gäller stora kontorshus undersökningarna som genomförts av Tamura, Shaw och Sandy. De otäthetstal på storleksordningen 2,5 - 5 som de konstaterat kan ge en oönskad läckning av storleksordningen en luftomsättning/h eller mer såsom ett årsgenomsnitt.

De båda kontorshus som redovisas i föreliggande forskningsrapport har påvisat att ventilationen fungerar högst otillfredsställande. Vidgas perspektivet, finner man att flera indicier talar för att de stora husens otätheter är ett betydande energiekonomiskt problem för Sverige.

- Om man räknar baklänges på samtliga svenska byggnaders energibalans, finner man en oförklarad post som kan vara 35 TWh netto. BILD 20.
- Enligt svensk energistatistik förbrukar bostäder exklusive varmvatten ca 60 kWh/år, m<sup>3</sup>. Kontorshus och övriga lokaler förbrukar över 100 kWh/m<sup>3</sup>.

I varje fall finns inget som motsäger hypotesen att oönskad läckning orsakad av otäthet och olämpligt utformade och injusterade ventilationsanläggningar är en väsentlig och onödig energiförlust i det svenska energihushållet.

## 7 SLUTORD

Sammanfattningsvis finns ännu mycket att göra på området täthet - ventilation. Det finns anledning till stor optimism beträffande möjligheterna att vidta energiekonomiska åtgärder i befintliga hus och att få väl fungerande ventilationssystem i nybyggda hus. Det finns anledning till en försiktig optimism att man med god ekonomi även skall kunna klara bättre ventilation (FT-system, värmeväxling, filtrering, varmluft) i småhus även om vissa negativa indicier har kommit fram under arbetets gång.

Föreliggande rapport tillsammans med resultatet från arbetet med systemanalys av ventilation och läckning visar bl a att problemen är relativt enkelt beräkningsbara men vissa beräkningsförutsättningar är oklara. Det är angeläget med forsknings- och utvecklingsarbete på följande områden.

- \* Det yttre mikroklimatet - främst vindtrycksförhållanden.
- \* Otätheternas art och fördelning på byggnaders höljen.
- \* Täthetsprovning och bestämning av ventilationsförluster för stora hus.
- \* Utveckling av mätmetodik, bl a för att möjliggöra kartläggning av ovannämnda punkter.

Det hittills bedrivna arbetet på området "täta hus" tyder på att förmodandet om årliga besparingspotentialer i miljardklass som gjordes i vår anslagsansökan snarast var en underskattning.

Pågående arbeten på området "täta hus" kommer förhoppningsvis att med tiden leda till fullskaleförsök med ny teknik konsekvent genomförd.

TABELL 1

MÄTOMRÅDEN OCH MÄTFEL FÖR OLIKA FÄLTMÄSSIGA LUFT-  
FLÖDESMÄTARE

	Flöde m <sup>3</sup> /h	"Fel" ± %
1 Plexiglasrör med kolv	0 - 10 <sup>-1</sup>	-
2 Gasmätare (stadsgas)	10 <sup>-1</sup> - 3	2
3 Svävkroppsmätare	2,7 - 27	10 % av max
4 Stos+varmtrådsanemometer	27 - 1500	7
5 Strypfläns	(hela omr) 1000 - 10 000	x)

x) Noggrannheten är starkt beroende av utförande och kalibrering.  
(± 1 % är fullt tänkbart; ± 5 % mera vanligt)

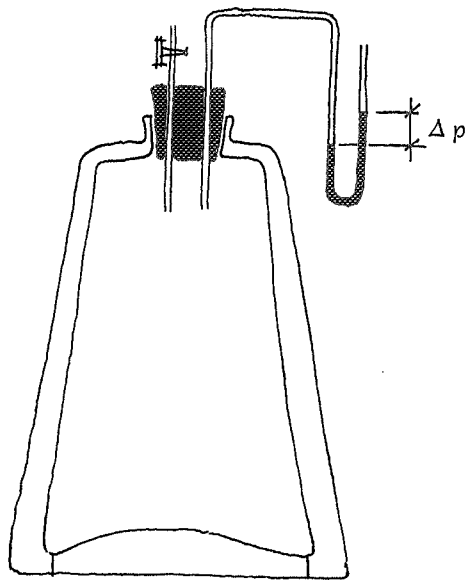
## TRYCKMÄTDON

Mikromanometrar är svåra att ange noggrannheten för.

TABELL 2

RESULTAT FRÅN MÄTNINGAR I GRÄNGESBERG  
1977-03-28 OCH -29

Objekt	Bygg- år	Vol m <sup>3</sup>	Otätthet ggr/h, 50 Pa	Konstruktion m m
Borrare- vägen 13	1965	590	4,5	1-plan sout. regelväggar
Konstvak- tarevägen 9	1870	890	5,6	1 1/2-plan källar- lös div träkonstr
Gruvfogde- vägen 11	1953	400	3,3	2-plan m källare o vind, regelhus
Finmarks- vägen 28	1965	400	3,9	1-plan m källare, tegelhus



**BILD 1**

PRINCIPSKISS AV TERMOSFLASKA FÖR MÄTNING  
AV TRYCKDIFFERENSER I ÖCH KRING HUS.  
ARBETSNAMN: PRECISIONSBAROMETER

Otätthet, oms/h vid 50 Pa

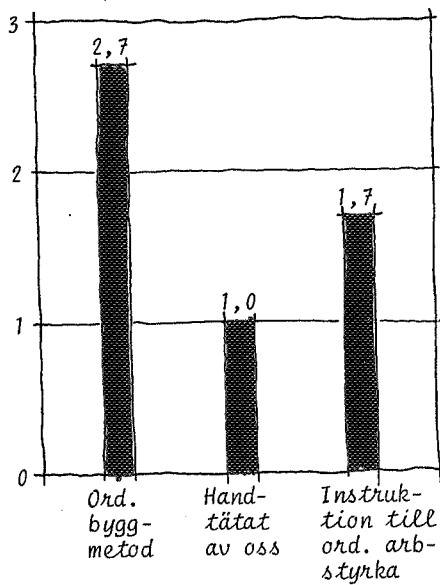


BILD 2

RESULTAT AV MÄTNINGAR I SKUTSKÄR. STICKPROV UR DEN "OPÅVERKADE" PRODUKTIONEN GAV OTÄTHETSTALET 2,7. VÅR HANDBYGGDA TÄTNING GAV 1,0 OCH ETT FÖLJANDE HUS BYGGT AV DEN ÖRDINÄRIE ARBETSSTYRKAN MED INSTRUKTION OM NYA METODER GAV 1,7.

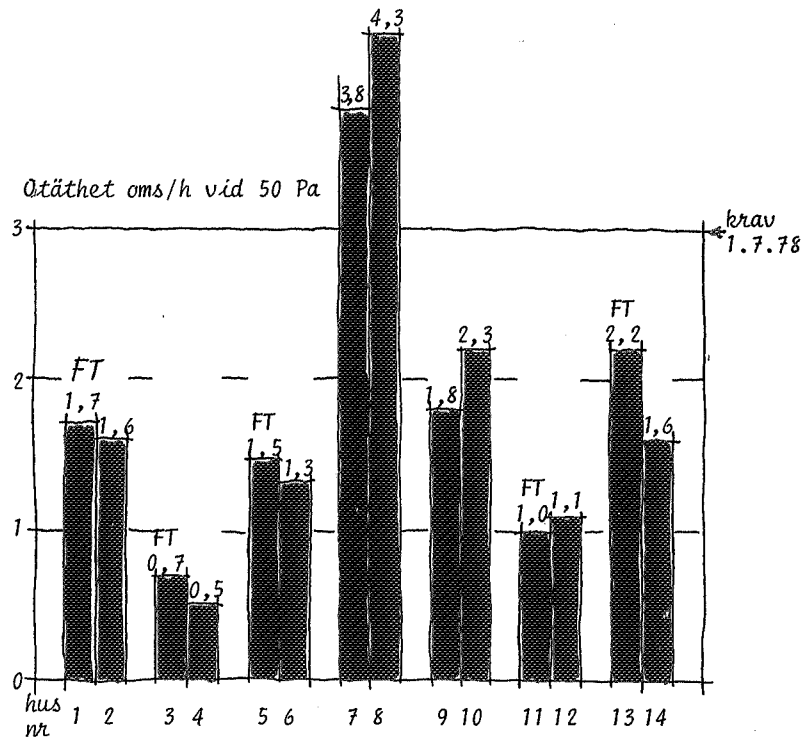
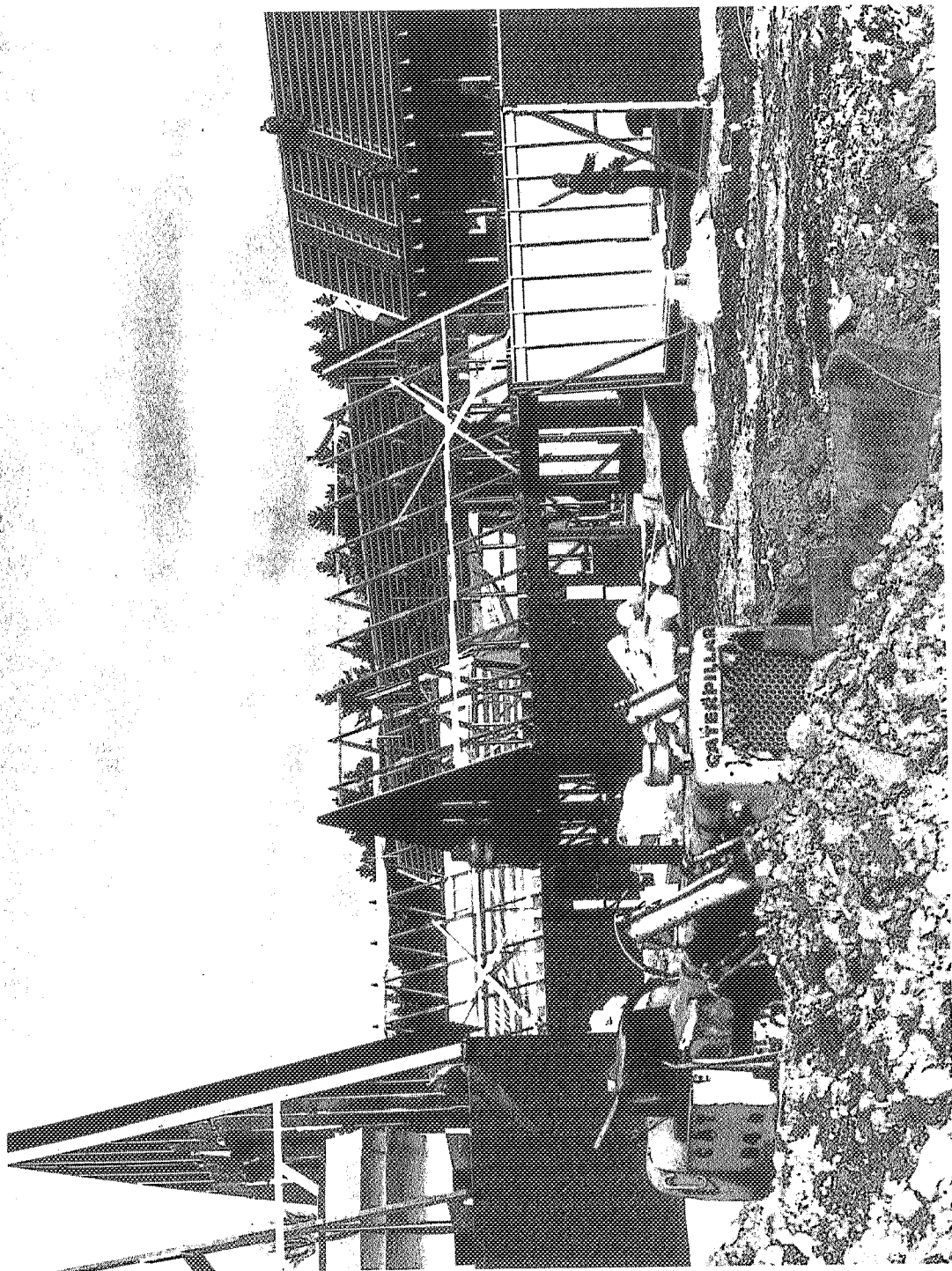


BILD 3

ÖTÄTHETSTAL FÖR HUSEN I UMEÅ - VILLA -80-PROJEKTET.  
FT BETECKNAR HUS MED FT-VENTILATION (OCH VÄRME-  
ÅTERVINNING).





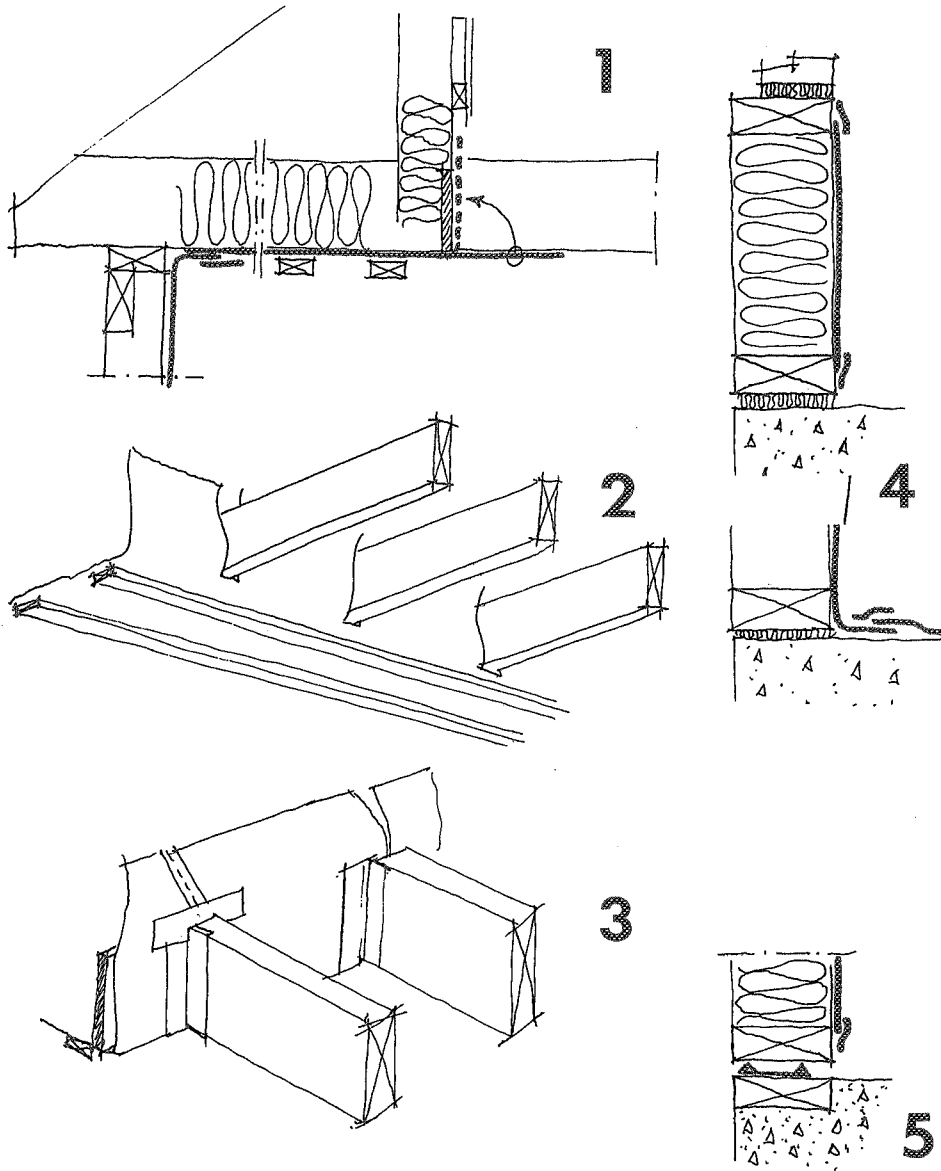
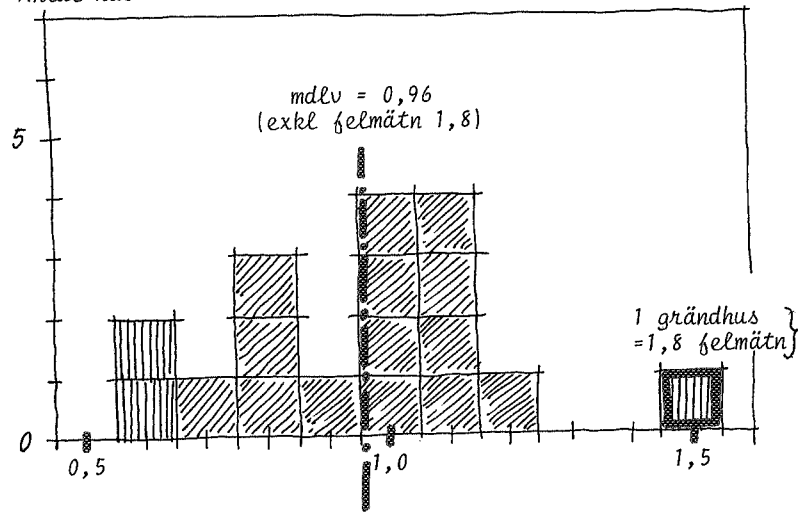


BILD 5

NÅGRA DETALJER FRÅN DEN PM DÄR TÄTNINGSARBETENA FÖR TÄBY-PROJEKTET BESKREVS.

- (1): SEKTION VID ÖVRE BJÄLKLÄG
- (2) och (3): FÖLJENS PLACERING OCH TEJPNING
- (4): TVÅ ALTERNATIVA TÄTNINGAR VID GOLV.
- (5): SLUTLIGT VÄLT ALTERNATIV

Antal hus



radhuslamell

radhuslamell med källare (fel?)

grändhus (första mättn ej källare)

BILD 6

RESULTAT FRÅN MÄTNINGAR I TÄBY-PROJEKTET.  
TOTALT 15 GRÄNDHUS (=FRILIGGANDE) OCH TRE  
RADHUSLAMELLER INGÅR.

Otäthet oms/h vid 50 Pa

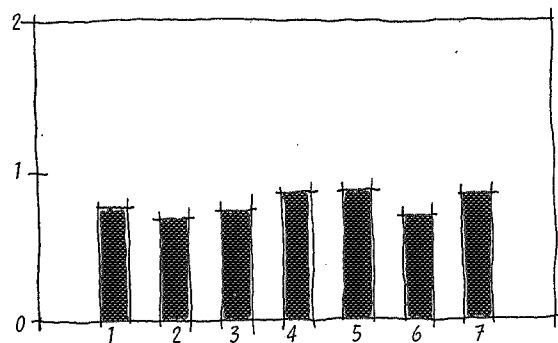
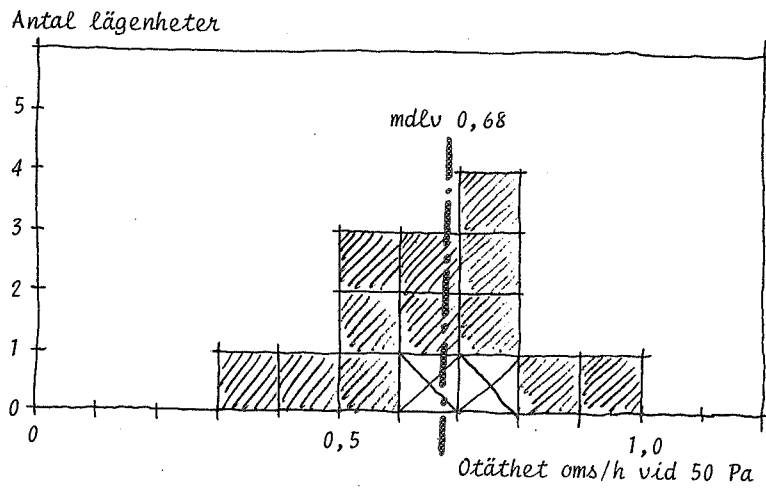


BILD 7

RESULTAT FRÅN SJU HUS BYGGDA 1977 I ÅKERSBERGA (BYGGNADSDINDUSTRI NR 19, 1978).




 samma lägenhet mätt vid två tillfällen

BILD 8

OTÄTHETSTAL FÖR 13 LÄGENHETER I 8-VÄNINGS SKIVHUS AV LÄTTBETONG (JAKOBSBERG)

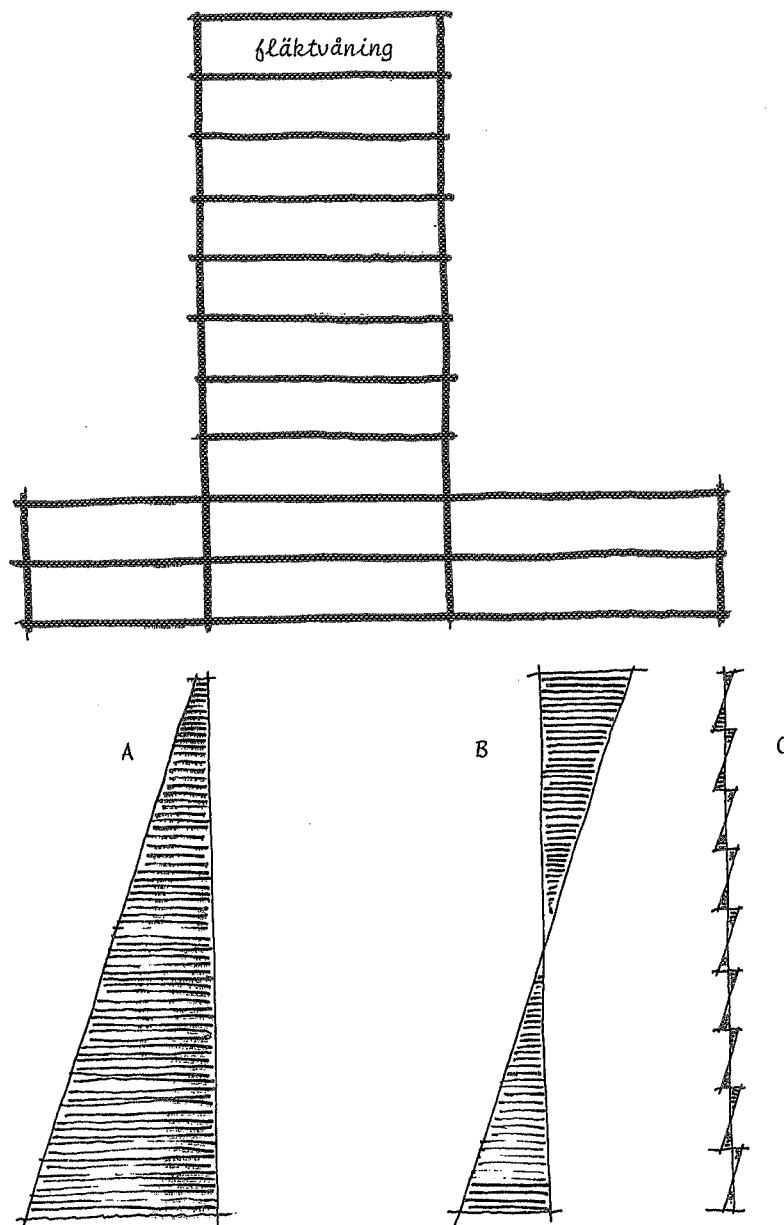


BILD 9

TRYCK ÖVER FASADEN (A) SAMT ÖNSKAD TRYCK-  
FÖRDELNING (B).

(C) ANGER IDEALISK TRYCKBILD OM ALLA VÅNINGAR  
HADE KUNNAT TÄTAS SINSEMELLAN.

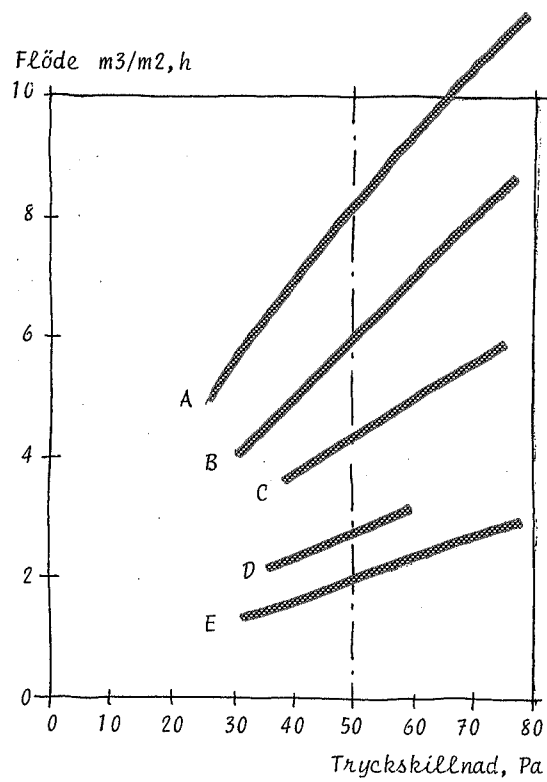


BILD 10

## OTÄTHET HOS FÖNSTER MED OLIKA TÄTNINGSÅTGÄRDER

- (A) = i befintligt skick
- (B) = tätning karm - vägg
- (C) = (B) + tätning karm - båge
- (D) = (B) + (C) + tätning båge - glas
- (E) = (B) + (C) + (D) + tätning espagnolett

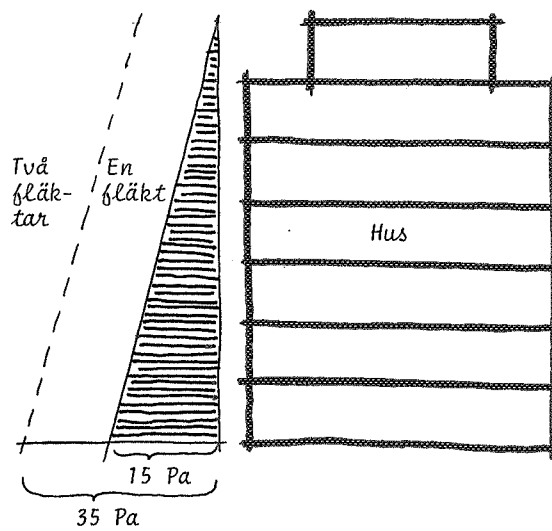


BILD 11

UNDERTRYCK MED EN RESP TVÅ FLÄKTAR I DRIFT

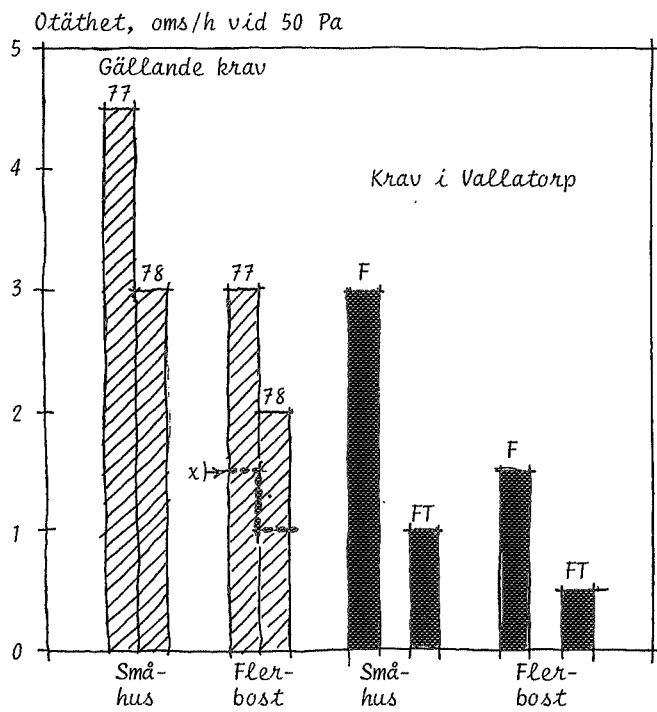


BILD 12

HÖGSTA TILLÄTNA ÖTÄTHETSTAL VID UPPHANDLINGEN AV VALLATORPSOMRÅDET I TÄBY. MOTSVÄRANDE REKOMMENDATIONER I KOMMENTAREN TILL SBN SUPPLEMENT NR 1 ANGES SOM "GÄLLANDE KRAV"

x) högre hus än 3 vån.



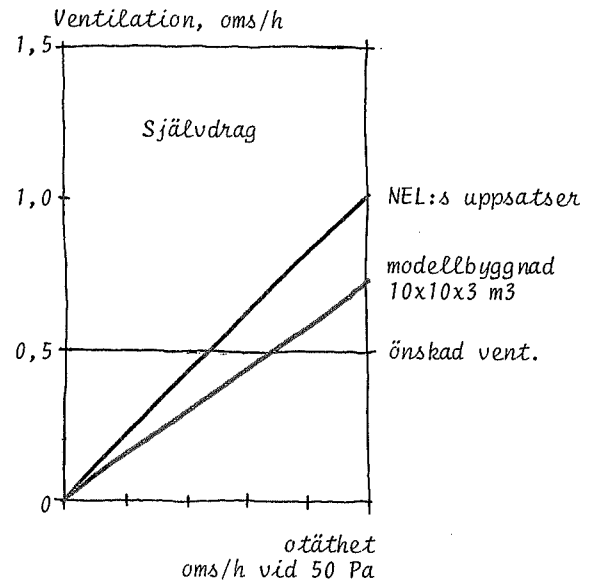


BILD 13

BERÄKNADE VÄRDEN FÖR MODELLBYGGNAD 10x10x3 m<sup>3</sup>  
I JÄMFÖRELSE MED TIDIGARE PUBLICERADE UPP-  
SKATTNINGAR.

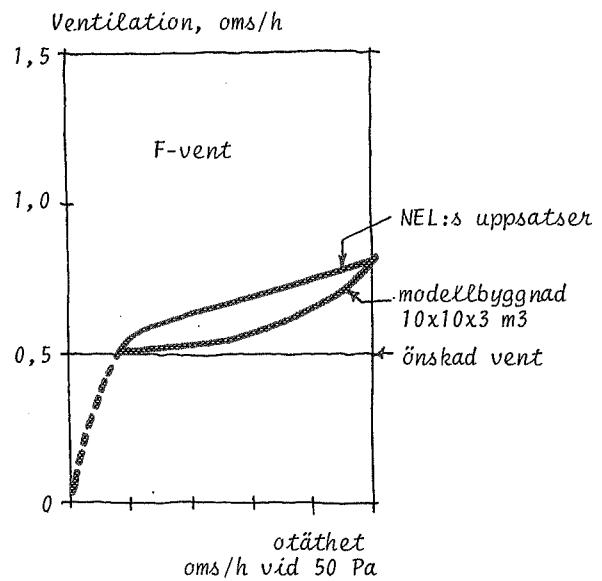


BILD 14

BERÄKNADE VÄRDEN FÖR MODELLBYGGNAD ENLIGT  
BILD 17 I JÄMFÖRELSE MED TIDIGARE PUBLICERADE  
UPPSKATTNINGAR.

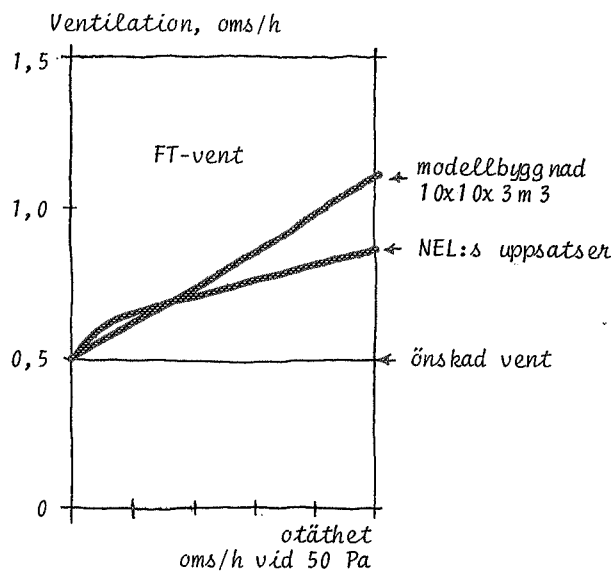


BILD 15

BERÄKNADE VÄRDEN FÖR MODELLBYGGNAD ENLIGT  
BILD 17 I JÄMFÖRELSE MED TIDIGARE PUBLICE-  
RADE UPPSKATTNINGAR.

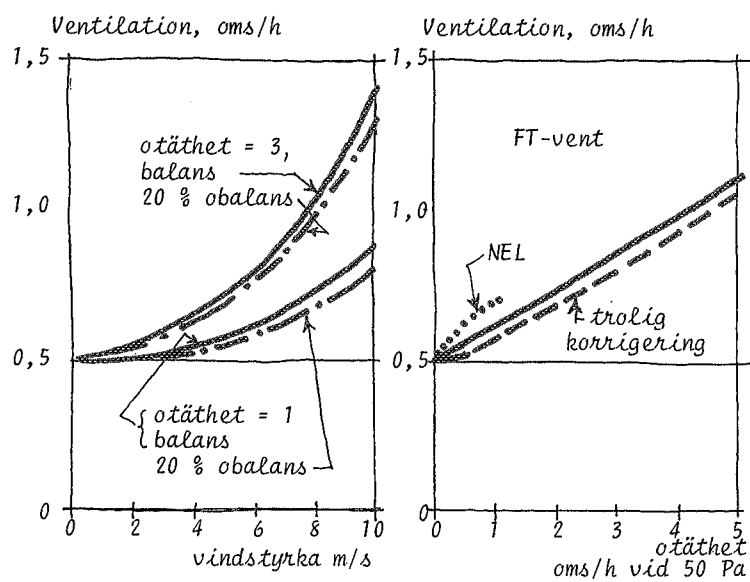


BILD 16

BERÄKNINGAR PÅ MODELLHUSET (10x10x3 m<sup>3</sup>) VISAR ATT OBALANS VID FT-VENTILATION I NÅGON MÅN MINSKAR ÖNSKAD LÄCKNING. DETTA ÄR DEN RAKT MOTSÄTTA EFFEKTEN MÖT VAD SOM FRAMFÖRDES I LINDSKOUGS DEBATTARTIKLAR.

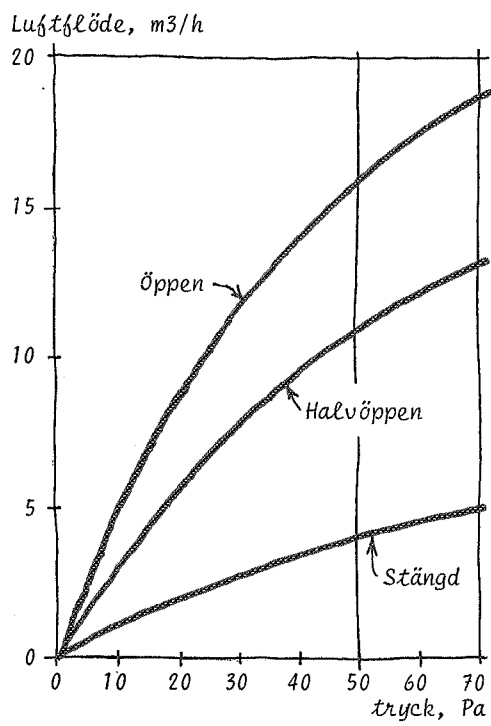


BILD 17

FLÖDE GENOM TILLUFTVENTILER I FÖNSTER-  
KARMAR I TÄBYPROJEKTET. (EN VENTIL AV 6)

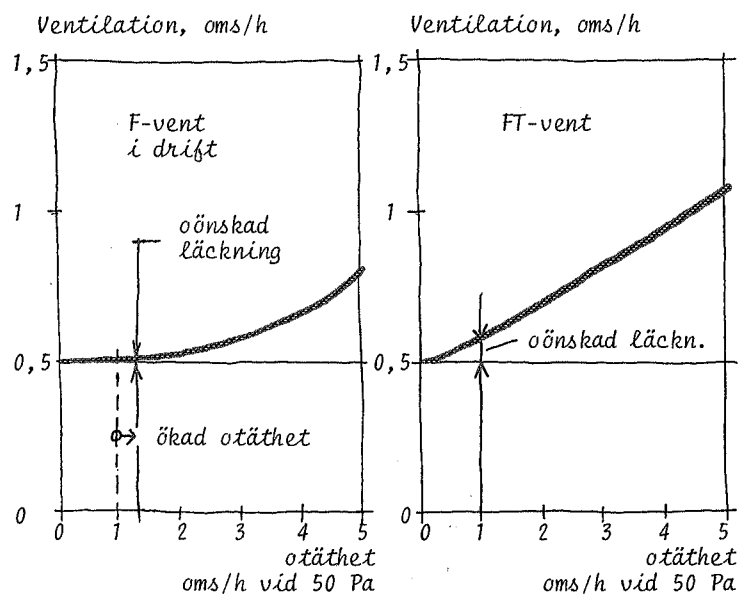


BILD 18

FÖRÄNDRING AV OTÄTHETSFAKTORN MED ÖPPNA TILLUFTVENTILER I F-SYSTEMET. JÄMFÖRELSE MELLAN ÖNSKAD LÄCKNING I F- OCH FT-VENTILATION FÖR HUS MED OTÄTHET SOM I TÄBY-PROJEKTET.

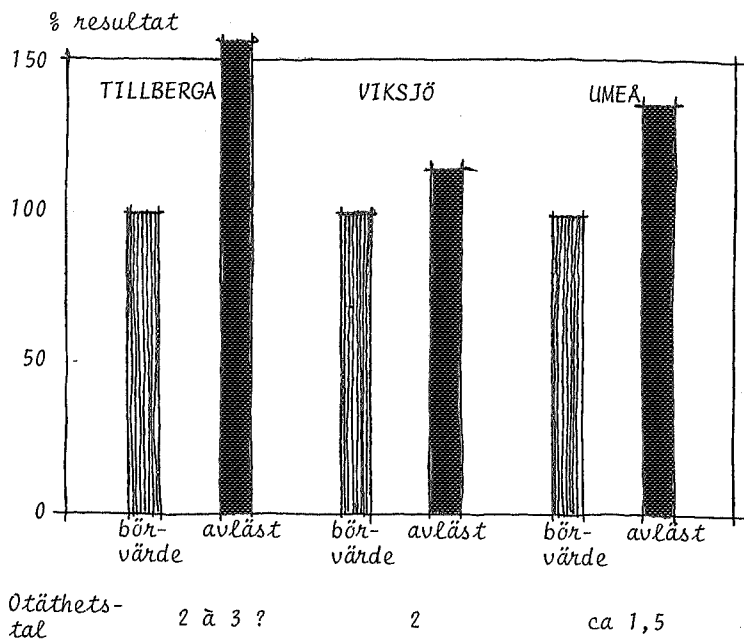


BILD 19

JÄMFÖRELSE MELLAN TEORI OCH PRAKTIK I NÅGRA FALL. BÖRVÄRDET ÄR TOTAL NETTOENERGIÄTGÅNG UTAN ÖNSKAD LÄCKNING:

TILLBERGA AVSER ETT HUS MED FT-SYSTEM OCH VÄRMEVÄXLARE JÄMFÖRT MED OCH BERÄKNAT ENLIGT 9 ANDRA HUS MED SJÄLVDRAG.

VIKSJÖ AVSER EN JÄMFÖRELSE MELLAN 10 HUS MED ELRADIATORER OCH 10 LIKADANA HUS MED FT-SYSTEM OCH VARMLUFT (ej värmväxling).

UMEÅ AVSER 4 HUS MED FT-SYSTEM OCH VÄRMEVÄXLING JÄMFÖRDA MED OCH BERÄKNADE SOM 9 HUS MED F-SYSTEM.

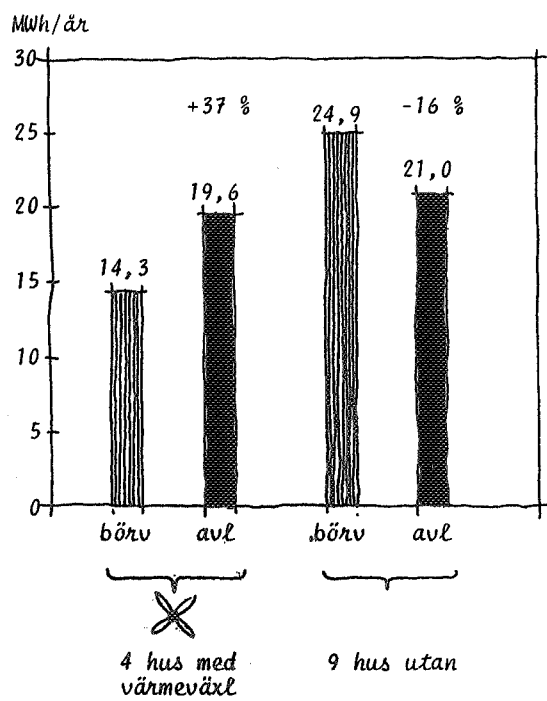


BILD 20

PRELIMINÄRA RESULTAT FRÅN 14 PROVHUS I UMEÅ (VILLA 80 - NÖLIA), ETT HUS (EKO-80) MED VÄRMEPUMP UTESLUTET PÅ GRUND AV FÖR HÖG FÖRBRUKNING.

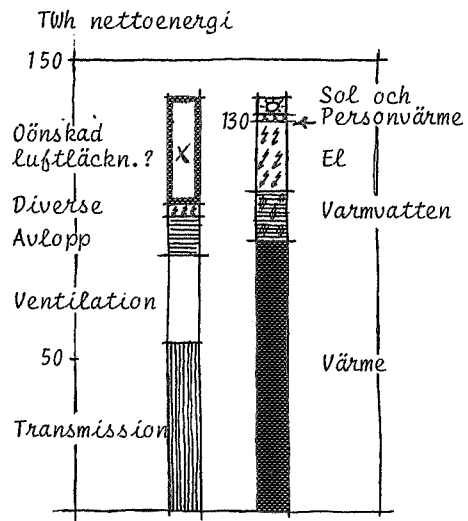


BILD 21

SPEKULATIV ENERGIBALANS FÖR ALLA SVERIGES BYGGNADER. DEN ÖÖNSKADE LUFTLÄCKNINGEN DEFINIERAS SOM ALLT DET LUFTFLÖDE GENOM BYGGNADEN SOM INTE PROJETERAS.



## LITTERATURGENOMGÅNG

Allmänt

Av för avnämaren praktiska skäl har samtliga titlar, som framkommit i arbetet medtagits i förteckningen oavsett om kommentarer till arbetet ifråga gjorts eller inte.

Vid arbetet med denna redovisning förelåg programskriften av Kärrholm m fl "Ofrivillig ventilation". Någon kommentar till denna utredning görs inte här.

För överskådlighe'ts skull hänvisas här endast till referenser som lätt kan relateras till välkända måttstockar. Sådana måttstockar är NBI:s x) förslag till norm för fönsters täthet samt NKB:s xx) motsvarande förslag för väggars täthet. På samma sätt anges ofrivillig ventilation antingen som antalet luftomsättningar under "naturliga" förhållanden eller vid ett referenstryck av 50 Pa över- eller undertryck.

Litteraturstudien har inte kunnat mer i detalj penetrera mätmetoder och systematik. Här är litteraturen rikhaltig och svår genomtränglig, i vissa fall på grund av tillämpningen av avancerad teori. Följande kan dock noteras.

- Ofrivillig ventilation har i övervägande antalet fall mätts med gasanalys. Regressionsanalys har ofta använts för att relatera mätresultaten av luftomsättning till observerad vindstyrka och temperaturdifferens ute/inne.
- Laboratorieprov har för det mesta skett med konventionella mätmetoder för flöde och tryck.
- Över- respektive undertrycksmätning av hela byggnader har i flera fall krävt något mer ovanliga mätmetoder på grund av de stora flöden som måst användas.

Ett mycket stort intresse har knutits till laboratoriemätning av fönsters täthet. Dalaker, 1961, har otvivelaktigt varit banbrytande, men flera utredningar publicerades före 1961. Med fönsters täthet menas oftast tätningen mellan karm och båge. Här har främst träfönster undersökts med olika typer av tätningslister.

Träregelkonstruktioners täthet är rikt förete'dd i litteraturen. Här behandlas huvudsakligen

- läckning genom väggen - ofta i fogar, karm - vägg,

---

x) Norges Byggeforskningsinstitut

xx) Nordisk Kommitté för Byggnadsbestämmelser

- vindtäthet och makrokonvektion i mineralullsisoleringar,
- vind- och slagregnstäthet av övriga fogar.

Kronologisk genomgång av täthetsmätningar på byggnadsdelar, figurer sidor 1:7 och framåt

Coldman & Held (1940) redovisar åtskilliga mätningar av fönstertätning med och utan tätningslistor. Metoden är intressant och har fått efterföljd, men resultaten är från dagens synvinkel ointressanta.

Frisk (1942) ger en populär översikt av fönsterdragets natur och behandlar även skallras, som ju sedermera utomordentligt ofta förekommit i diskussionen om fönster.

Bergvall & Dahlberg (1944) ger en översikt av luftläckagets betydelse för fönsters värmeekonomi. Ett flertal tekniska resultat, som även med dagens teknik anses vara utmärkta, redovisas.

Nevander redovisar 1949 höga luftgenomsläpplighetstal för tegelväggar som inte putsats. Nevander gör vissa jämförelser mellan "normala" tegelväggar och Bergvall & Dahlbergs omsorgsfullt tätade fönster. Därvid konstateras bl a

- ett omsorgsfullt tätat fönster läcker 16 m<sup>3</sup>/h vid 100 Pa,
- en 15 m<sup>2</sup> tegelyttervägg läcker 9 m<sup>3</sup>/h vid 100 Pa,
- ett nyckelhål läcker 35 m<sup>3</sup>/h vid samma tryck.

Lund, Peterson (1952) gör ekonomiska överslag med hänvisning bl a till Coldman & Helds ovan refererade artikel. Författarna jämför också fönsters täthet vid övertryck respektive undertryck (obetydlig skillnad).

Birkeland & Lundby (1954) diskuterar luftvägens längd vid luftens passage genom en springa båge - karm och denna väglängds inverkan på luftflödet. Det refereras bl a till dåvarande amerikanska bestämmelser för täthet hos fönster som låg vid 55 m<sup>3</sup>/h, m foglängd vid 70 Pa. Detta är ca 100 gånger mer än tillåtligt i nuvarande svenska bestämmelser.

Birkeland & Wigen (1955) redovisar tätheten hos fogar mellan karm och vägg. Mineralulldrevning, som utförs "genomsnittligt" väl ger knappast tillräcklig täthet enligt NKB:s normförslag. En hög packning av drevningen erfordras. En stor mängd parametrar varierar i arbetet och vissa kombinationer ger utomordentligt god tätning. Ett mer uttömmande referat faller utanför ramen av denna litteraturgenomgång.

Lundby & Wigen (1956) redovisar ett betydande antal försök avseende vindtäthet mellan karm och vägg.

Bl a redovisas papptätning mot karmen under klämlist vilket ger mycket god tätning om den kombineras med väl utförd drevning.

Esdorn (1958) redovisar analyser av sambanden mellan luftövertryck och läckning för fönster. Tätningen är för nordiskt bruk ointressant, men nämnda samband må noteras.

Dalaker (1961) har som antyttts gjort ett banbrytande arbete genom ett försök till klassificering av täthet för fönster. Klassificeringen är ett resultat av en lång serie mätningar med olika fönstertätningar av vilka majoriteten gav tvivelaktiga resultat ur tätnings synpunkt.

Rasmusen, Huramen, Birkeland, Jonsson (1963) presenterar förslag till täthetsnorm för utfackade ytterväggar. Sådana kurvor används i denna litteraturgenomgång såsom jämförelsebas för olika redovisade tätningar. Endast den högre tätningskurvan diskuteras dock i artikeln från 1963.

Nylund (1966) redovisar läckageflöden i och genom flerskiktswäggar. Här visas att skivor (internit) måste både spikas och läktas för att tätheten skall bli någorlunda god. Även drevningens och drevningsdjupets betydelse analyseras. Beräkningsmetoder för tätning i flera skikt redovisas.

Lundin (1970) presenterar en drevningsteknik som delvis bygger på att drevningen omsluts av en sk klubbfilm. Precis som vid annan drevningstätning visar det sig också här att graden av komprimering är utomordentligt viktig för tätningen.

Fleury, Thomas (1972) redovisar hur täta fönster är i Frankrike. De tätaste fönster som redovisas ligger nätt och jämnt inom sektorn för "godtagbart" enligt NBI:s normförslag.

Holmqvist, Victorin (1973) redovisar in situ-provningar med guarded box på Östra Sjukhuset i Göteborg. Här rör det sig om tätningsmätningar av fogen mellan karm och vägg. Fogningen är utförd med mineralulls drevning kombinerad med bottningslist samt fogmassa. Enligt mätningarna får man nästan helt täta fogar. Både mätmetoden med guarded box och täthetsresultatet är av intresse.

För att underlätta läsningen har täthetsmätningar etc av byggnadsdelar hänförts till en kronologisk serie (ovan). Mätningar av ofrivillig ventilation samt tätningsmätningar av hela hus refereras nedan för sig.

Ett relativt stort antal publikationer avhandlar ämnet "ofrivillig ventilation" samt täthet av hela hus.

Jourdan, Ericksson, Leonard (1963) har genomfört mät-

ningar med gasanalys i två st lika enplansvillor. I ett av husen erhöles utomordentligt låga (jämförelsevis) luftomsättningstal även vid hög vindlast och stor temperaturskillnad ute/inne. Försök att med hjälp av en formel korrelera luftomsättningen (den ofrivilliga ventilationen) med just utetemperatur och vind redovisas.

Coblentz, Aschenbach (1963) redovisar omfattande försök av luftomsättning i olika typer av småhus, både äldre och yngre. Exempelvis visar det sig att fyra av fem nya hus hade luftomsättningstal under 0,5, medan samtliga hus som var äldre än sju år hade större luftomsättning än 0,6.

Tamura (1964) har genomfört två stora försök med källarförsedda enplanshus. Sammanlagt 62 försök finns redovisade. De lägsta luftomsättningstalen ligger nere vid nivån 0,06. Det lägsta medelvärdet för försöksserier under vår och vinter ligger emellertid vid nivån ungefär 0,2.

Lashober, Healy (1964) har genomfört mycket omfattande mätserier, som sedan behandlas med multipel regressionsanalys för att undersöka sambandet mellan luftläckning, utetemperatur och vind.

Tamura, Wilson (1966) redovisar analys av tryckförhållanden i en nio våningsbyggnad och dessa förhållanden är av synnerligt intresse för att sedermera bestämma luftläckning exempelvis genom ytterväggar. Till detta problem återkommer Tamura i ett senare arbete.

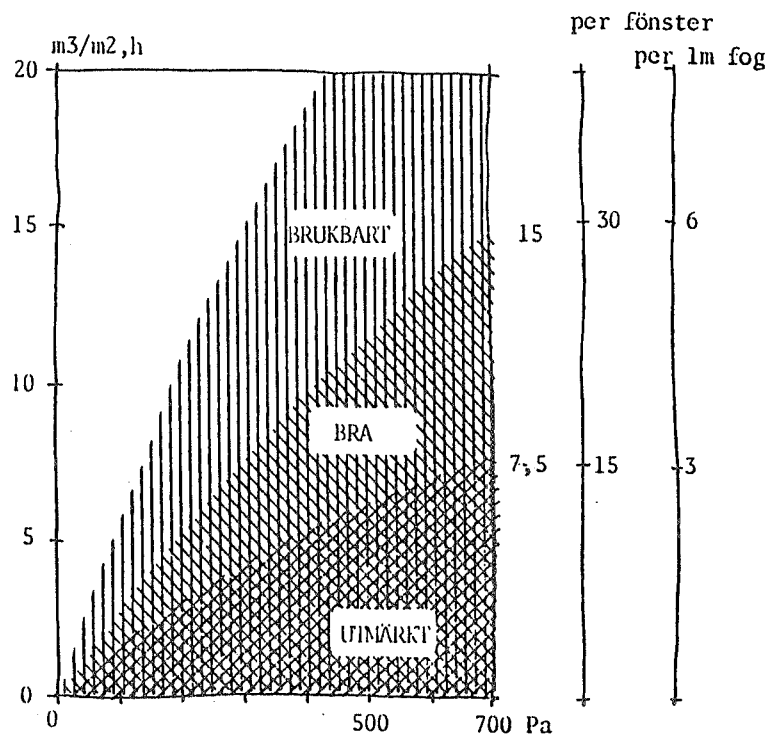
I detta arbete redovisar Tamura tillsammans med Shaw och Sandy (1973) hur man kan sätta stora byggnader under övertryck med hjälp av ventilationssystemet och sedan mäta och räkna ut luftläckningen genom byggnaden. Ett utomordentligt intressant resultat av mätningarna och beräkningarna, som genomförts på fyra kanadensiska stora kontorshus, är att läckningen genom yttervägg visar sig vara 5 m<sup>3</sup>/h m<sup>2</sup> vid tryckdifferensen 50 Pa. Detta är närmare två 10-potenser högre värden än gällande svenska bestämmelser. Den ofrivilliga ventilationen, beräknad på samma sätt, visade sig vara 2,5 luftomsättningar i tre av de fyra byggnaderna och 5 luftomsättningar i ett av husen (vid 50 Pa).

Hildingson, Holmgren (1976) har genomfört ett antal tryckmättningsförsök på enfamiljshus. Flödet vid 50 Pa låg i allmänhet mellan 1.000 och 3.000 m<sup>3</sup>/h.

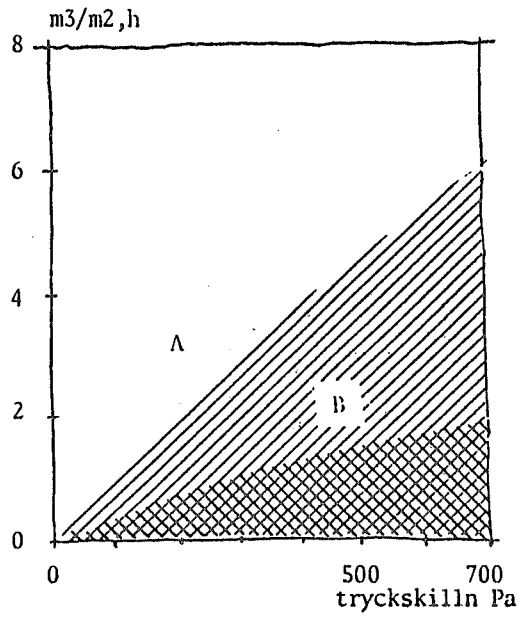
Collet (1976) redovisar i en omfattande rapport, benämnd "Boligers luftskifte", mätningar både med gasanalys och med tryck. Den s k ofrivilliga ventilationen kommer i enstaka fall ner emot 0,1 luftomsättningar men är oftast högre. Vid tryckmätningar redovisas genomgående luftflöden av samma storlek som exempelvis i Hildingson Holmgrens uppsats. Luftflödena ges i

antal luftomsättningar, som ligger mellan 5 och 10.  
Detta motsvarar för ett typiskt svenskt småhus 1500  
- 3000 m<sup>3</sup>/h.

FIGURER TILL LITTERATURGENOMGÅNGEN,  
LITTERATURREFERENSER

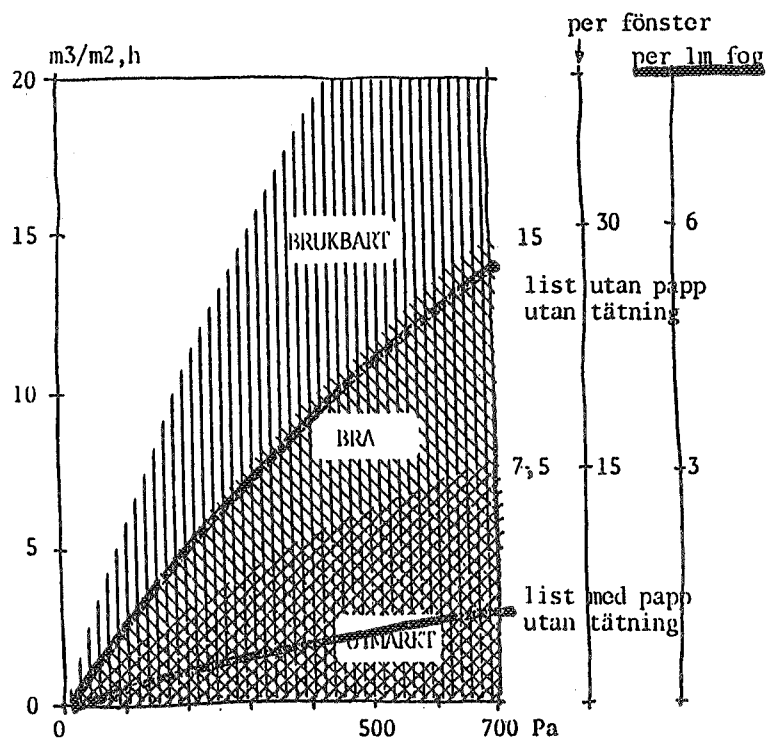


NBI:s FÖRSLAG TILL NORM FÖR FÖNSTERS TÄTHET.

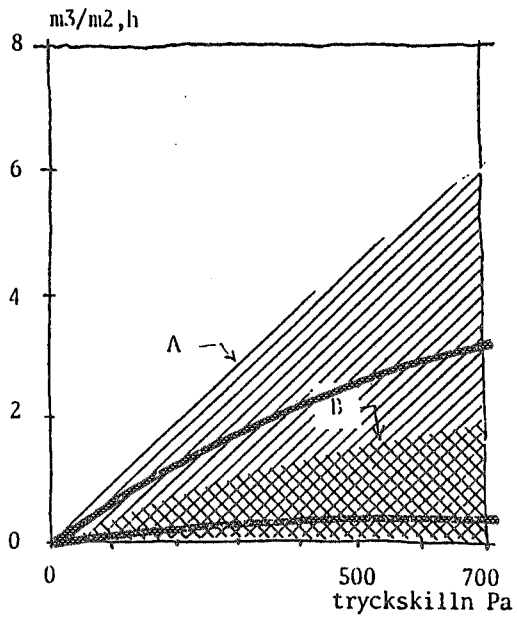


NKB:s NORMFÖRSLAG FÖR VÄGGARS TÄTHET

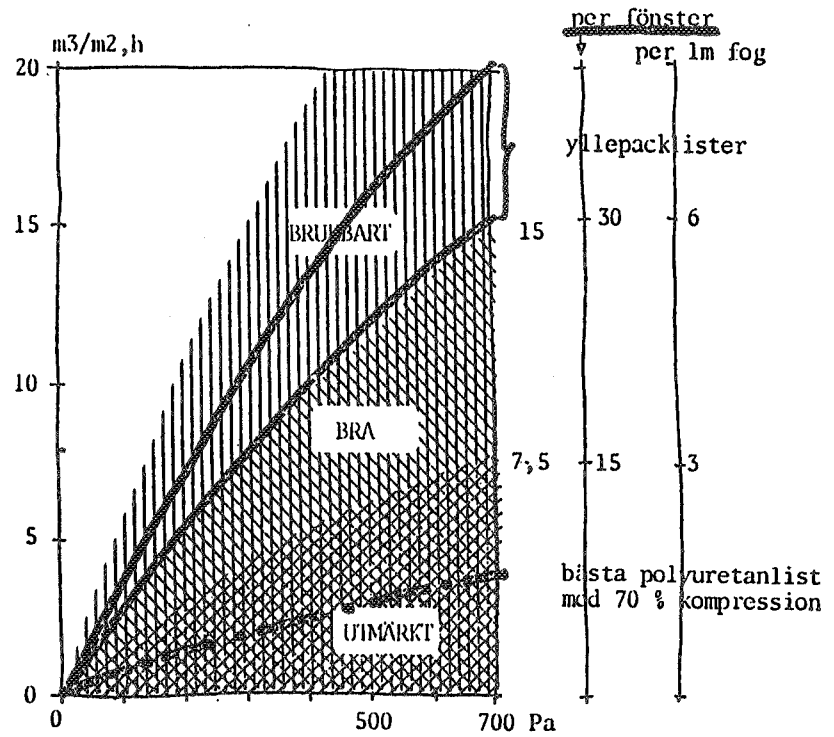




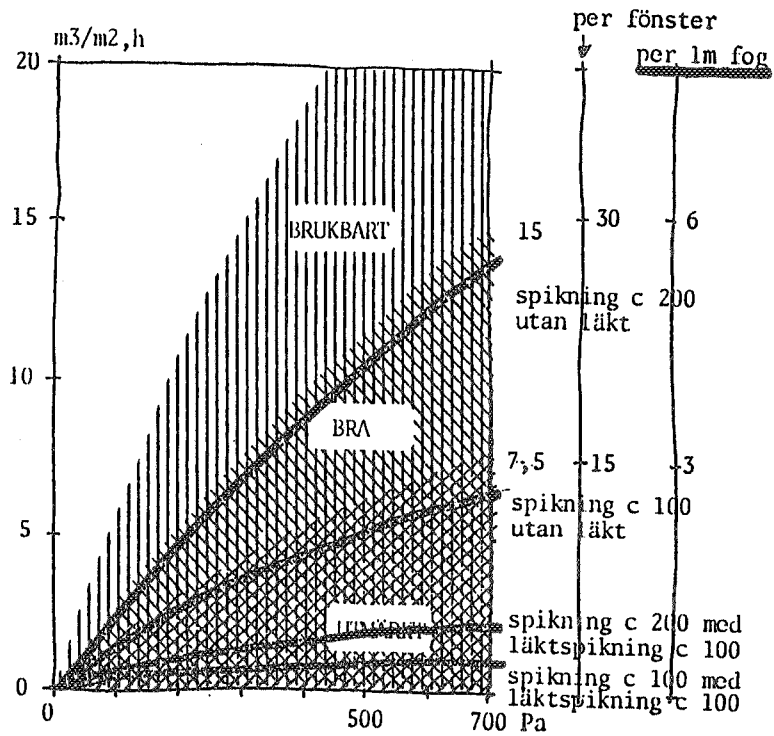
BIRKELAND, WIGEN. EXEMPEL PÅ TÄTNINGS-  
RESULTAT



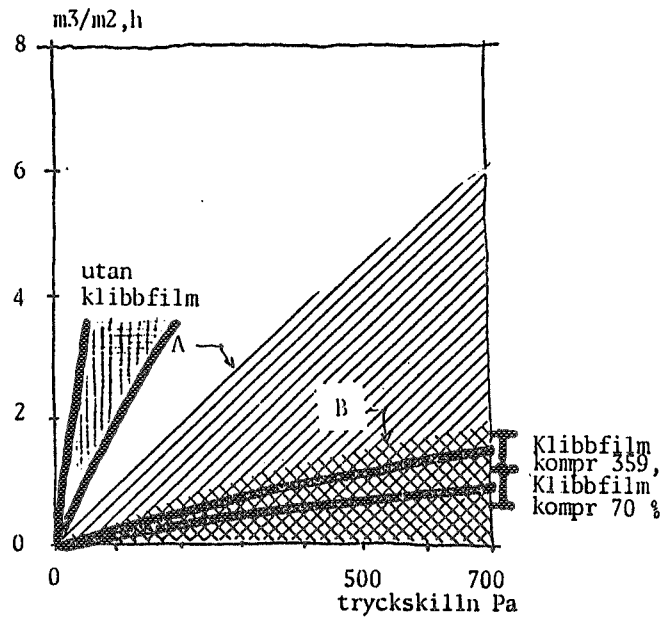
SAMMA TÄTNINGSRESULTAT "ÖVERSATTA" TILL  
 VÄGGTÄTHET VID VÄGGMÅTT 2,4 x 3,6 m<sup>2</sup> MED  
 ETT DÄRI BEFINTLIGT FÖNSTER 1,2 x 1,3 m<sup>2</sup>.



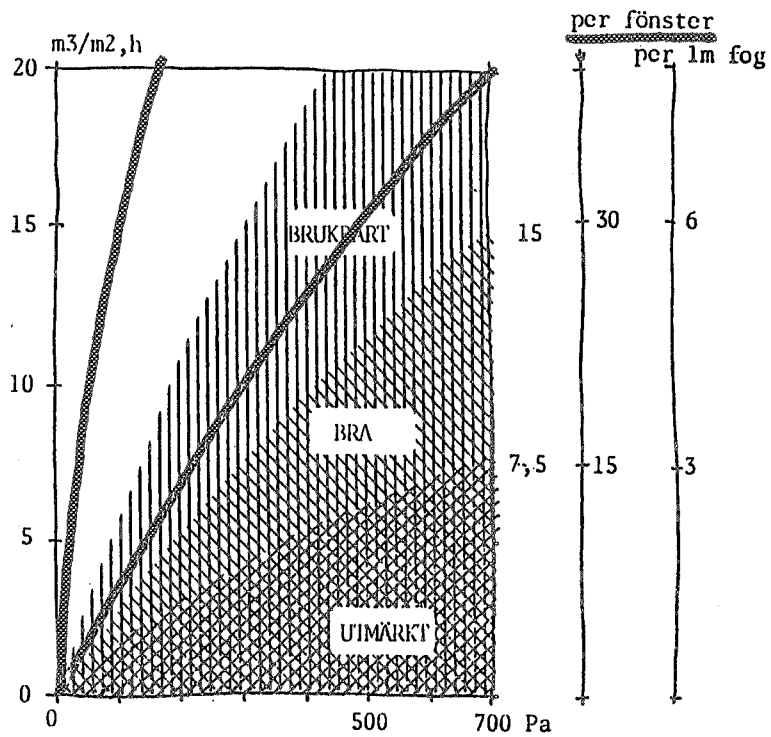
EXEMPEL PÅ DALAKERS PROVNINGAR AV FÖNSTER-TÄTNING MELLAN KARM OCH BÄGE. OBSERVERA ATT KLASSNINGEN "UTMÄRKT, BRA ETC" UTSPRUNGLIGEN KOMMER FRÅN DALAKER.



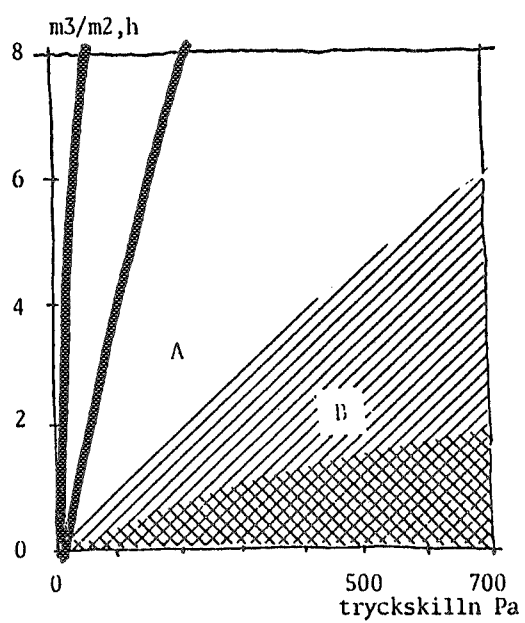
VINDTÄTHET ENLIGT NYLUND (1966) INLAGD I REFERENSDIAGRAMMET.



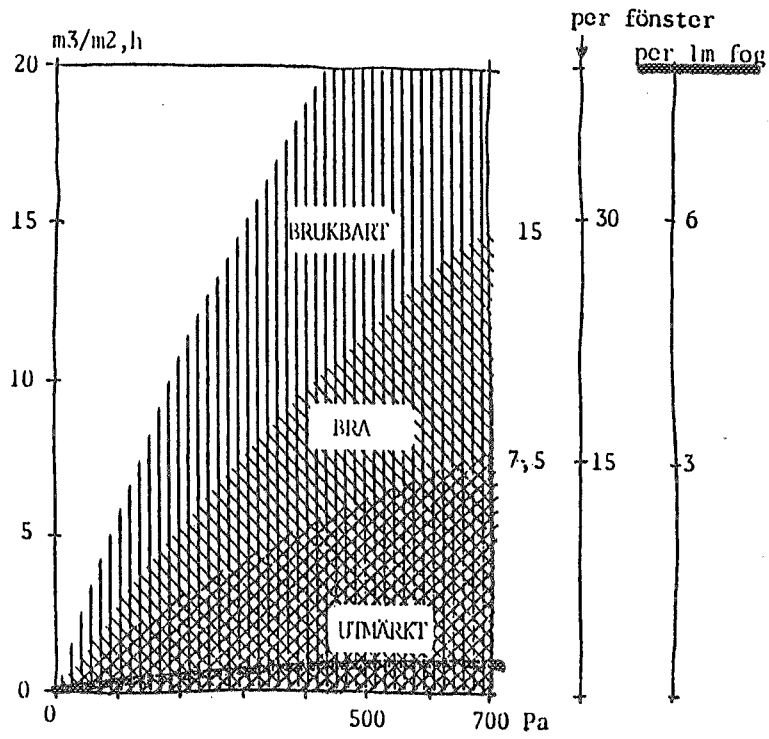
TÄTNING AV FOGAR ENLIGT LUNDEN (1970).  
 LÄCKNINGEN ÄR ÖVERSATT TILL EN VÄGGYTA  
 AV 2,4 x 3,6 m<sup>2</sup> MED ETT DÄRI INSATT  
 FÖNSTER 1,2 x 1,3 m<sup>2</sup>.



FÖNSTERS TÄTHET ENLIGT FLEURY, THOMAS (1972)

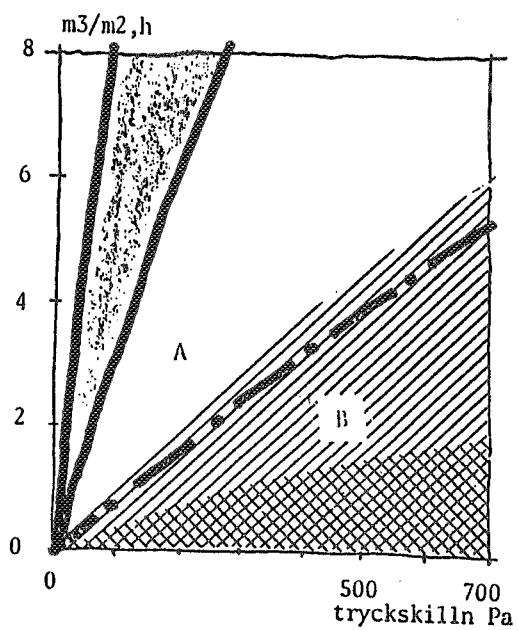


VÄGGLÄCKAGE ENLIGT SHAW, SANDY OCH TAMURA (1973)



LUFTLÄCKNING GENOM FÖGAR ENLIGT  
HOLMQVIST, VICTORIN (1973)





HILDINGSON, HOLMGREN (1976), COLLET (1976)  
 M FL REDOVISAR LÄCKFLÖDEN I SMÅHUS MELLAN  
 1000 OCH 4000 m<sup>3</sup>/h (VID 50 Pa). DESSA VÄR-  
 DEN HAR INLAGTS I DIAGRAMMET FÖR YTTERVÄGGARS  
 TÄTHET - SOM EN REN JÄMFÖRELSE (HÄLDRÄGNA  
 LINJER). RESULTATET FRÅN SKUTSKÄR (DENNA  
 RAPPORT) HAR OCKSÅ LAGTS IN I DIAGRAMMET  
 (STRECKPRICKAD LINJE).

Coleman F., Heald H., Building Materials and Structures, Report FMS45, United States Department of Commerce, 1940.

Frisk, P, Fönsterdrag, Byggmästaren 1942, 19.

Bailey A., Noel D., Wind-pressure on buildings, Institution of Civil Engineers, paper 5367, 1944, London

Bergvall L., Dahlberg E., Värmeisolering och lufttätthet hos fönster, Byggmästaren 1944, 15.

Ingenjörshandboken I Allmänna delen, 1947, Nordisk Rotogravyr, Stockholm

Nevander L-E., Luftgenomsläpplighet hos tegelväggar, Tegel nr 3/1949

Dick J.B., Ventilation Research in occupied houses, IHVE, 1951.

Chien N., Wind-tunnel studies of pressure distribution on elementary building forms. University of Iowa, 1951.

Lund, Peterson, Air-Infiltration Through Weatherstripped and Non-Weatherstripped Windows, 1952.

Thomas D.A., Dick J.B., Air infiltration through gaps and around windows, 1952, Journ IHVE, june.

Birkeland Ø, Lundby S.-E., Trekk fra vinduer. Norges Byggeforskningsinstitut, 1954, nr 10.

Granum H., Svendsen S.D., Tveit A., Lette treveggers vindtetthet, 1954.

Birkeland Ø, Wiggen R., Fuge mellom karm og vegg, Forsøk med lufttetthet av dyttefuger og fuger uten dytt, 1955

Collins B.G., The measurement of ventilation rates using a radioactive tracer, JIHVE, 1955

Lundby S., Wiggen R., Vindusomramninger i trehus, NBI, R18, 1956

Olenmark H., Luftgenomstrømning vid treglasfönster, Byggmästaren 1957, B9.

Ronge H., Löfstedt B., Luftfuktighetens värmeverkan och "effektiv temperatur", VVS 1957:2, Stockholm

Esdorn H., Luftdurchlässigkeit der Fenster u. Druckverteilung im Gebäude, 1958

Mantle, K.G., The Measurement of Air Infiltration through Metal-Framed Windows, The Heating & Ventilation Engineer & Journal of Air Conditioning, 1958

Van Gunst, E., Heat raamin onze woning in verband med gezondheid en economie (De Ingenieur G. Gesundheits-technik) 1959, 3 no 11, 13 maart, p G21-G31, continued

Lorentzon, G., Konveksjon i köleromsisolasjon. Noen undersøkelser av varmelekkasjer i praksis, 1959, Kylteknisk tidskrift, vol 19, nr 1, febr 1960, p 1-8, Stockholm

Cammerer J.S., Hirschbold F.X., Der Einfluss der Fensterbauart auf den Luftdurchgang (Gesundheits-Ingenieur) 61, Heft 29, p 393-399

Dalakers, M., Tettelister for vinduer, 1961, Oslo.

Uniform Building Code, 1961, Standards Institute, USA

Wilson A., Air leakage in buildings, 1961, Canadian Building Digest, report CDB 23, Ottawa

Eriksson B.E., Bostadsventilation, Byggforskningsen R77:1962

Sasaki R., Wilson A.G., Window air leakage, Canadian Building Digest, NRC, DBR Ottawa, January 1962

Bertier J., Influence de la ventilation de la lame d'air sur l'isolation thermique d'une paroi creuse (Cahiers du centre scientifique et technique du bâtiment) no 63, août 1963, cahier 520, Paris.

Coblentz, Aschenbach, Field measurements of air infiltration in electrically heated houses, 1963

Höglund I., Högisolerade ytterväggars värmotstånd (Statens råd för byggnadsforskning) 1963, handlingar nr 41, Stockholm.

Jordan R.C., Ericson G.A., Leonard R.R., Infiltration Measurements in Two Research Houses, Paper prepared for presentation at the ASHRAE 70th Annual Meeting, Milwaukee Wisc, June, 1963

Levecque M., Conductivité convection naturelle et perméabilité. Revue générale de Thermique, 1963, oct-dec, Paris.

Nordiska Kommittén för Byggnadsbestämmelser, Förslag till byggnadsbestämmelser för lätta icke bärande ytterväggar, Byggmästaren 1963, 11.

Nylund P-O., Kondens i väggar. Fältundersökning, 1963

Wahling B., Luftdistribution, fläktar och inblåsning, VVS-handboken, 1963

Wigen R., Vinduer (Varmetap ved luftgjenomgang) (NBI, 1963)

Byggnadsenergigruppen, Energianvändning i byggnader, 1964 (Statens råd för byggnadsforskning) rapport R10:1974.

Ferencowicz J, Wentylacja i klimatyzacja, 1964, Arkady, Warszawa.

Höglund I., Hansson T., Inre konvektion i byggnadskonstruktioner, 1964, BFR rapport 106, Stockholm.

Laschober R., Healy J.H., Statistical analyses of air leakage in split-level residences, ASHRAE-Trans No 19000, 1964

Rydberg J., Ventilationsteknik (inblåsning och utsugning), KTH, 1964

Tamura G.T., Air leakage and pressure measurements on two occupied houses. ASHRAE-Trans No 1869, 1964

Lindner J, Strus W., Bwzpieczenstwo pazarowe budynkow, 1965, SOSP, Warszawa.

Ljung O., Värmetransport genom fönster, Bygghforskningen, R15:1965

NKB-skrift nr 5, dec 1965, Felles nordiske retningslinjer for letter ikke-baerende yttervegger.

Sasaki J.R., Wilson A.G., Air leakage values for residential windows, 1965, ASHRAE-Trans vol 71, part 11, p 81-88.

Brown F., Solvärme genom fönster och solskydd, 1966, SIB handling 36, Stockholm

Dalaker, M., Gaskets in window joints, Norwegian Building Research Institute

Elmroth A., Fukt- och temperaturförhållanden i kryprum, 1966, Lättbetong, Stockholm

Isaksen, T., Slagregn of utformning i og mellom betongelement, 1966. NBF1, Saertryck 131, Oslo.

Nylund, P-O., Vindtäthet hos flerskiktswäggar (Statens råd för byggnadsforskning) 1966, rapport R3/67, Stockholm

Tamura G.T., Wilson A., Pressure differences for a ninestorey building as a result of chimney effect (ASHRAE-Transactions No 1973, 1966).

ASHRAE Handbook of fundamentals, 1967, chapter 25, Infiltration and ventilation, p 405-418, New York

ASHRAE Handbook of fundamentals, 1967, chapter 26, Design heat transmission coefficients, p 419-456, New York

Isaksen, T., Rain leakage tests on through-joints. Norwegian Building Research Institute, 1967.

Meckler, M., How to determine building infiltration rates at low Reynolds number, Heating, Piping & Air Conditioning, March 1967, Chicago

Nylund P-O., 1967, Vindtäthet hos flerskiktsväggar. Meddelande nr 51 från Institutionen för byggnadsteknik, KTH, Stockholm

Rögelein, W., Ermittlung des windbedingten Lüftungswärmebedarfs bei Hochhäusern, Heiz.-Luft.-Haustechn. 18, 1967

Tamura G.T., Wilson A.G., Pressure Differences Caused by Chimney Effect in Three High Buildings, ASHREA 74th Annual Meeting, 1967

Tamura G.T., Wilson A.G., Building Pressures Caused by Chimney Action and Technical Ventilation, ASHRAE 74th Annual Meeting, 1967.

Besiktningar, byggfel. Sv Byggn.ing. Riksförbund, komp 15:1968, Stockholm

British Standards Institution, Methods of test for resistance to air and water penetration, Part 1. Windows and gasket glazing systems, BS4315:Part 1:1968

Gabrielsson, J., Calculation of infiltration and transmission heat loss in residential buildings by digital computer, JIVHE, March 1968

Klimatgruppen, byggnadsaerodynamik, Statens Inst för Byggnadsforskning, 1968

Reinius, E., 1968, Hydraulik, Stockholm

Rydberg, J., Om ventilationssystemens funktion, VVS 2, 1968

Tamura, F., Wilson, A., Pressure differences caused by wind, ASHRAE-Transactions, 74, 1968, New York

Tamura, G.T., Wilson, A., Pressure differences caused by wind on two tall buildings (ASHRAE-Transactions No 2085, 1968).

Gabrielsson, Matalainen. Värmetekniska egenskaper hos ett frånluftflönster med 3 glas, 1969, VVS 5, Helsingfors

Gosman et al, Heat and mass transfer in recirculating flows, 1969 (Academic Press) London.

Granum, H, Byggningsfysik, Universitetsförlag, 1969, Oslo

Hagman, F., Isolerande fasader. Funktion, konstruktion, ekonomi, 1969, SIB Rapport 35, Stockholm.

SIB, Ytterväggar, värmeisoleringsförmåga och sprickförekomster hos sju väggtyper inom två klimatområden, 1969, rapport 28, Stockholm.

Adamson et al, Fukt, Byggnadstekniska fuktproblem, 1970 (Statens råd för byggnadsforskning) programskrift 12, Stockholm

Byberg, M.R., Vinduers taethed mod vind og regn. Danmarks tekniske højskole, Byggeindustrien 19, 1970.

Elmroth, A., Undersökning av en fasadkonstruktion, KTH, 1971, VVS 2, 1970

Elmroth A., Höglund I., Analys av ofrivillig ventilation i småhus, 1970, VVS 2, Stockholm.

Jackman, P., A Study of the natural ventilation of tall office buildings. Heating a. ventilating engineer, 41, 1970, London

Lundin, R., Fogtätningssystem för ytterväggar, Byggmästaren 12, 1970

PN-70/B-02011, Polska normer, 1970, Warszawa.

Skinner, Weathertight windows and doors, 1970.

Jennings, Armstrong, Ventilation theory and practice, 1971

Persson, M., Konvektion i porösa material, speciellt mineralull, 1971. En bibliografi (CTH) Byggnadskonstruktion, rapport 1971:29, Göteborg

Peterson., F., Ofrivillig ventilation - stort problem i speciella industrier, Byggnadsingenjören Team 4, 1971

Preussker, H., Ermittlung des Lüftungswärmebedarfes, HLH Nr 8, 1971.

Règles de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois de construction et des déperditions de base des bâtiments. Centre Scientifique et Techniques du bâtiment, cahier 1053, 1971, Paris.

Ytterväggar, maj 1971. Byggnadsstyrelsen, KBS-rapport 58, Stockholm

Anderlind, G., Inverkan av springor och spalter på värmeisolering hos väggar med skivor av styren-cellplast. Avd för Byggnadsteknik, CTH, 1972, rapport nr 199, Göteborg

Anon, Rain penetration at joints

Appelquist.B., Loyd.D., Grundläggande teknisk strömningslära, 1972 (Ingenjörsläroverket) Stockholm

ASHRAE Handbook of fundamentals, 1972, chapter 19. Infiltration and natural ventilation, p338-339, New York

Bankvall, C., Natural convective heat transfer in insulated structures, Byggnadsteknik, LTH, 1972, rapport 38, Lund

Bankvall, C., Sandberg, P.I., 1972 Vind (Inst för Byggnadsteknik, LTH) Kompendium i Byggnadsteknik I, Lund

Elmroth, A., Höglund, I., Småhusgrundläggning med kryprum, 1972, B13, Stockholm

Evans, B.H., Natural air flow around buildings, 1972, Building Climatology, Vo. 1, Statens Inst för Byggn.forskn., Stockholm

Fleury, Thomas, Variation de la perméabilité à l'air des fenêtres en fonction de la température extérieure, Cahiers du centre scientifique et technique du bâtiment no 132, sept 1972.

Gerties, K, Belüftete Wandkonstruktionen, Inst für Bauphysik der Framhofer Gesellschaft, 1972, Berlin

Glas, Levegård, Levin, Den konvektiva värmeavgivningen ..., 1972, R26, Stockholm

Gyproc gipsskivor på stålregelstomme, 1972 (handbok utgiven av AB Gyproc, Malmö)

Göstring, B, Kalibrering av instrument för lufttekniska mätningar, VVS nr 10, 1972.



Honma, H, Metod för bestämning av luftströmning  
en inom byggnader (VVS 7, 1972).

Paljak, I, Termografering av byggnader, Bygg-  
forskningen T14, 1972.

Svensson, A, Instrument för mätning av lufthas-  
tigheter, VVS 1, 1972.

Undersökning av fasader i förvaltningsbyggnaden  
kv Garnisonen, Stockholm, juni 1972. Byggnads-  
styrelsen, KBS-rapport 77, Stockholm

Wirén, B, Modellstudier i vindtunnel av vind-  
strömningen nära marken kring schematiska hus-  
kroppar, KTH, 1972.

Adamson, Ahlgren, Bergström, Fukt i golv och vä-  
gar, 1973, R11, Stockholm.

Agri, Holmlund, Fogar i ytterväggar, 1972, B12,  
Stockholm.

Ahlström, K, Några metoder för mätning av luft-  
omsättningar i lokaler, 1973, KTH, Stockholm

Anderlind, Inverkan av springor och spalter på  
värmeisoleringen . . . ., 1973, T21, Stockholm

Andersson, L-O, Begränsning av fuktskador i yt-  
tervägg genom reglering av lufttrycksdifferens  
mellan väggars in- och ytterväggar, 1973 (Sta-  
tens Institut för Byggnadsforskning) rapport  
R28:1973, Stockholm

CSTB:s, Cahier Technique No 144, 1973.  
L'influence des revêtements sur le développe-  
ment de l'incendie, Paris.

Elmroth, A, Höglund I, Värmebalans i småhus  
(Statens råd för byggnadsforskning) 1973, Rap-  
port R7, Stockholm

Foord, N., Lidwell, O.M. A method for studying  
air movement in complex occupied buildings such  
as hospitals: halocarbons as gas tracers using  
gas chromatography, BSE, July 1973, Volume 41.

Holmquist, L., Viktorin, G., Luftläckage genom  
fogar (Byggmästaren nr 9, p 13-14 1973) Stock-  
holm

Honma, H., Luftinfiltration vid fönster, KTH,  
1973

Höglund, I., Ahlgren, B., Fönsterteknik (Drag-  
teknik) Byggförslaget, 1975.

Klimatforskning. Yttre parametrars inverkan på inneklimat. SITRA. Byggnaders värmeeconomiforskning, Helsingfors 1973.

Shaw, C.Y., Air leakage measurements (ASHRAE Trans. 2280, 1973)

Shaw, Sander, Tamura, Natural convection in a rectangular cavity. Transient behavior and two phase systems in laminar flow. Int. J. Heat and mass transfer, 1973, vol 14, p 467-482.

Shaw, Sander, Tamura, Air leakage measurements of the exterior walls of tall buildings, 1973.

Syrén, B., Mätning av luftflöden i kanaler, Inst för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH, 1973.

Aittomäki, D., Thermal behavior and characterization of indoor spaces, 1974. State Research Centre publ 7, Helsinki

Barnaud, G, Gandemer, J, Détermination en soufflerie des coefficients de pression sur les structures basses, CSTB, cahier 158, 1974, Paris

Byggnadsenergigruppen, Energianvändning i byggnader, Byggeforskningen, R10:1974

Caplan F, Nomogram estimates air infiltration due to stack effects, PACA data sheet, 1974.

Duchêne-Marullaz, Ph, Climatologie, CSTB, cahier 158, 1974, Paris

Gandemer, J., La similitude aérodynamique, CSTB Adym - 11.74, 1974, Nantes

Hellers, G., Vindbelastning på huskroppar av allmän formmodellprov. Byggeforskningen R22, 1974.

Herbert, Window to wall joints, The Architects' Journal, 20 November 1974.

Honma, H., Relation between variables in air infiltration through window cracks, KTH, 1974

Hopkins, L.P., Airflow through cracks, BSE, Sept 1974

Ingenjörsvetenskapsakademien, Effektivare energianvändning, 1974, Meddelande 181, Stockholm.

Jackman, P.J., Heat loss in buildings as a result of infiltration, BSE, April 1974, Volume 42

Kungl Byggnadsstyrelsen, anvisning nr 27, aug 1974. Anvisningar för energiekonomi.

Munther, K-E, Energiförbrukning i småhus, 1974 (Statens råd för byggnadsforskning) rapport R58, Stockholm

Newberry, C, Eaton, K, Wind loading handbook, BRE 1974, Garston

Olsson, H.A., Vindtryck inuti byggnader, KTH, 1974

Svensson, A., Full-scale tests of air movements in rooms. The Swedish Institute for Building Research, Stockholm, CIB, 6th Congress 1974, vol I/1, Budapest

Svensson, A., Gemensamma nordiska metoder för mätning av luftflöden i ventilationsanläggningar, Byggnadsforskningen R51:1974.

ASHRAE Handbook of Fundamentals, Infiltration and natural ventilation, Chapter 1975

Bilsborrow, R.E., Fricke, F.R., Model verification of analogue infiltration predictions, 1975, Building Science, vol 10, Pergamon Press, London.

Eftring, B., Dokumentation av ett datorprogram gällande icke-stationär fri konvektion skrivet av dr R.W. Thomar (LTH), 1975, Byggnadskonstruktionslära, arb.rapport 1975:1, Lund

Eftring, B., Dokumentation av ett datorprogram gällande icke stationär påtvingad konvektion skrivet av prof E. Krause (LTH), 1975, Byggnadskonstruktionslära, arb.rapport 1975:3, Lund

Gandemer, J., Incomfort du au vent aux abords des bâtiments, CSTB 1975, Nantes

Gjelsvik, T., Uteklimatets inflytelse på fasadmaterialer og konstr., Byggmestaren 49, 1975

Hollstedt, K., Instrumenter för mätning av luft-hastighet of luftmengde i ventilasjonsanlegg, NBI, 1975.

Holmberg, R., Larsson, M., Sundkvist, S.G.,  
Beräkning av hastighetsfördelningen i en venti-  
lerad lokal, 1975, VVS nr 10, 1975, Stockholm

Honma, H., Ventilation of dwellings and its  
disturbances (KTH) Inst för uppvärmnings- och  
ventilationsteknik, 1975, Tekniskt meddelande  
nr 63, Stockholm

Kronvall, J., Värmeisoleringsförmåga och vind-  
täthet, LTH, 1975.

McIntyre, IS, Newman CJ, 1975. The testing of  
whole houses air leakage (Building Research  
Establishment) Note N 21/75.

Penwarden, A., Wise, A., Wind environment around  
buildings, BRE 1975, Garston.

Peterson, F., Metod för bestämning av raka in-  
stallationssträckor för fasta flödesmätare i  
ventilationssystem, Inst för uppvärmnings- och  
ventilationsteknik, KTH, 1975.

Règles N.V. 65, révisées 1974, Januari 1975.  
Editions Eyrollés, Paris.

Svensk Byggnorm, 1975, Statens Planverk, Stock-  
holm.

Tamura, G.T., Predicting air leakage for build-  
ing design, 1975, conference report p 368-374.

Tamura, G.T., Measurement of Air Leakage Charac-  
teristics of House. Enclosures Division of  
Building Research, Ottawa, Research Paper No 653,  
1975.

Abel, E., Föreläsningskoncept, 1976, Göteborg

Andersson, L., Arfs, J-E, Lufttäthet hos invän-  
diva tätskikt till ytterväggar med stålreglar,  
Institutionen för byggnadsteknik, KTH, rapport  
1/76, Stockholm.

Dubinski, M.K., Vindstudier vid franska fältsta-  
tioner, 1976, Avd för byggnadskonstruktion, CTH,  
Göteborg

Hagstedt, J., Skiljande träkonstruktioner - över-  
sikt och orientering (Nordiskt träsymposium  
19-21 maj) 1976, Helsingfors.

Hildingson, O, Holmgren, S, Byggnaders lufttät-  
het: Undersökning och utveckling av mätmetoder,  
LTH, Lund, 1976.

Kronvall, J., Nevander, L-E, Air tightness of whole building (LTH) 1976.

Lindskoug, N-E, Lindh, A, Hur täta hus? 1976, Byggmästaren nr 4 p 24-26, Stockholm

Löfstedt, B., Klimathygien, Statens Institut för Byggn.forskning, 1976.

Löfstedt, B., Föreläsning, Installationsåtgärder vid energisnålt byggande (Inst för Byggnads-konstruktionslära, LTH) Lund 1976.

Matilainen, V., Det effektiva K-värdet, 1976, (Nordiskt träsymposium 19-21 maj) Helsingfors.

Peterson, F., Svarta streck, 1976, T9:1976, ISBN 91-540-2544-3, Statens råd för byggnads-forskning

Rosenblad-Wallin, E., Kärrholm, M., Utveckling av ändamålsenliga arbetskläder, 1976, STU-utredning nr 49-1976, Stockholm

#### Odaterade

Ahlström, K-E, Wennberg, M, Några metoder för mätning av luftomsättningar i lokaler (Inst för Uppvärmningsteknik) Tekniska Meddelanden 16-2.

Andersson, L-O., Vindens inverkan på en byggnadskropp från ventilations-teknisk synpunkt, Inst för Uppvärmnings- och Ventilationsteknik KTH, Stockholm

Elmroth, A., Analys av ofrivillig ventilation småhus.

Fanger, P.O., Thermal comfort, Danish Technical Press, Copenhagen

Hunt, C.M., Air infiltration measurements in a four-bedroom town house using sulfur hexafluoride as a tracer gas. ASHRAE Trans No 2338

Lindgren, T., Funktionsprovning av luftbehandlingsanläggningar.

Naumburg, C., Kan vi enas om hur vi skall mäta

Standards of NAAMM (USA): Metal curtain wall, window, store front and Entrance Guide Specifications. Manual.

Svensson, A., Metoder för luftflödesmätning.

Wancke, F., Luftflödesmätning.

"PRECISIONSBAROMETER" - BESKRIVNINGEnergiförluster av ventilation/luftläckning

En väsentlig andel av de totala energiförlusterna från en byggnad utgörs av ventilationsförluster. Dessa består av sammanlagda förluster på grund av önskad och önskad ventilation, där den önskade ventilationen grovt kan definieras som de luftflöden som passerar genom ventilationskanaler och den oönskade ventilationen kan beskrivas som de läckage som sker in genom vissa delar av ytterhöljet och ut genom andra. Storleken av de oönskade ventilationsförlusterna - läckaget beror direkt på tätheten hos byggnadens ytterhölje, dvs ytterväggar, tak, golvbjälklag.

Byggnormens energisupplement anger vissa värden för högsta tillåtna läckage för hela byggnader och för delar. Kraven för täthet vid provning av hela byggnader relateras till den s k tryckprovningensmetoden.

Tryckprovning av småhus

Tryck- respektive undertrycksprovning av småhus är en enkel procedur. Övertrycksprovning sker på så sätt att man med hjälp av en separat provningsfläkt blåser in luft i byggnaden. Detta sker genom att man ersätter ett dörrblad eller ett fönster med en skiva försedd med en öppning som är direkt ansluten till provningsfläkten. I kanalen mellan skivans öppning och fläkten finns en flödesmätare. Man registrerar flödet vid ett antal nivåer på tryckskillnaden ute/inne och får på så sätt ett samband mellan luftflöde och tryckskillnad.

Tryckmätningen sker med någon form av manometer. I enklaste formen en lutande - för att förbättra avläsningsnoggrannheten - U-rörsmanometer, som om den är placerad inomhus vid provningen har den ena skänkeln öppen och den andra med en slang förbunden med utsidan. Slangen passerar då ett hål i samma skiva genom vilken fläkten är inkopplad. Man får, i varje fall om det inte blåser mycket, en enkel registrering av tryckskillnaden.

Problemet vid tryckprovning när det blåser består i att vinden, i synnerhet inte i byggnadens omedelbara omgivning är stationär. Man får pulserande tryck och det är svårt att hitta ett stabilt referenstryck. Det stabilaste trycket som kan tjäna som referenstryck är då det inre trycket vid provningstillfället, eftersom fluktuationer hos det yttre lufttrycket dämpas avsevärt av höljet. Det inre jämviktstrycket är sålunda relativt stabilt. Den anordning som skall beskrivas litet senare gör att det blir möjligt att utnyttja detta inre jämviktstryck som referenstryck.

### Tryckprovning av stora byggnader

Tryckprovning av stora byggnader är betydligt mer komplicerad, även om principen är densamma som vid småbyggnader. I stället för att använda sig av en separat provningsfläkt, som skulle ställa alltför stora krav på fläktkapacitet, använder man sig av befintligt fläkteri. Detta medför komplikationer i och för sig som inte närmare berörs här eftersom det i detta sammanhang är tryckregistreringen som är den väsentliga.

I småhuset kunde man använda sig av en enda manometer och - genom att dörrar vid provningstillfället ställs öppna - vara säker på att tryckskillnaden över samtliga husets ytterväggar, tak och golvbjälklag är densamma. I det höga huset är förhållandena annorlunda. Om temperaturen inte - händelsevis - är densamma ute som inne får man på grund av termik en i höjddled varierande tryckskillnad över t ex ytterväggar.

Om man analogt med tryckprovningen av det lilla huset skulle registrera tryckbilden med hjälp av manometrar, skulle detta innebära att man i ett stort antal punkter på ytterväggar skulle behöva borra sig igenom t ex fönsterkarm eller fönsterbåge och föra ut slangar för att registrera yttre tryck i relation till inre jämviktstryck på olika nivåer. Att registrera tryckskillnaden med manometer genom att öppna fönstret på glänt och föra ut en slang går inte, eftersom det inre trycket förändras genom att fönstret öppnas. Den anordning som strax skall beskrivas gör det möjligt att kringgå även detta problem.

I stället för att använda sig av en differentialtrycksmanometer används en precisionsbarometer.

### Anordningen och mätmetodiken

Anordningen består av två delar; en luftbehållare och en differentialtrycksmanometer.

Luftbehållaren har två rörformade mynningar. Den ena är försedd med avstängningsventil. Den andra är med en rörledning sammankopplad med den ena skänkeln på differentialtrycksmanometern. Den andra sidan på manometern förses med en gummislang.

### Mätmetodiken

Vi tänker oss att vi befinner oss i ett småhus när det blåser eller högt upp i ett stort hus. Mätförfarandet tillgår på följande sätt:



- ⊗ Avstängningsventilen öppnas och stängs.  
Vi har i det ögonblicket i behållaren inneslutit en volym med det tryck som råder i rummet.
- ⊗ Efter detta öppnas ett fönster på glänt och den gummislang som är ansluten till manometerns ena ände läggs ut genom fönstret och får hänga ner någon meter på fasaden.
- ⊗ Vi avläser det utslag vi får på differentialtrycksmanometern.

Vad vi gör vid avläsningen är att registrera skillnaden i lufttrycket inomhus i rummet när fönstret är stängt och lufttrycket utanför fasaden - då uppmätt några sekunder senare.

#### Anordningens närmare utformning

Det första utvecklingsskedet för att realisera mätprincipen har inneburit en del problem, varav två är värda att nämnas här.

- ⊗ Efter det avstängningsventilen till behållaren stängts gäller det att trycket i behållaren skall vara stabilt under erforderligt lång tid. Det är då viktigt att temperaturen hos den inneslutna luften inte ändras. Därför har valts en stor termosflaska.
- ⊗ Som differentialtrycksmanometer har hittills använts ett stort U-rör, dvs den enklaste formen. Det går då inte att använda sig av etylalkohol eller vatten, eftersom dessa har höga partialtryck, bombarderar luftförbindelsen och luften i luftbehållaren med molekyler och resulterar i att vätskepelaren "vandrar" i riktning från luftbehållaren. Detta problem har lösts genom att använda en silikonolja med lågt partialtryck. Oljan består av en blandning av Dow Corning 200 med viskositet 20 CS och Dow Corning 200 100 CS.

#### Erfarenheter hittills

Anordningen har använts och befunnits fungera mycket bra. Det är alltså frågan om en anordning som tillfört oss möjligheter att registrera tryckskillnader över ytterväggar i stora hus, som vi tidigare inte haft möjlighet att klara.

#### Fortsatta utvecklingsmöjligheter

Det finns säkert möjligheter att ytterligare förenkla anordningen och reducera dess format.

- Som nämnts utgörs behållaren av en stor termos. Stor därför att trycket hos luften i behållaren och i rörledningen mellan behållare och den ena menisken i U-rörsmanometern påverkas, i inte oväsentlig grad, av meniskens rörelse i det andra tryckregistreringstillfället. Det står tämligen klart att det är möjligt att minska storleken hos behållaren om den kopplas till en differentialtrycksmanometer, som fungerar med ett rörligt membran, vars förskjutning inte ger så stor relativ volymförändring - och därmed tryckförändring hos luften i behållaren.
- Det bör heller inte vara särdeles svårt att åstadkomma en visaravläsning eller digital registrering av tryckskillnaden. Inte ens vid användande av den enkla U-rörsmanometern.

#### Sammanfattning

Anordningen är för närvarande som nämnts fullt användbar och innebär ett instrument med vars hjälp vi ganska behändigt klarlagt tryckskillnader över ytterväggar i stora hus, och utan vars hjälp det inte hade varit möjligt.

## STÖRNING AV VIND VID TÄTHETSPROVNING

## Principiell studie

Proceduren vid mätning av luftläckage vid varierande tryckskillnader sker i stort sett som följer.

Manometern justeras i horisontalled och förbinds med en gummislang med ytterluften. Därefter nollställs manometern. Alternativt kan manometern nollställas innan den slang som passerar ut genom väggen ansluts till manometern. Sedan höjs lufttrycket inomhus med ett visst önskat belopp. Oavsett hur nollinställningen gjorts utgör det tryck, som råder vid den yttre änden av den slang som går ut genom väggen, referenstryck. Samtidigt görs en registrering av luftflödet och man får alltså en bestämning av sambandet mellan tryckskillnad och luftflöde. Förfarandet upprepas vid olika tryckskillnader. De avlästa tryckskillnaderna är relevanta för läckaget så länge som det råder vindstilla. Problem uppstår emellertid när det blåser.

Åtminstone till en del kan dessa problem belysas genom att diskutera förhållandena vid stationär vind, dvs om vindriktning, vindhastighet och tryckförhållanden utmed byggnaden är konstanta. För registreringen av tryckskillnaden är det likgiltigt var på byggnadens ytteryta manometerintaget placeras, eftersom det uppmätta referenstrycket är konstant. Däremot kan det hända att storleken av referenstrycket är irrelevant, eftersom vindhastigheten inverkar i mycket hög grad på tryckförhållandena kring husets alla yttertor. När det gäller att kartlägga sambandet mellan läckage och tryckskillnad för en viss byggnadsdel eller för hela byggnaden har alltså vinden stor betydelse.

Som exempel betraktas ett tänkt småhus, för enkelhets skull med kvadratisk planform 10 x 10 m och en ytterväggshöjd av 3 m. Vidare antas att ytterväggarna innehåller 20 % fönster och dörrar och att varje byggnadsdel i höljet ytterväggar, fönster och bjälklag uppfyller de normenliga kraven. En övertrycks- eller undertrycksmätning vid vindstilla skulle då ge upphov till ungefär samma läckage genom takbjälklaget som genom var och en av de fyra ytterväggarna (ca 20 m<sup>3</sup>/h).

Antag nu att byggnaden utsätts för stationär vind från vänster, FIGUR 3:1. Vinden förorsakar tryckförhållanden utmed byggnaden, som här antas vara de formfaktorer som anges i Svensk Byggnorm för vindlast på olika byggnadsdelar. Formfaktorn för det ventilerade utrymmet mellan takbjälklag och yttertak väljs lika med 0. Luftläckningen i husets fem omslutande ytor förutsätts vara jämnt fördelad över respektive ytor. Läckningen antas vara turbulent, vilket innebär att luftflödena är direkt proportio-

nella mot kvadratrotten ur respektive tryckskillnad.

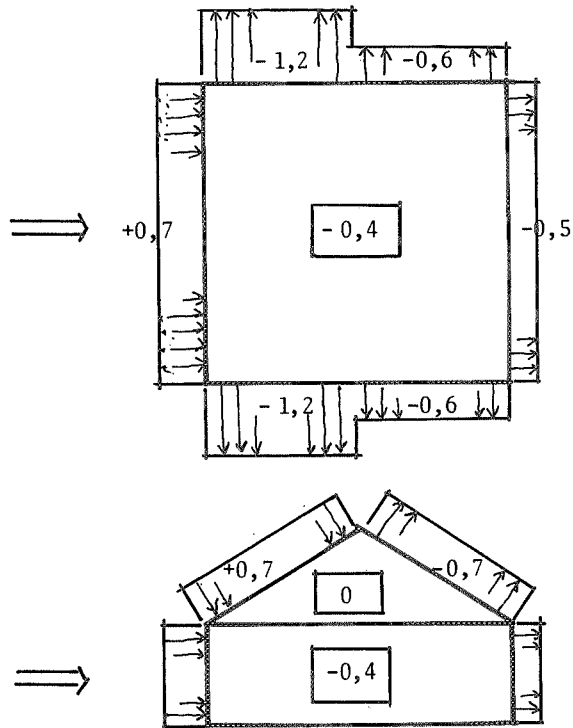
Vid ett jämviktstillstånd, dvs innan vi påverkar det inre trycket med ett över- eller undertryck för en mätning, gäller att luftflödet är lika med flödet ut. Man kan då enkelt beräkna en ekvivalent inre formfaktor, som i exemplet blir lika med -0,4. Tryckskillnaderna över de olika ytorna blir proportionella mot skillnaderna mellan formfaktorer på ömse sidor om byggnadsdelarna. Proportionalitetskonstanten x) är  $= 0,6 \times v^2$ , där v är vindhastigheten i m/s.

Vid en tänkt övertrycksmätning pressas luft genom en öppning någonstans i en yttervägg till varierande övertryck i byggnaden. Även dessa trycknivåer kan uttryckas med en proportionalitetskonstant, h, som multiplicerad med  $0,6 \times v^2$  anger övertryckets storlek. Man kan då beräkna läckaget vid vind som en funktion av "formfaktorn" h. Detta sker genom att man multiplicerar de resulterande formfaktorer som anges i FIGUR 3:2 med  $0,6 \times v^2$ . Genom att dividera läckflödet vid blåst med flödet vid vindstilla erhålls ett uttryck på noggrannheten hos övertrycksmätningen vid olika vindhastigheter. Kurvskaran till höger i FIGUR 3:3 illustrerar förhållandena vid de olika vindhastigheterna 2 - 12 m/s. Kurvorna till vänster i figuren anger motsvarande förhållande vid undertrycksmätning. Av kurvskaran för övertrycksmätning framgår t ex att man vid 8 m/s och mätning vid 40 Pa får ett fel av ca 10 %. Figuren visar också att undertrycksmätning ger något mindre fel vid samma vindstyrka och tryckdifferens för mätning.

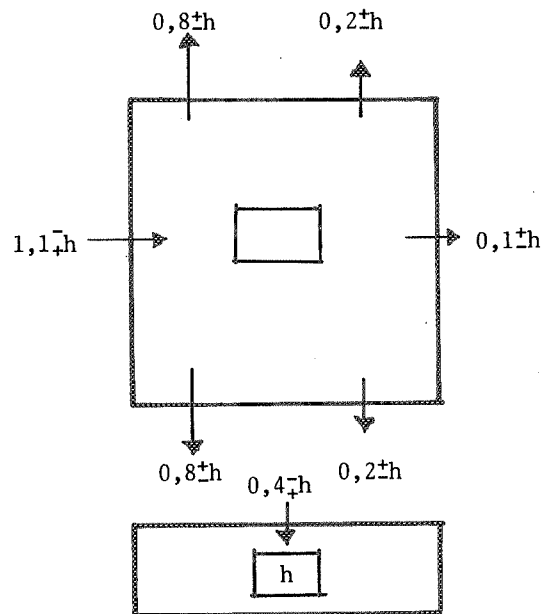
Vid beräkning av funktionerna som visas i FIGUR 3:3 förutsättes strömningen vara turbulent. Detta ger större avvikelser mellan uppmätt och verkligt läckage vid blåst än om strömningen antagits vara laminär. Exemplet och figuren är i första hand avsedda att illustrera de principiella svårigheterna att registrera relevanta samband mellan läckage och tryckskillnad vid blåst. Detta gäller alltså redan vid stationära tryckförhållanden - dvs idealiserade förhållanden som knappast motsvarar det allmänna fallet.

I det allmänna fallet instationära förhållanden kompliceras förhållandet betydligt. Det är då inte längre likgiltigt var på byggnadens ytteryta man placerar manometerintaget för referenstrycket.

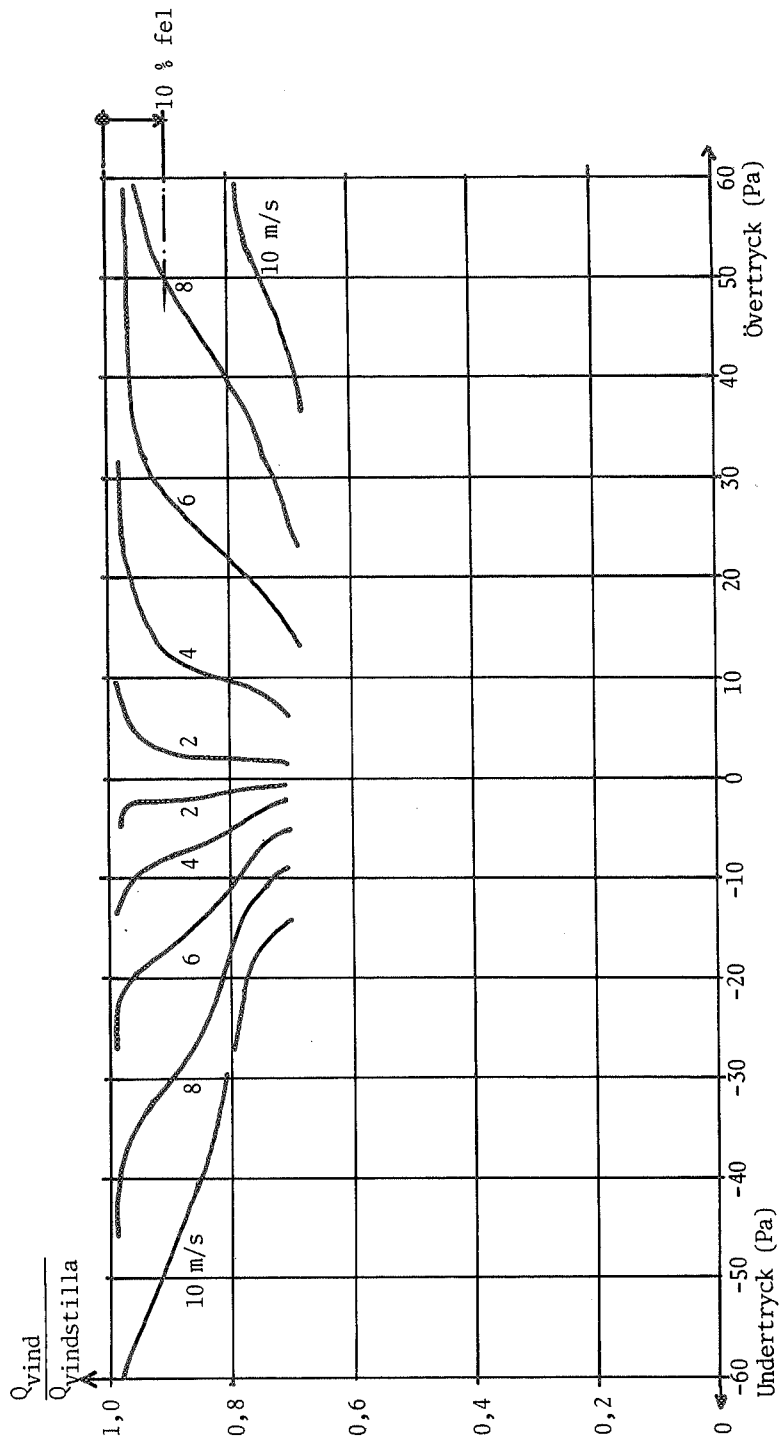
$$x) q = \frac{m \cdot v^2}{2} \approx \frac{1,2 \cdot v^2}{2} = 0,6 v^2$$



FIGUR 3:1 FORMFAKTORER



FIGUR 3:2 RESULTERANDE FORMFAKTORER VID ÖVER- RESP UNDERTRYCKSMÄTNING



FIGUR 3:3 PRINCIPIELL ILLUSTRATION AV HUR FELET VID TÄTHETSMÄTNINGAR BEROR AV VINDHASTIGHET OCH STORLEKEN AV ÖVERTRYCK RESPEKTIVE UNDERTRYCK VID MÄTNING.

MÄTNINGAR I PROVHUS

DEFINITIONER - BETECKNINGAR

TOT·Y = Total omslutande yta, dvs summan av bjälklag, tak, väggar och fönster

SV·Y = "Svart yta" = Summan av bjälklag, tak och väggar utom fönster.

ELD = Eldosor

Q = Läckage, m<sup>3</sup>/h

q = Läckage, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>,h

HUSET 1 1/2-plans villa

Volym = 386 m<sup>3</sup>

Omslutningsyta:

Väggar exkl fönster	127,6 m <sup>2</sup>
Fönster	20,2 "
Bjälklag/tak	102,0 "
	<hr/>
TOT·Y =	249,6 m <sup>2</sup>
SV·Y =	229,6 m <sup>2</sup>

BOTTENVÅNINGEN

Volym = 246 m<sup>3</sup>

Omslutningsyta:

Väggar exkl fönster	94,5 m <sup>2</sup>
Fönster	13,5 "
Bjälklag	27,8 "
	<hr/>
TOT·Y =	135,8 m <sup>2</sup>
SV·Y =	122,3 m <sup>2</sup>

FÖNSTER I BOTTENVÅN

Utåtgående, KYM 0,95 · 1,20      A =    1,14 m<sup>2</sup>

FÖNSTER I VÅN 1 TR

Inåtgående, KYM 1,0 · 1,20      A =    1,2 m<sup>2</sup>



TILLÅTNA LÄCKAGE ENLIGT SVENSK BYGGNORM,  
KRAV PÅ BYGGNADSDELAR

HUSET

Läckage genom väggar	127,6 x 0,4 =	51	m <sup>3</sup> /h 50 Pa
"	" bjälklag 102,0 x 0,2 =	20,4	"-
		<hr/>	71,4 m <sup>3</sup> /h 50 Pa
Läckage genom fönster	20,2 x 1,7 =	34,3	"-
		<hr/>	105,7 m <sup>3</sup> /h 50 Pa

BOTTENVÄNING

Läckage genom väggar	94,5 x 0,4 =	37,8	m <sup>3</sup> /h 50 Pa
"	" bjälklag 27,8 x 0,2 =	5,6	"-
		<hr/>	43,4 m <sup>3</sup> /h 50 Pa
Läckage genom fönster	13,5 x 1,7 =	23,0	"-
		<hr/>	66,4 m <sup>3</sup> /h 50 Pa

MÄTNINGARRESULTAT  
FIGURHELA HUSET

Väggar, bjälklag/tak, exkl fönster (SV·Y)	III.1
Väggar, bjälklag/tak och fönster	III.2
Väggar, bjälklag/tak, fönster och eldosor	III.3

BOTTENVÄNING

Väggar utom fönster, bjälklag/tak och eldosor	III.4
---	-------

FÖNSTER I BOTTENVÄNING

III.5

FÖNSTER I VÄN 1 TR

III.6

FRÅGOR OCH SVARA. HELA HUSET

1. Hur mycket minskade läckaget vid takfönstersmygar då tätningen kompletterades?

Underlag för jämförelse

Figur 2. Övertrycksmätningar 1A1a och 1A1b

1A1a	$Q_{otäta\ smygar}$	= 405	m <sup>3</sup> /h 50 Pa
1A1b	$Q_{tätade\ smygar}$	= 343	"-"
Skillnaden $Q_{tätning}$		= 62	m <sup>3</sup> /h 50 Pa

2. Hur stort är specifika läckaget genom "svarta ytan"?

Underlag

Figur 1.

Övertrycksmätning 1B1 och SV·Y = 229,6

$$Q_{\ddot{o},50} = 304 \quad q_{\ddot{o},50} = 1,32 \text{ m}^3/\text{m}^2, \text{h } 50 \text{ Pa}$$

Undertrycksmätning 1B2b ger

$$Q^u,50 = 275 \quad q^u,50 = 1,20 \text{ m}^3/\text{m}^2, \text{h } 50 \text{ Pa}$$

- 3a. Hur stort är läckaget genom fönster och dörrar?

Underlag

Figur 2 och 1.

$$\text{Övertrycksmätning 1A1b } Q_{TOT,Y}^{\ddot{o},50} = 343 \text{ m}^3/\text{h } 50 \text{ Pa}$$

$$\text{"-" 1B1 } Q_{SV,Y}^{\ddot{o},50} = 304 \text{ "-"}$$

$$\text{Skillnaden } Q_{FÖNST}^{\ddot{o},50} = 39 \text{ m}^3/\text{h } 50 \text{ Pa}$$

Med fönsteryta 20,2 m<sup>2</sup> får "specifikt läckage"

$$q_{FÖNST}^{\ddot{o},50} = \frac{39}{20,2} = 1,93 \text{ m}^3/\text{m}^2, \text{h } 50 \text{ Pa},$$

vilket överstiger det tillåtna med omkring 13 %.

- 3b. Hur överensstämmer detta resultat med resultaten av stickprovsmätningar på enskilda fönster.

Underlag

Figurer 5 och 6.

$$\text{Flg5 } q_{BV}^{\ddot{o},50} = 1,2 \text{ m}^3/\text{m}^2, \text{h } 50 \text{ Pa,}$$

vilket med fönsteryta 13,5 m<sup>2</sup> ger

$$Q_{BV}^{\ddot{o},50} = 1,2 \times 13,5 = 16,2 \text{ m}^3/\text{h}, 50 \text{ Pa}$$

$$\text{Figur 6 } q_{1TR}^{\ddot{o},50} = 0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2, \text{h } 50 \text{ Pa,}$$

vilket med fönsteryta = 6,7 m<sup>2</sup> ger

$$Q_{1TR}^{\ddot{o},50} = 0,3 \times 6,7 = 2,0 \text{ m}^3/\text{h}, 50 \text{ Pa.}$$

Sammanlagt blir detta

$$Q_{FÖNST}^{\ddot{o},50} = 18,2 \text{ m}^3/\text{h } 50 \text{ Pa.}$$

Värdet är endast omkring hälften så stort som det enligt 3a beräknade.

4. Hur otäta är eldosorna?

Underlag

Figur 2 och 3. Övertr.mätn 1A1b och IIB1.

$$\text{IIB1 } Q_{\text{TÖT}\cdot\text{Y}+\text{ELD}}^{\ddot{o},50} = 374$$

$$\text{1A1b } Q_{\text{ELD}}^{\ddot{o},50} = \underline{\underline{343}}$$

$$\text{Skillnaden } Q_{\text{ELD}}^{\ddot{o},50} = 31 \text{ m}^3/\text{h } 50 \text{ Pa}$$

Eldosornas andel i specifikt läckage blir med SV.Y = 229,6

$$q_{\text{ELD}}^{\ddot{o},50} = \frac{31}{229,6} = 0,14 \text{ m}^3/\text{m}^2, \text{h}, 50 \text{ Pa.}$$

5. Hur stort är "specifika läckaget" i bottenvåningen?

Underlag

Figur 4 och tidigare framräknade värden.

$$\text{Figur 4 } Q_{BV,SV \cdot Y+ELD}^{\ddot{o},50} = 137 \text{ m}^3/\text{h}, 50 \text{ Pa.}$$

Detta ger specifikt läckage  $SV \cdot Y = 122,3$

$$q_{BV,SV \cdot Y,ELD}^{\ddot{o},50} = \frac{137}{122,3} = 1,12 \text{ m}^3/\text{m}^2, \text{h}, 50 \text{ Pa.}$$

Om inte "eldosorna hade punkterats" hade detta sjunkit med ca

$$3/4 \times q_{ELD}^{\ddot{o},50} = 3/4 \times 0,14 = 0,10 \text{ m}^3/\text{m}^2, \text{h}, 50 \text{ Pa,}$$

dvs till

$$q_{BV,SV \cdot Y}^{\ddot{o},50} = 1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2, \text{h}, 50 \text{ Pa}$$

Detta värde skall jämföras med tillåtet genomsnittsvärde som för bottenvåningen är

$$q_{BV,SV \cdot Y}^{\ddot{o},50 \text{ TILL}} = \frac{43,4}{122,3} = 0,35 \text{ m}^3/\text{m}^2, \text{h}, 50 \text{ Pa.}$$

JÄMFÖRELSE UPPMÄTTA LÄCKAGE / TILLÄTNA LÄCKAGE  
ENLIGT KRAV FÖR BYGGNADSDELAR

<u>UPPMÄTTA</u>	<u>TILLÄTNA</u>	<u>KVOT K</u>
<u>HELA HUSET</u>		
$Q_{SV \cdot Y}^{50} = \begin{matrix} Q^{\ddot{o}} = 304 \\ Q^u = 275 \end{matrix}$	$Q_{SV \cdot Y}^{TILL} = 71,4$	$\frac{Q^{MÄTT}}{Q_{TILL}} \begin{matrix} k^{\ddot{o}} = 4,3 \\ k^u = 3,9 \end{matrix}$
$Q_{TOT \cdot Y}^{50} = Q^{\ddot{o}} = 343$	$Q_{TOT}^{TILL} = 105,7$	$\frac{Q^{MÄTT}}{Q_{TILL}} = 3,3$
<u>HELA HUSET MED PUNKTERADE ELDOSOR</u>		
$Q_{TOT \cdot Y + ELD} = 374$	$Q_{TOT}^{TILL} = 105,7$	$\frac{Q^{MÄTT}}{Q_{TILL}} = 3,5$
<u>BOTTENVÄNING</u>		
$Q_{SV \cdot Y + ELD}^{50} = \begin{matrix} Q^{\ddot{o}} = 137 \\ Q^u = 127 \end{matrix}$	$Q_{TILL} = 43,4$	$\frac{Q^{MÄTT}}{Q_{TILL}} = \begin{matrix} 3,2 \\ 2,9 \end{matrix}$

Q<sub>SV.Y</sub>

ÄLVBODA, HECLA HUSET

FIGUR 4.1

LÄCKAGE GENOM: VÄGGAR OCH BJÄLKLÄG/  
TAK UTOM GENOM FÖNSTER

Övertrycksmätning (· ———)

Undertrycksmätning (+ - - - -)

1.B.1 Tätade smygar

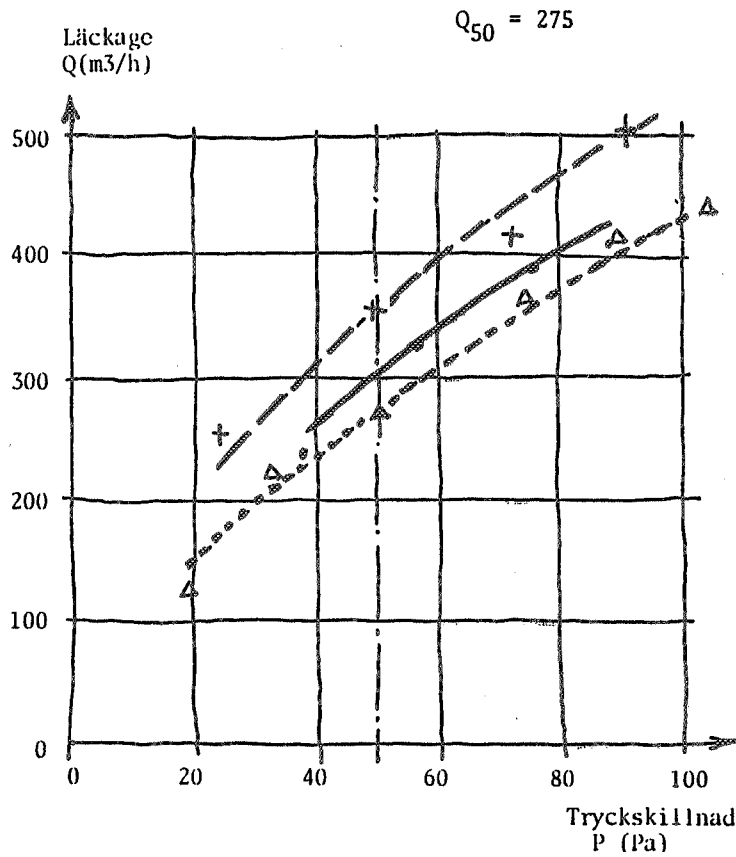
1.B.2a Otäta smygar

$\Delta P, Pa$	Q m <sup>3</sup> /h	$\Delta P$	Q
38	240	24	225
56	325	50	355
75	390	72	415
88	410	91	500

Q<sub>50</sub> = 304Q<sub>50</sub> = 355

1.B.2b Tätade smygar (Δ ····)

19	129
32	225
50	275
74	365
88	410
104	440



$Q_{TOT \cdot Y}$

ÄLVBODA, HELA Huset

FIGUR 4.2

LÄCKAGE GENOM: VÄGGAR, BJÄLKLÄG/TAK  
OCH FÖNSTER (TOT·Y)

Övertrycksmätning

Undertrycksmätning

1.A.1a Otäta taksmugar (—)

1.A.2 Otäta taksmugar (+ ----)

24	255	8	130
51	410	19	275
82	535	40	425
		64	550

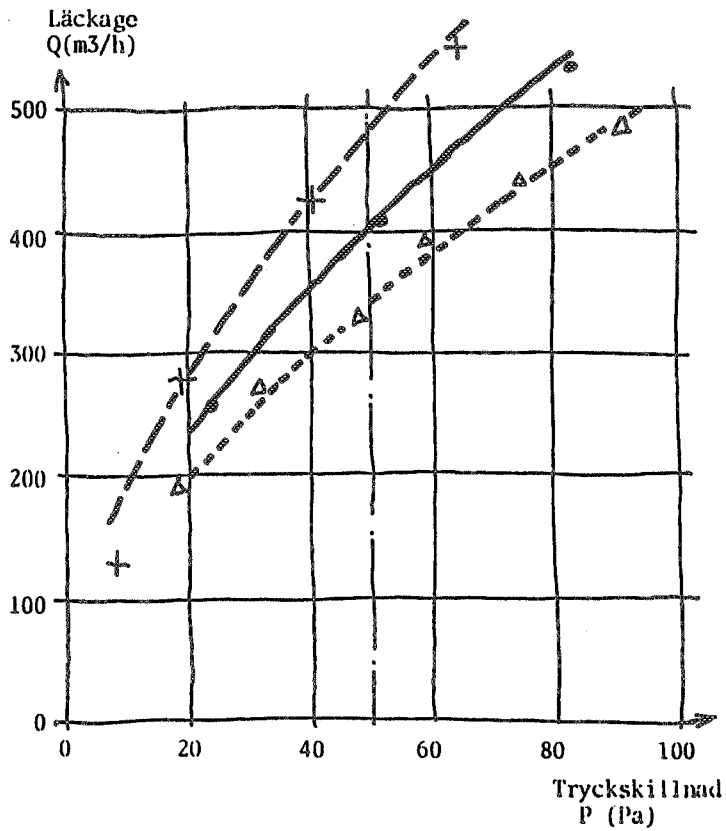
$Q_{50} = 405$

$Q_{50} = 486$

1.a.1b Tätade taksmugar ( $\Delta$ .....)

18	190
31	265
48	335
59	395
74	440
91	490

$Q_{50} = 343$





$Q_{TOT.Y+ELD}$  ÄLVBODA, HELA HUSET  
 LÄCKAGE: VÄGGAR, BJÄLKLÄG/TAK,  
 FÖNSTER OCH ELDOSOR

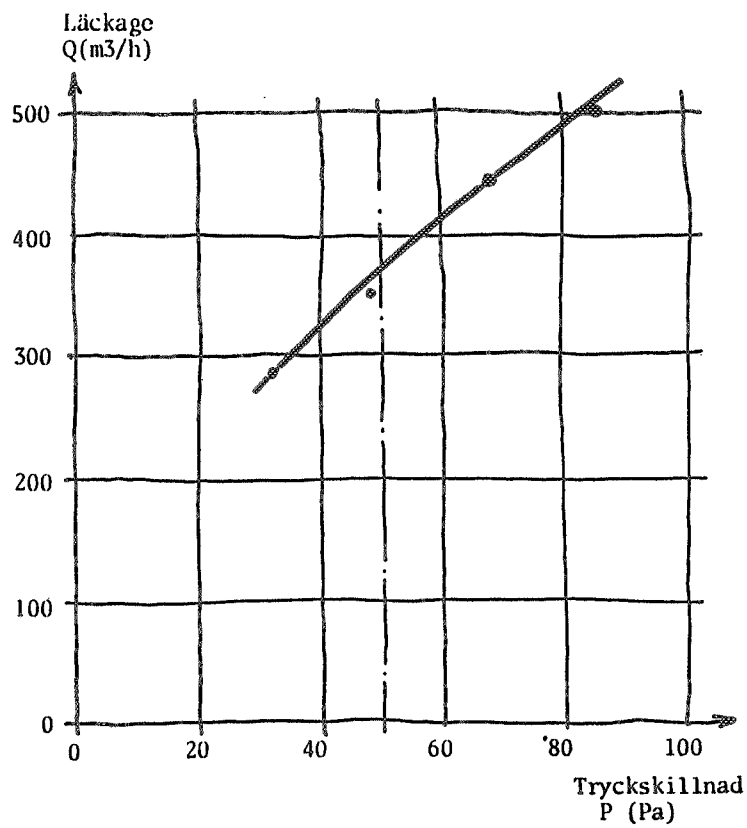
FIGUR 4.3

Övertrycksmätning (· —)

II.B.1 Tätade smygar

P	Q
32	285
48	375
67	445
85	500

$Q_{50} = 374$



Q<sub>SV-Y+ELD</sub>

ÄLVBODA, BOITENVÄNING

FIGUR 4.4

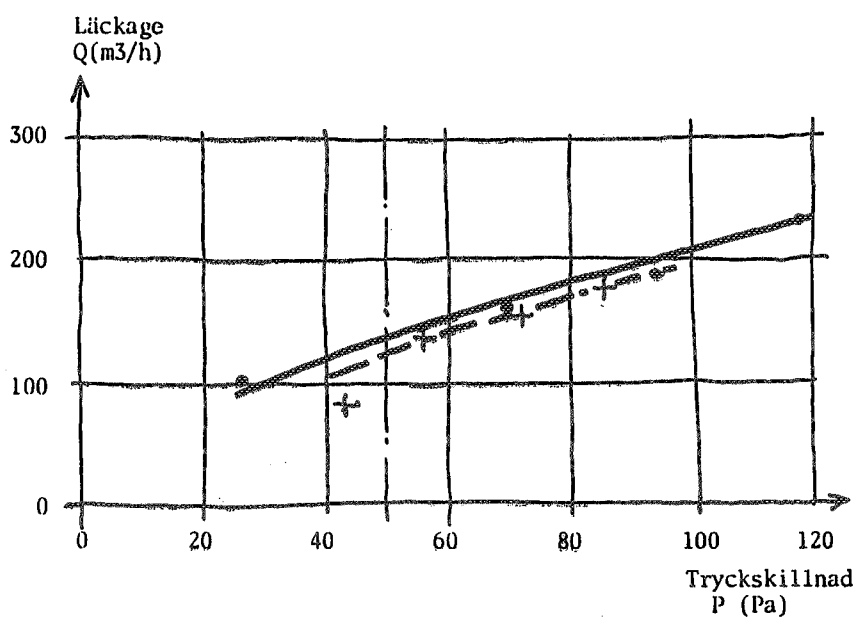
LÄCKAGE: VÄGG MED OTÄTA ELDOSOR  
UTOM GENOM FÖNSTER

Övertrycksmätning (· ———)      Undertrycksmätning (+ -----)

P	Q	P	Q
26	100	43	80
69	160	56	135
94	190	72	155
117	235	85	180

Q<sub>50</sub> = 137

Q<sub>50</sub> = 127



FÖNSTER

ÄLVBODA

FIGUR 4.5

FÖNSTER I BOTTENVÄNING  
YTA: 1,2 m<sup>2</sup>, UTÅTGÄENDE

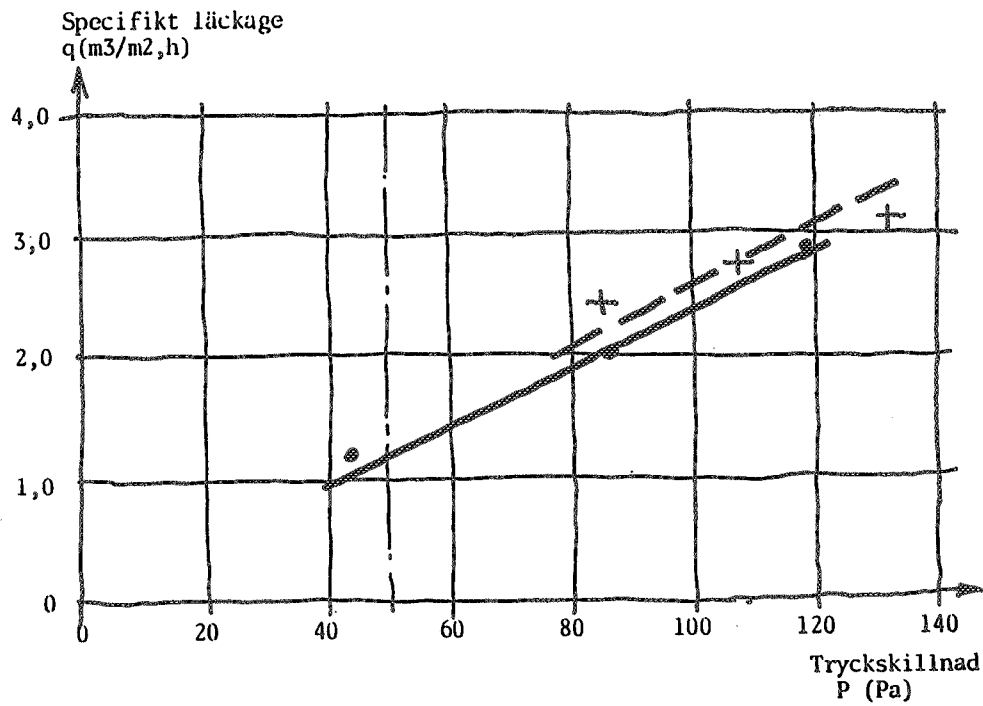
Övertrycksmätning ( · ——— )			Undertrycksmätning (+ - - - - ) (Svåkroppsmätare)		
P	Q	Q/A	P	Q	Q/A
31	1,1	1,0	86	2,7	2,4
43	1,4	1,2	106	3,2	2,8
86	2,3	2,9	132	3,5	3,1
118	3,3	2,9			

$$q_{50} = Q/A_{50} = 1,18 \text{ m}^3/\text{m}^2, \text{h}$$

$$q_{50} = Q/A_{50} = 1,26 \text{ m}^3/\text{m}^2, \text{h}$$

Koeff best med minsta kv. metod

$$K = \frac{31 \cdot 1,0 + 42 \cdot 1,2 + \dots + 118 \cdot 2,9}{31^2 + 43^2 + 118^2}$$



Q FÖNSTER

ÄLVBODA

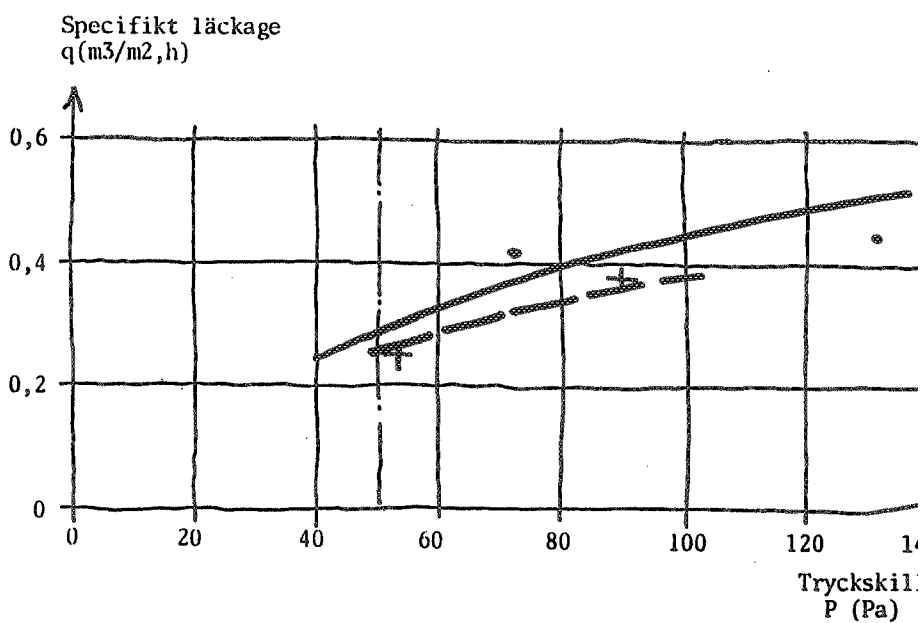
FIGUR 4.6

FÖNSTER I VÄN 1 TR  
YTA: 1,2 m<sup>2</sup>, INÅTGAENDE

Övertrycksmätning (· ———)			Undertrycksmätning (+ ----)		
P	Q	Q/A	P	Q	Q/A
72	0,47	0,41	53	0,28	0,25
131	0,51	0,45	90	0,45	0,39

$$q_{50} = Q/A_{50} = 0,29 \text{ m}^3/\text{m}^2, \text{h}$$

$$q_{50} = Q/A_{50} = 0,26 \text{ m}^3/\text{m}^2, \text{h}$$



UTREDNING BETRÄFFANDE POLISHUS I NORRKÖPING

En redovisning av ytterväggarnas status när det gäller täthetsegenskaper och av de byggnadstekniska förutsättningarna samt möjligheterna att utföra energibesparande åtgärder i byggnaden.

Underlaget för bedömningen har omfattat besiktningar och samtal med tjänstemän från den lokala förvaltningen i Norrköping, provningar, teoretiska undersökningar och genomgång av konstruktionsritningar.

## ALLMÄN BESKRIVNING AV BYGGNADEN

Byggnaden eller byggnadskomplexet består av en centralt belägen högdal med ovan källarbjälklaget nio kontorsvåningar och en övre våning för fläkt- och hissmaskinerier. Omkring denna högdal grupperar sig en lågdal bestående av tre byggnadskroppar. Höjden över källarbjälklaget barierar mellan en och två våningar för dessa huskroppar. De står sinsemellan i förbindelse med varandra och med högdalen genom kommunikationskorridorer och ventilationsdragningar. Den principiella utformningen av byggnadskomplexet illustreras i FIGUR 5.1. Figuren anger även ungefärlig planyta, byggnadsvolym, väggyta och fönsterprocent för högdal respektive lågdal.

Ytterväggarnas utförande varierar något. I högdalen består de av sandwichelement av betong monterade till bärande pelare av stål placerade som pilastrar på fasaden.

Ventilationssystemet är ett från- och tilluftsystem (FT-system) och fläktmaskineriet är beläget i översta våningen i högdalen. Lufttillförseln sker med uppvärmd luft under fönstren och frånluften leds via utsugningsventiler i "bakkant" av rummen till ventilationsdragningar i korridortak.

Till den allmänna bilden av byggnadernas utformning hör att det i högdalen finns ett vertikalt öppet schakt kring trapphuset. Schaktet sträcker sig från entréplanet ända upp till översta kontorsvåningen.

## SPECIELLA FÖRHÅLLANDEN OCH IAKTTAGELSER

FIGUR 5.2 visar ett horisontalsnitt av utförande vid fasadpelare. Fasadpelaren och väggens fasader är alltså vända uppåt i figuren. Vid insidan av väggen bakom pelaren finns ett täckelement av betong, som överbryggar avståndet mellan de inre fasadskivorna hos sandwichelementen. I utrymmet mellan värmeisolering bakom stålpelare och täckelement finns ett vertikalt schakt. I detta går vertikala varmvattenstammar - fram- och återledning - som försörjer inblåsningssdonen för friskluft med värme. Horisontella förgreningar

dras in genom ett hål i täckelementet och fördelas på insidan av väggen i sidled ut till friskluftsdo-  
nen. Där de vertikala schakten passerar bjälklagen  
finns ursparingar i dessa av storleken 50 x 10 cm.  
Dessa hål är igenstoppade med mineralull. Sammanlagt  
finns för varje våningsplan 16 sådana ursparingar,  
vilket innebär en sammanlagd yta av omkring 0,8 m<sup>2</sup>.  
De innebär således att över- och underliggande vå-  
ningar står i hög grad av förbindelse med varandra.  
BILD 5.1 är tagen vid en sådan genomföring.

Ett annat förhållande som har betydelse i sammanhang-  
et är att rummen på varje våningsplan i sidled har  
god luftförbindelse med varandra. De rumsskiljande  
lätta väggarna är relativt otäta, mycket beroende på  
att det finns en genomgående horisontell dragning av  
svagströmsledningar, som passerar från det ena rum-  
met till det andra. Varje sådan genomföring genom  
rumsskiljande väggar har en kanalarea av omkring  
2 dm<sup>2</sup>.

Ovan nämnda förhållanden anger att byggnaden såväl  
i sidled som i höjded är relativt öppen.

Vid besiktning den 10 mars 1977 fanns två rum på 5:e  
kontorsvåningen i högdelen lediga för inspektion.  
Fönsterbänkar och smyglister mellan fönsterkarmar  
och angränsande betongelement revs ner. Genom enkla  
känslöprover och okulärbesiktning stod det klart att  
fogarna runt fönsterkarmarna är otäta. Detta gäller  
speciellt fogen under karmunderstycket. Den drevning  
av skumplast som fanns var bitvis bristfällig och  
kraftigt svårtad, vilket tyder på genomblåsning.  
Att det drog kunde man för övrigt lätt konstatera  
med känslan.

I låghusdelen konstaterades i ett slumpvis utvalt  
rum att luft drog ut både genom utblåsningsventil i  
bakkant av rummet men också genom den för inblåsning  
av friskluft avsedda ventilen. Friskluftsventilerna  
i lågdelen är placerade i tak.

I entréplanet och särskilt omkring det vertikala  
trappschaktet har man besvär av låg temperatur och  
drag. Glasväggen mot gård vid västra fasaden och  
otätheter vid glasörrar bidrar till detta.

#### PROVNINGAR OCH PROVNINGSRISULTAT

I samband med vår första besiktning av byggnaden den  
10.3 1977 gjordes en kartläggning av tryckskillnader  
över ytterväggar i det centrala höga schaktet vid  
trapphuset. Den yttre lufttemperaturen var vid till-  
fället +5°C. Vinden var denna dag svag och växlande  
och bedömdes vid mätningen vara västlig. Med en pre-  
cisionsbarometer bestämdes skillnaden i lufttryck  
mellan luften i schaktet och luften utanför ytter-  
vägg mot väster respektive yttervägg mot öster.

Tryckskillnaderna bestämdes för den övre delen av schaktet, dvs på 9:e våningen respektive i den undre delen av schaktet på första våningen. Resultaten anges i FIGUR 5.3. I den övre delen av schaktet var tryckskillnaderna mellan uteluft och luft i schaktet 0, såväl vid västfasad som ostfasad. I schaktets nedre del uppmättes ett yttre övertryck av 53 Pa vid västfasaden och 16 Pa vid ostfasaden. Mätvärdena anges av de kraftigt markerade punkterna i figur 5.3.

Hur tryckbilden ser ut mellan den undre och övre nivån är inte känt. I stort sett bör den vara linjär, jfr de streckade linjerna som sammanbinder mätvärdena vid vardera fasaden.

#### Kommentarer

De uppmätta tryckskillnaderna enligt figur 5.3 och den tidigare redovisade iakttagelsen från lågdelen, att det blåste ut genom både insugnings- och utsugningsventil, pekar på att från-tillluftsystemet är i väsentlig obalans.

#### Provning av ytterväggens lufttätethet

Den 21 och 22 mars 1977 gjordes mätningar av tätheten hos ytterväggar i tidigare nämnda lediga rum på 5:e våningsplanet.

Mätning av tätheten hos en yttervägg tillgår normalt på så sätt att man sätter ett helt rum under över- eller undertryck, registrerar tryckets storlek i förhållande till ytterluften och det luftflöde som krävs för att hålla trycket. Kravet för att sådan mätning skall kunna göras i ett enda rum är att omslutande väggar bortsett från ytterväggen är täta. Det visade sig inte vara möjligt att utföra tryckmätning i det aktuella fallet. De tidigare redovisade otätheterna vid ursparningar i bjälklagskant och otätheterna i sidled mellan angränsande rum var för stora. Mätningarna inriktades därför på att studera tätheten hos fönstren vars otätheter bedöms vara dominerande.

Smyglister och fönsterbänkar i samtliga fem fönster i ett av rummen avlägsnades. Genom en översiktlig läckagesökning med varmtrådsanemometer konstaterades läckagen vara ungefär lika stora vid vart och ett av fönstren. Den fortsatta läckagesökningen inriktades på att söka i detalj klarlägga var i fönstren läckagen fanns. FIGUR 5.4 redovisar samband mellan läckage och tryckskillnad över ett av fönstren. Den övre kurvan i figuren anger samband mellan läckage och tryckskillnad för fönstret i det skick det befann sig när di kom på plats. Kurvan avser läckage genom

fönster och genom omgivande fog mellan karm och angränsande ytor av lättbetong/betong hos fasadelementen. Efter denna mätning fogades mellan karm och omgivande vägg med polyuretanskum, jfr BILDER 5.2 och 5.3. En förnyad täthetsmätning efter detta resulterade i den andra kurvan uppifrån - kurva B.

Nästa steg var att undersöka storleken av läckage mellan karm och fönsterbåge, eftersom tätningslisterna befinner sig i dåligt skick. Fogen mellan karm och båge tejpades. En förnyad mätning gav som resultat kurvan C i FIGUR 5.4.

Även kittningen av glaset förefaller i behov av åtgärd. Därför tejpades även över denna fog och resultatet vid en förnyad mätning blev kurvan D i figuren.

Kvar stod nu otätheter vid beslag för espagnoletter, som tätades. Resultatet är kurvan E längst ner i figuren.

#### Kommentarer till resultatet

Om vi tar storleken av läckaget vid tryckskillnaden 50 Pa till utgångspunkt för en jämförelse kan vi konstatera följande.

Läckaget hos fönstret, som har en yta av praktiskt taget 1,0 m<sup>2</sup>, var ca 8 m<sup>3</sup>/h. Genom utfyllnad av fogen mellan karm-yttersidor och omgivande väggar reducerades läckaget till omkring 6 m<sup>3</sup>/h. Med effektiva tätningslister - reservation för att tejping kan vara tätare än en tätningslist - reducerades läckaget till omkring 4 m<sup>3</sup>/h. Med ytterligare en tunn kälfog av silikonfogmassa mellan båge och glas och med plastpluggar över beslagen för espagnoletten - det senare låter sig lätt göras - reduceras läckaget till omkring 2 m<sup>3</sup>/h.

Om dessa värden för fönsterläckage "slås ut" som jämnt fördelade per m<sup>2</sup> yttervägg fås med aktuell fönsterprocent för högdelen en multiplikationsfaktor = 0,37. (Läckagevärdet 8,0 motsvarar alltså ett jämnt fördelat läckage på väggen av  $8,0 \times 0,37 = 3,0$ .)

I samband med provningen den 21 och 22 mars 1977 konstaterades med varmtrådsanemometer och känslan att läckage förekommer även i fogar mellan fasadelementen. Detta motiverar ett tillskott till det jämnt fördelade läckaget. En rimlig ansats är att detta läckage vid en tryckskillnad av 50 Pa uppgår till 1,0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·h. Det jämnt fördelade läckaget per vägg-yta i högdelen med "obehandlade fönsterfogar" blir då  $3,0 + 1,0 = 4,0$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·h, fortfarande vid tryckskillnaden 50 Pa.



### Bedömning av storlek av totala läckage

I det närmast följande skall göras en bedömning av storleken av det totala läckaget på grund av den tryckbild som redovisas i FIGUR 5.3.

#### Höghusdelen

Genomsnittlig tryckskillnad över den västra ytterväggen är 27 Pa och över den östra ytterväggen 8 Pa. Vardera väggen har en yta av omkring 1480 m<sup>2</sup>. Om vi antar att kurvan A i FIGUR 5.4 följer en rät linje från 50 Pa ner till 0, kan vi uppskatta läckaget genom en enkel proportionering.

För långfasaderna får ett läckage av:

$$\text{Läckage från väster} = 1480 \cdot \frac{27}{50} \cdot 4 = 3200 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{" " öster} = 1480 \cdot \frac{8}{50} \cdot 4 = 950 \text{ "-}$$

$$\text{Det sammanlagda läckaget} = 4150 \text{ "-}$$

#### Lågdelen

Lågdelen har en sammanlagd fönsteryta av 500 m<sup>2</sup>, där merparten av fönstren är av samma typ som i högdelen. Om vi antar att undertrycket i lågdelen är lika stort som undertrycket längst ner i den västra ytterväggen hos högdelen, dvs 53 Pa, får vi:

$$\text{Läckage genom fönster} = 500 \cdot \frac{53}{50} \cdot 8 = 4240 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{" " ytterväggar} = 1800 \cdot \frac{53}{50} \cdot 1 = 1910 \text{ "-}$$

$$\text{Det sammanlagda läckaget} = 6150 \text{ "-}$$

När det gäller läckaget i lågdelen är det troligt att detta kan vara ännu större än det här nyss bedömda. Anledningen till detta är att iakttagelser av utblåsning genom såväl tillförsel- som evakueringsventiler tyder på ett kraftigt undertryck i låghusdelen.

Beräkningarna ovan gör emellertid inte anspråk att på något sätt vara exakta utan att endast avspegla en storleksordning hos läckaget.

Man kan då konstatera att det sammanlagda läckaget med givna och antagna förutsättningar uppgår till 10 · 300 m<sup>3</sup>/h.

### Energiförluster på grund av detta läckage

Med ett läckage = 10.000 m<sup>3</sup>/h, med värmekapacitet = 0,36 Wh/m<sup>3</sup>·C och med antal gradtimmar för ventilation = 125.000 h·C fås:

$$\begin{aligned} \text{Energiförlust på grund av läckage} &= \\ \underline{10.000 \times 0,36 \times 125.000} &= 450 \times 10^6 \text{ Wh} = 450 \text{ MWh} \end{aligned}$$

Som jämförelse kan nämnas att den totala energiförbrukningen till byggnaden under februari månad 1977 enligt uppgift uppgår till 536 Gcal, dvs 462 MWh.

Beräkningen av läckage och motsvarande energiförluster är som nyss sagts endast en överslagsberäkning avsedd att belysa storleksordningen. Man kan alltså konstatera att den årliga energiförlusten på grund av läckage är av samma storleksordning som den totala förbrukningen för februari månad. Det bör alltså vara möjligt att spara energi i detta fall.

### BYGGNADSTEKNISKA ÅTGÄRDER A PRIORI

Det har tidigare konstaterats att fönstren i husen är otäta. Oavsett energispareffekten är det motiverat med tanke på hygieniska olägenheter för personal i huset att förbättra tätning mellan karm och omgivande vägg och att byta tätningslister i fönstren. Kostnaden för dessa två åtgärder bedöms till omkring 150.000 kronor.

Ur energisparsynpunkt skulle detta innebära - jfr figur 5.4 kurva A och kurva C - en reducering av läckaget till omkring hälften, och motsvarande reducering av energiförluster på grund av läckage. Det skulle innebära en investering av 66 öre/inbesparad kWh, vilket torde vara en klart lönsam åtgärd.

För att undanröja olägenheter av drag bör även glasväggen i trapphusschakt ses över och tätas.

### BYGGNADSTEKNISKA ÅTGÄRDER SOM ÄR BEROENDE AV VENTILATIONSTEKNISKA DITO

Resonemanget i det följande illustreras av FIGUR 5.5. Överst i figuren visas med en enkel principskiss hur byggnaden med lågdel och centralt belägen högdelen fungerar i princip som en skorsten som drar till sig luft från underliggande lägre delar och upp genom högdelen.

I den undre delen av figuren redovisas tre principiellt olika och alternativa tryckbilder, som i resonemanget nedan avser höghusdelen.

## Alternativ 1

Figuren illustrerar den principiella tryckbilden med ventilationssystemet i nuvarande skick. Överst i byggnaden är tryckskillnaden liten eller noll, längre ner bildas ett successivt tilltagande inre undertryck. Luft läcker in genom ytterväggar på hela byggnadens höjd och upp genom ventilationskanalen. (De ovan nämnda byggnadstekniska - a priori - åtgärderna skulle medföra att läckaget med bibehållen tryckbild minskas till omkring hälften.) För att minska läckaget ytterligare är det högst motiverat med en balansering av från- och tilluftventilationen och med en förskjutning mot en tryckbild enligt alternativ II.

## Alternativ II

Genom en balansering av från- och tilluftsmängderna fås en tryckbild där tryckskillnaden på ungefär halva byggnadens höjd blir noll. Överst i byggnaden finns ett invändigt övertryck och längre ner i byggnaden ett undertryck. Påverkande tryckskillnader blir vid denna bild bara hälften så stora som i alternativ I. Luft strömmar vidare in genom undre halvan av byggnaden och ut genom den övre - verksam väggyta för inläckning blir också hälften så stor. Sammantaget innebär detta att läckaget i alternativ II blir av storleksordningen  $1/4$  så stort som läckaget i alternativ I. Om hänsyn tas till att en halvering också erhålls genom tätning av fönsterkarmar och insättning av nya tätningslister kan man alltså minska ventilationsförlusterna till en nivå som är omkring  $1/8$  av de nuvarande. Resonemanget gäller fortfarande högdelen. Vill man ytterligare minska läckagen så kan det ske genom inreglering av luftmängder våningsvis eller i varje fall för grupper av våningar. Tryckbilden blir då den som illustreras i alternativ III.

## Alternativ III

Resonemanget kring detta alternativ är här spekulativt eftersom vi inte haft tillgång till ventilationsritningar och inte vet om systemet tillåter våningsvis inreglering av luftmängder eller motsvarande inreglering för grupper av två à tre våningar i höjddel. Om detta är möjligt och om man vill åstadkomma en sådan balans för högdelen krävs vissa byggnadstekniska åtgärder.

För att möjliggöra skapandet av trycksprång vid bjälklag, som antyds i figuren, krävs att dessa är täta. Byggnadstekniska åtgärder som krävs för detta är

- igengjutning eller tätning av de ursparingar som finns vid bjälklagskant och som tidigare redovisats. Kostnaderna för sådana igengjutningar har

bedömts uppgå till sammanlagt 10.000 kronor. Det finns sammanlagt ca 160 sådana ursparingar i högdelen,

- dörrar och anslutningar över undertak mellan korridorer och vertikala schakt - det centrala schaktet i entrén, hisschakt - måste vara effektivt täta. Vi har för närvarande ingen klar bild av hur det förhåller sig med tätheten i dessa avseenden, eller hur mycket som behöver göras och inte heller av kostnaderna för sådana åtgärder.

När det gäller låghusdelen gäller att de byggnadstekniska åtgärderna - förutom tätningar runt fönsterkarmar och byte av tätningslister - blir just de nyss ovan nämnda. För att undvika störningar från det höga schaktet i höghusdelen måste sannolikt åtgärder sättas in för att effektivt täta kommunikationskorridorer från höghusdel till låghusdel. Liksom nyss har vi ingen klar bild av hur de byggnadsdelarna för närvarande är utförda.

#### ÖVRIGA BYGGNADSTEKNISKA ÅTGÄRDER

Om man väljer att täta runt fönsterkarmar och byta ut tätningslister är det lämpligt att samtidigt göra en kompletterande tätning mellan golv och fasad-element.

Av täthetsundersökningen framgår vidare att det kan vara värt att komplettera kittfogar mellan glas och fönsterbåge med en toppförsegling i form av kälfog med lämplig fogmassa, förslagsvis silikonmassa. Kostnaden för en sådan försegling har för samtliga fönster bedömts vara 60.000 kronor.

En åtgärd som visserligen inte medför särskilt stor förbättring av läckaget men som är så billig att den ändå borde göras är att förse ingångarna vid esplanetterna med tätande plastlock e d.

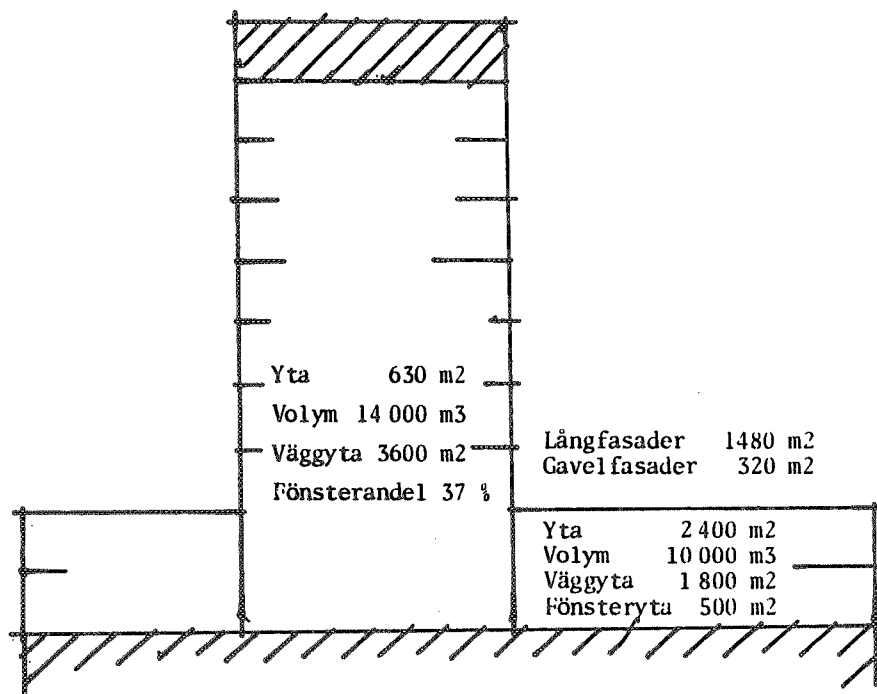
#### SAMMANFATTNING

Vi har gjort en bedömning av möjliga byggnadstekniska åtgärder i energisparande syfte och därmed nära sammanhängande åtgärder för att minska olägenheter i form av drag. Vi har också gjort en kostnadsberäkning för dessa åtgärder. (Bortsett från några punkter, där vi inte har tillräcklig detaljkännedom om förhållandena.)

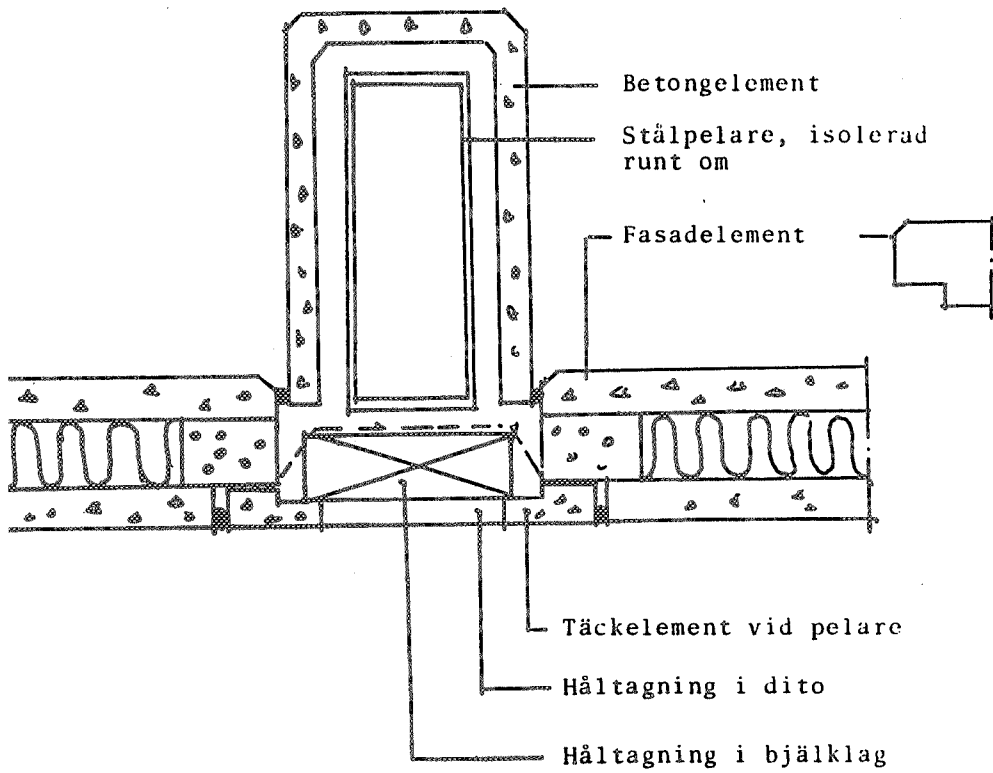
De byggnadstekniska åtgärder som under alla förhållanden bör göras är tätning runt fönsterkarmar och utbyte av tätningslister. Därefter är det knappast möjligt att rangordna övriga byggnadstekniska åtgärder, eftersom byggnadstekniska och ventilationstekniska åtgärder hänger ihop. Om t ex ventilations-

systemet relativt enkelt och till låg kostnad kan balanseras och inregleras till våningsvis balanserad från- och tilluft i högdelen, skulle nästa byggnadstekniska åtgärd i rangordningen bli att gjuta igen ursparingar i bjälklagskanten för att göra bjälklagen täta. Om å andra sidan en sådan våningsvis balansering av ventilationssystemet inte är möjlig eller skulle ställa sig mycket dyr finns det egentligen ingen anledning att gjuta igen nämnda ursparingar. I stället skulle man då koncentrera sig på att komplettera kittfogen mellan glas och båge med en toppförsegling etc.

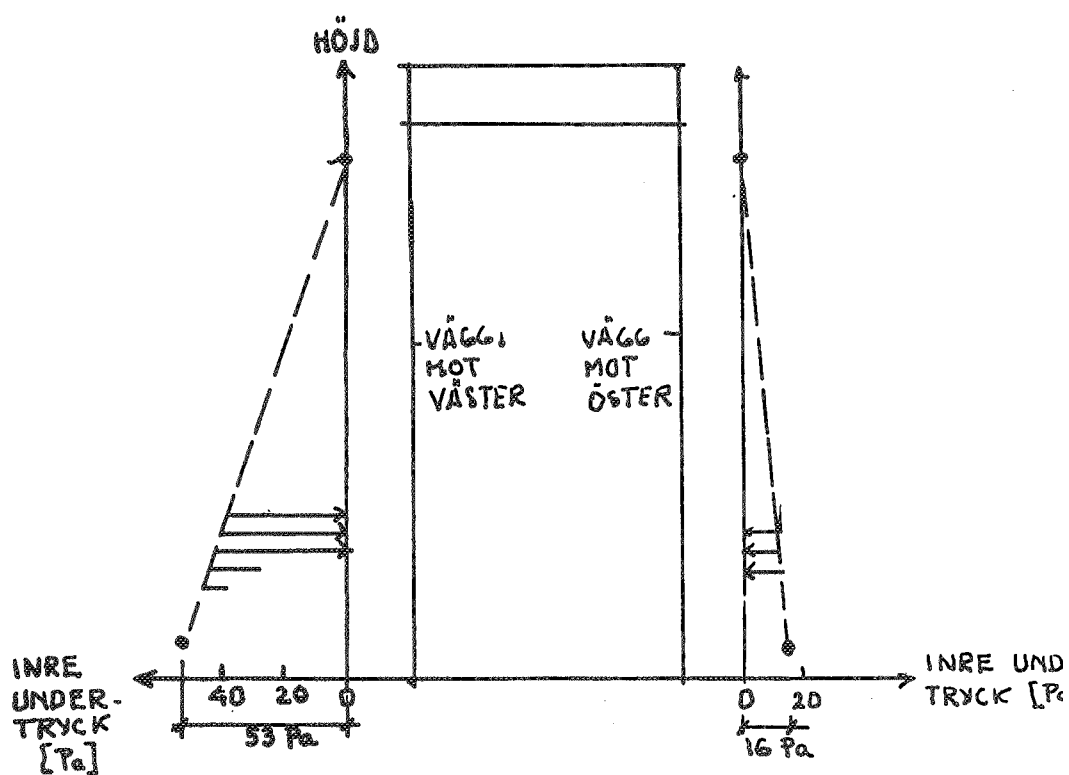
De byggnadstekniska och ventilationstekniska aspekterna måste alltså vägas steg för steg i ett inbördes samband. För att åstadkomma en så bra balanserad ventilation som möjligt oavsett om den sker enligt principen alternativ II eller alternativ III i FIGUR 5.5 är det troligen nödvändigt att göra betydligt mer undersökningar av tryckförhållanden och täthet än vad som kunnat ske inom ramen för denna utredning. Framför allt torde det vara nödvändigt att titta på sambandet mellan läckage i lågdel och högdel sedan de första åtgärderna av tätning av fönster gjorts. Detta för att kunna välja balans för ventilationssystemen - hur balansen skall läggas och vid vilken yttre temperatur systemen skall balanseras.



FIGUR 5.1 Principiell utformning av byggnaderna.



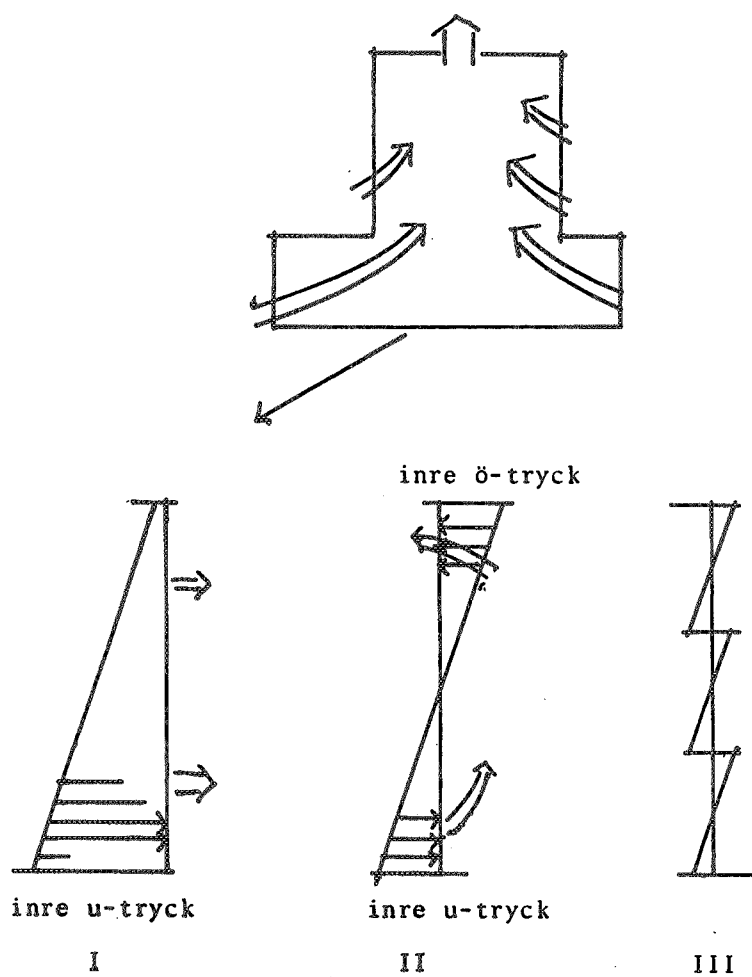
FIGUR 5.2 Utförande vid pelare.



FIGUR 5.3 Uppmätta tryckskillnader över ytterväggar mot väster och öster. Tidpunkt 1977-03-10, växlande vind, temperatur +5°C.

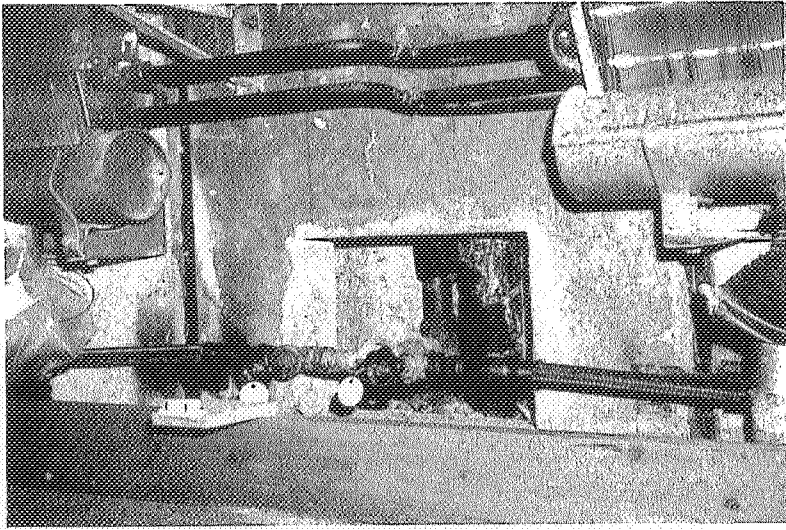






FIGUR 5.5 Alternativa tryckbilder av termik vid varierande grad av balanserad FT-ventilation

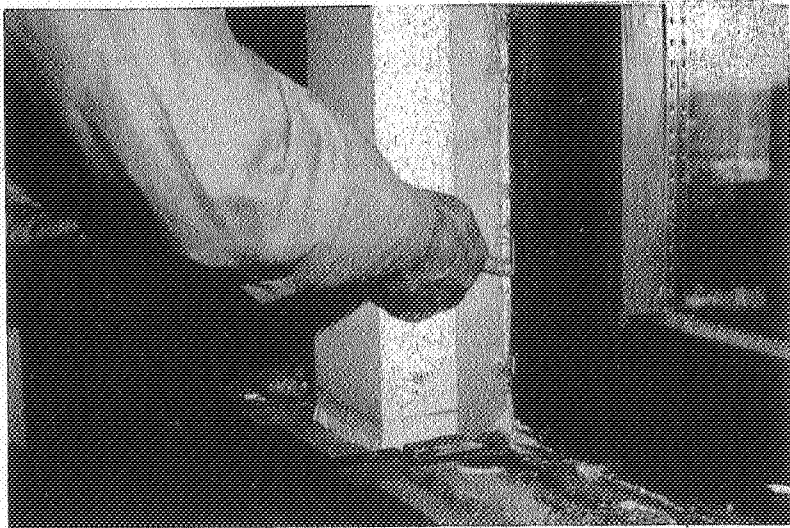
- I - nuvarande tillstånd
- II - balansering av huvudsystem för vent
- III - inreglering av luftmängder i varje våning eller åtminstone för grupper av våningar



1



2



3

SAMMANSTÄLLNING AV RESULTAT FRÅN  
TÄTHETSPROVNING

Den redovisningsmodell som enligt överenskommelse skall användas vid sammanställning av resultat från täthetsprovningar har måst utvidgas för redovisningen av våra resultat. De tillkommande delarna anges med asterisk (x).

Kolumn 1    Objekt nummer

Detta anger ordningsnumret i en löpande numrering som varje provande håller sig med.

Kolumn 2    Är under vilket byggnaden uppfördes.  
              Ange de två sista siffrorna i året.

Kolumn 3    Antal våningsplan inom den provade volymen.

Kolumn 4    Produktionssätt

P = Elementbyggt

V = Volymelement  
S = Ytelement

S = Platsbyggt

Kolumn 5    Hustyp

D = friliggande hus

R = radhus

L = kedjehus

S = souterränghus

x F = flervåningshus

Kolumn 6    Huvudsakligt material (stom-)

W = trä

L = lättbetong        V = lättbetong och trä

C = betong

B = tegel

M = betongstomme med lätt utfackningsvägg

Kolumn 7    Ventilationssystem

S = självdug

F = frånluft

FT = från- och tilluft

X = FT samt värmväxlare

- Kolumn 8 Fönstrens öppningsriktning  
 O = utåt  
 I = inåt  
 B = båda riktningar förekommer
- Kolumn 9 Grundläggningssätt  
 C = kryprumsgrundläggning  
 F = platta på mark  
 B = källarvåning
- Kolumn 10 Husets (provutrymmets) volym (m<sup>3</sup>).  
 Bestämmer enligt SP 1977:1.
- Kolumn 11 Husets (provutrymmets) omslutningsyta (m<sup>2</sup>).  
 I denna yta räknas in alla ytor som kan läcka luft och avgränsar provvolymen. Väggar och golv under mark räknas ej in och inte heller ytan av bottenplattan vid platta på mark-grundläggning.
- Kolumn 12 Förhållandet mellan volym och omslutningsyta. Anges med en decimal.
- Kolumn 13 Total yta av fönster och dörrar (m<sup>2</sup>).  
 Beräknas på karmyttermått.
- Kolumn 14 Luftläckning vid 50 Pa, invändigt övertryck (m<sup>3</sup>/h).  
 x Beteckning = Q<sub>+50</sub>
- Kolumn 15 Luftläckning vid 50 Pa, invändigt undertryck (m<sup>3</sup>/h).  
 x Beteckning = Q<sub>-50</sub>
- Kolumn 16 Luftläckning vid 50 Pa per volymsenhet, (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>·h) el (oms/h), invändigt övertryck. Anges med en decimal.  
 x Beteckning = n<sub>+50</sub>
- Kolumn 17 Luftläckning vid 50 Pa per volymsenhet, (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>·h) el (oms/h), invändigt undertryck. Anges med en decimal.  
 x Beteckning = n<sub>-50</sub>

- Kolumn 18 Luftläckning vid 50 Pa per ytenhet (omslutningsyta) ( $m^3/m^2 \cdot h$ ), invändigt övertryck. Anges med en decimal.  
 x Benämning = specifikt läckage  
 x Beteckning =  $q_{+50}$
- Kolumn 18b Specifikt läckage för fönster  
 x Beteckning =  $q_{+50}^{fönst}$
- Kolumn 19 Luftläckning vid 50 Pa per ytenhet (omslutningsyta) ( $m^3/m^2 \cdot h$ ), invändigt undertryck. Anges med en decimal  
 x Specifika läckaget betecknas  $q_{-50}$
- Kolumn 19b Specifikt läckage för fönster  
 x Beteckning =  $q_{-50}^{fönst}$
- Kolumn 20 Ventilationsgrad (oms/h vid rådande väderförhållanden. Multipliceras med 100. Här anges den ventilationsgrad som är att hänföra till s k oönskad ventilation, dvs med avsiktliga ventilationsanordningar tillslutna.
- Kolumn 21 Lufttemperatur utomhus ( $^{\circ}C$ ). Anges i hela grader med + eller - tecken framför.
- Kolumn 22 Lufttemperatur inomhus ( $^{\circ}C$ ).
- Kolumn 23 Vindhastighet i byggnadens närhet (m/s)
- Kolumn 24 Vindriktning. Anges i någon av riktningarna N, NE, E, SE, S, SW, W, NW.
- Kolumn 25 Övrigt  
 x I de fall täthetsprovningen inte kunnat ske vid 50 Pa tryckskillnad anges i kolumnerna 14, 15, 16, 17 och 18 en hänvisning till kolumn 25 "Övrigt". I denna anges storheter med beteckningar enligt det föregående. Om t ex specifikt läckage uppmätts och räknats fram vid ett övertryck av 26 Pa anges detta i kolumn 25 med beteckningen  $q_{+26}$ .
- Objektförteckning och sammanställning i TABELL 6.1 och 6.2.

OBJEKT FÖRTECKNING

1.	Provhus 1 i	Skutskär
2.	" 2	"
3.	Provhus 3 i	"
4.	Hus 1 Eko-Hus i	Noliaprojektet X
5.	" 2 " i	" F
6.	" 3 Olaus Forsberg.	Träforskningsinstitutet, Nolia
7.	" 4 " "	" "
8.	" 5 Nordkalotthus,	Nolia
9.	" 6 " "	"
10.	" 7 Elementhus	"
11.	" 8 " "	"
12.	" 9 ABV, Masonit, Icopal	"
13.	" 10 ABV, Masonit, Icopal	"
14.	" 11 ABV, Masonit	"
15.	" 12 ABV, Masonit	"
16.	" 13 Umehus	"
17.	" 14 " "	"
18.	Borrarvägen	Grängesberg
19.	Konstvaktervägen	"
20.	Gruvfogdevägen	"
21.	Finnmarksvägen	"
22-24	Flerbostadshus i	Jakobsberg
35.	Riksförsäkringsverket	
36.	Riksrevisionsverket	
37.	Sverigehuset	
38.	Kv. Rosteriet (STU, Televerket, ID-kort)	
39.	Frescatiuniversitetet	

TABELL 6:2

Obj nr	Byggn år	Antal vån	Prod sätt typ	Rus- typ	Mtrl- typ	Vent syst	Fönst. gång	Grund lägn	Byggn vol	Omsl yta	Vol Ma	Fönst. o dörr- yta	Q <sub>50</sub>	n <sub>50</sub>	n <sub>50</sub>	q <sub>50</sub>	q <sub>50</sub>	fönst. q <sub>50</sub>	q <sub>50</sub>	Vent oms/h	Ute- temp	Inne- temp	Wind hast	Wind riktn	Övrigt		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	18b	19	19b	20	21	22	23	24	25	
1	76	1½	S	D	W	S	B	F	386	250	1,5	20	343	304	0,9	0,8	1,3	1,2	-	-	+ 5	+ 5	0				
2	76	1½	S	D	W	S	B	F	386	250	1,5	20	620		1,6												
3	76	1½	S	D	W	S	B	F	386	250	1,5	20	1110		2,8												
4	77	1½	P	D	W	X	F	F	338	198	1,7	21	525	410	1,6	1,2	2,7	2,1	0,7	-	+25	+25	0				
5	77	1½	P	D	W	X	F	F	338	198	1,7	21	443	481	1,3	1,4	2,2	2,4	0,7	-	+10	+25	0				
6	77	2	S	D	W	X	F	F	395	257	1,5	24	261	247	0,7	0,6	1,0	1,6	0,5	-	+10	+21	0-2	växl			
7	77	2	S	D	W	X	F	F	395	257	1,5	24	175	172	0,4	0,4	0,7	0,7	0,5	-	+10	+21	0-2	växl			
8	77	1½	V	D	W	X	F	C	412	371	1,1	24	571	530	1,4	1,3	1,5	1,4	1,7	-	+25	+25	0				
9	77	1½	V	D	W	X	F	C	412	371	1,1	24	552	500	1,3	1,2	1,5	1,3	1,4	-	+25	+25	0				
10	77	1½	P8	D	W	F	F	C	376	343	1,1	29	1400	1460	3,7	3,9	4,1	4,3	5,0	-	+25	+25	0				
11	77	1½	P8	D	W	F	F	C	376	343	1,1	29	1504	1600	4,0	4,3	4,9	4,7	6,2	-	+25	+25	0				
12	77	1½	Se25	D	W	F	F	B	699	332	2,1	23	1140	1360	1,6	1,9	3,4	4,1	6,2	-	+25	+25	0		1)		
13	77	1½	"	D	W	X	F	B	699	332	2,1	23	1300	1290	1,9	1,8	3,9	4,7	6,2	-	+25	+25	0		1)		
14	77	1½	"	D	W	X	F	B	479	250	1,9	20	340	620	0,7	1,3	1,4	2,2	2,3	-	+25	+25	0		1)		
15	77	1½	"	D	W	X	F	B	493	257	1,9	20	497	554	1,0	1,1	1,9	2,2	2,1	-	+25	+25	0		1)		
16	77	1	S	D	W	X	F	F	300	198	1,5	19	763	750	2,5	2,5	3,9	3,8	2,5	-	+25	+25	0		1)		
17	77	1	S	D	W	X	F	F	315	198	1,6	19	550	500	1,7	1,6	2,8	2,5	2,1	-	+25	+25	0		1)		
18	65	1+5	P8	D	W	S	O	S	590	380	1,6	30	2700			4,6	7,1								2)		
19	1870	1½	S	D	W	S	O	B	890	675	1,3	40	Kol125			3,3	4,5										
20	53	2	P8	D	W	S	O	B	400	290	1,4	30	1300			4,0	4,0										
21	65	1	P8	D	W	S	O	B	400	400	1,0	30	1600														
22	61-63	8	S	F	M/L	F	B	B	Jakobsberg	230	60	15			0,6	0,6	2,0	2,0		0-+3	20-22	0-3			3)		
34									(185	(20					(0,3	(0,3											
									-265)	-90)					-0,3)	-0,8)											
35	30	7	S	P	B	F	I	B	21000	5600	3,7	1300	Kol125							50	+ 6	+21	0		4)		
36	60	9	P	P	C	FT	I	B	19100	2700	7,1	750	40000			14,8	10			30	+ 4	+22	0-2				
37	69	7	P	P	M	FT	I	B	19700	3300	6,0	900	48000			11,0				50	+ 2	+20	0				
38	60	9	S	P	C	FT	I	B	55000	5600	9,3	2300	22000			2,6	5,5										
39	71	8	P	P	C	FT	I	B	18200	25500	7,1	7600				0,8	1,0										

4) Q<sub>56</sub> = 25000 två fönstertyper

3) Medelvärden (min. värden - max. värden)

2) Q<sub>24</sub> = 2400; n<sub>24</sub> = 2,7

1) Stomme: Balksystem