



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

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



**Rapport**

**R66: 1986**

**Hallbyggnader  
med dynamisk isolering**

**Redovisning av utvecklingsläget**

**Torgny Thorén**

R  
911

INSTITUTET FÖR  
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac

fer

**Byggeforskningsrådet**

R66:1986

HALLBYGGNADER MED DYNAMISK ISOLERING  
Redovisning av utvecklingsläget

Torgny Thorén

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
820932-2 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Novotherm AB, Sollentuna.

## REFERAT

I dagsläget har den nya isoleringstekniken, dynamisk isolering, tillämpats i en förenklad takvariant (utan reglerskikt) i ett hundratal hallbyggnader i Sverige. I utlandet, främst i Finland, har sedan 1975 ca 1 miljon m<sup>2</sup> hallar byggts med i princip samma typ av förenklad motflödestak. Dessa tak har i vissa tillämpningar brister, som kan elimineras med nya tekniska lösningar.

Det teoretiska underlaget för tekniken är idag väl dokumenterat i bl a olika BFR-rapporter. Mellandelen, mellan teori och utvecklade serieproduktion, har emellertid ännu inte blivit systematiskt bearbetat. Föreliggande rapport avser att till en del fylla detta mellanrum. Rapporten anger också några alternativa vägar för den fortsatta utvecklingen mot en kommersiell serieproduktion.

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

R66:1986

ISBN 91-540-4597-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1986

## INNEHÅLL

FÖRORD	. . . . .	4
1	SAMMANFATTNING . . . . .	5
2	DYNAMISK ISOLERING . . . . .	6
2.1	Allmänt . . . . .	6
2.2	<u>Motflödesisolering</u> . . . . .	6
2.3	<u>Medflödesisolering</u> . . . . .	7
2.4	<u>Värmetäthet</u> . . . . .	8
3	HALLTYPER - STOMMAR . . . . .	9
3.1	Allmänt . . . . .	9
3.2	<u>Stommar</u> . . . . .	10
3.21	<u>Isolering</u> . . . . .	10
3.22	R-skikt . . . . .	11
3.3	<u>Takutföranden</u> . . . . .	12
4	INSTALLATIONER . . . . .	14
4.1	<u>Ventilation</u> . . . . .	14
4.11	Sammandrag . . . . .	16
4.2	<u>Uppvärmning</u> . . . . .	18
5	DISKUSSION AV EGENSKAPER . . . . .	21
5.1	Allmänt . . . . .	21
5.2	<u>Energifördelar</u> . . . . .	22
5.21	Värmetransmission . . . . .	22
5.22	Oavsiktlig ventilation . . . . .	23
5.23	"Värmekudde" under tak . . . . .	23
5.24	Solvärme . . . . .	24
5.25	Kylbehov sommartid . . . . .	24
5.26	Värmeutjämnande inlagring i mark . . . . .	24
5.27	Kommentar . . . . .	25
5.28	Sammandrag . . . . .	25
5.3	<u>Investeringsfördelar</u> . . . . .	25
5.31	Byggekostnader . . . . .	25
5.32	Komfortkyl . . . . .	26
5.33	Uppvärmningsanläggning . . . . .	26
5.34	Bullerabsorbktion . . . . .	26
5.35	Utvecklingspotential . . . . .	26
5.4	<u>Miljöfördelar</u> . . . . .	27
5.41	Dam- och partikelfri tilluft . . . . .	27
5.42	Dragfritt tilluftsflöde . . . . .	27
5.43	Tyst tilluftssystem . . . . .	27
5.44	Lokalkylning sommartid . . . . .	27
6	SLUTSATSER . . . . .	29
6.1	<u>Projektering</u> . . . . .	29
6.2	<u>Ekonomi</u> . . . . .	30
7	LITTERATUR . . . . .	31

## FÖRORD

Det teoretiska underlaget för dynamisk isolering har behandlats utförligt i bl a tidigare BFR-projekt. I rapporten R162:1980 har ekvationerna för energi-och fukttransport härletts. Likaså begreppet dynamiskt k-värde ( $k_{dyn}$ -värde), principerna för såväl mot- som medflödesisolering, randvillkor för temperatur och ånghalt m m. I rapporten R34:1984 har de ventilations-tekniska grunderna bearbetats för tillämpningar överlag i byggnader. Även andra egenskaper hos tekniken som filtrering, ljudabsorbktion, luftkvalitet, inneklimat m m har delvis blivit behandlade i denna rapport.

Följdutredningar i anslutning till dessa rapporter och utförda praktiska prov har visat att vid tillämpning av tekniken öppnar sig en rad möjligheter till nya lösningar, som i många fall även på andra sätt kan påverka byggnadens övriga funktioner. Ett exempel på sådana synergieffekter är hur tekniktillämpningen i småhus har utvecklats. Där har en samtidig tillämpning av både mot- och medflödesisolering visat sig ge extra fördelar. Parallellt med dessa tillämpningar har ett antal andra, nya komponenter kunnat tas fram som tillsammans med mot- och medflödeskonstruktionerna bildar ett omfattande, flexibelt småhussystem. Resultatet har blivit kombinationer med sammanlagt flera fördelar än vad enbart en avgränsad tillämpning av de enskilda komponenterna skulle ha gett. (En bearbetad sammanställning av tillämpningarna för småhus har finansierats av BFR med anslag nr 810137-6. Rapporten heter "TT-småhussystem" och finns tillgänglig genom Byggdok).

Föreliggande rapport bygger på teoretiskt material från ovannämnda rapporter kombinerat med insamlat erfarenhetsmaterial från olika byggföretag i samband med pågående exploateringsarbeten. Rapporten avser främst att lämna vissa allmänna anvisningar till exploatörer vid den fortsatta utvecklingen av tekniken i de större byggnader som vanligtvis kan benämnas hallar. Anvisningarna avser också ge viss vägledning till beställare i deras val mellan hallar med konventionell teknik och hallar med den nya tekniken.

Värdefulla bidrag till rapporten har lämnats av professor Bernt Johansson och ingenjör Ola Uddnäs, Bloms Ingenjörbyrå AB, civilingenjörerna Axel Fagerstedt och Carl Lindquist, K-Konsult samt professor K-G Bernander och civilingenjörerna Bengt Bergqvist och Gunnar Rise, AB Strängbetong. Jag framför mitt tack för deras aktiva medverkan, samtidigt som jag ber att få tacka alla övriga, som på olika sätt deltagit i eller lämnat bidrag till projektarbetet.

Sollentuna i mars 1986

Torgny Thorén



## 1 SAMMANFATTNING

I dagsläget har den nya isoleringstekniken, dynamisk isolering, tillämpats i en förenklad takvariant (utan reglerskikt) i ett hundratal hallbyggnader i Sverige. I utlandet, främst i Finland, har sedan 1975 ca 1 miljon m<sup>2</sup> hallar byggts med i princip samma typ av förenklad motflödestak. Dessa tak har i vissa tillämpningar brister, som kan elimineras med nya tekniska lösningar. Olika exempel på sådana nya lösningar redovisas i föreliggande rapport.

Rapporten behandlar även en rad frågor av intresse vid projektering av motflödeshallar och bedömningar av deras lönsamhet.

Det teoretiska underlaget för tekniken är idag väl dokumenterat i bl a olika BFR-rapporter. Mellandelen, mellan teori och utvecklad serieproduktion, har emellertid ännu inte blivit systematiskt bearbetat. Föreliggande rapport avser att till en del fylla detta mellanrum. Rapporten anger också några alternativa vägar för den fortsatta utvecklingen mot en kommersiell serieproduktion.

Både exploitörer och beställare måste emellertid bidra med egna, väsentliga anpassningsbitar i vidareutvecklingen av tekniken innan en betydande serieproduktion torde bli etablerad på den svenska marknaden.

## 2 DYNAMISK ISOLERING

2.1 Allmänt

Konventionell, statisk isolering innebär i princip att man mellan täta skikt innesluter isoleringsmaterialet så att luften (eller annan gas) i materialets många små hålrum står stilla. Vanliga isoleringsmaterial enligt denna princip är t ex mineralull och vissa skumplatser. Isoleringsförmågan är i stort sett densamma hos dessa material och varierar relativt litet vid användning i olika byggnadskonstruktioner.

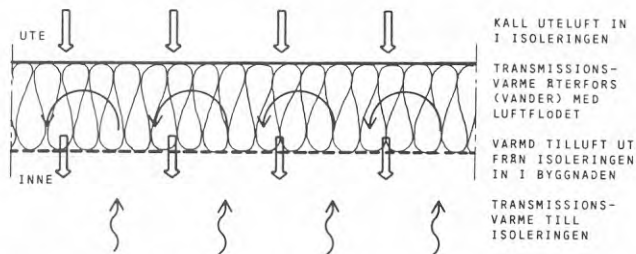
Dynamisk isolering skiljer sig från den konventionella, statiska isoleringen genom att man helt frångått principen med stillastående luft. Isoleringsskiktet påtvingas i stället en styrd, laminär luftström genom materialet. Se FIGUR 1.

Tekniken med dynamisk isolering kan tillämpas i såväl vertikala som horisontella konstruktioner (tak, väggar och golv). Det isolerande luftflödet kan upprätthållas med över- eller undertryck eller på annat sätt.

Som konstruktionsmaterial kan användas vanliga isoleringsmaterial med öppen porstruktur, men givetvis också andra luftgenomsläppliga material eller för vissa enskilda tillämpningar speciella strukturer.

2.2 Motflödesisolering

Vid motflödesisolering går den påtvingade luftströmmen i motsatt riktning till värmeflödet och tar då upp den utgående värmen genom att själv värmas på sin väg genom isoleringen. Utgående transmissionsvärme förs därmed tillbaka in i byggnaden. Om luftflödet ökas något över ett visst minsta värde, går mera kall luft in i isoleringsskiktet än vad som motsvarar värmeflödet ut genom skiktet och värmetransporten genom isoleringen upphör.



FIGUR 1. (MOTFLÖDESIOLERING)

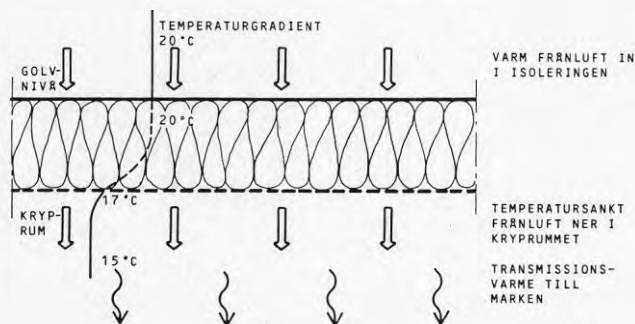


Tekniken påverkar i regel inte bara värmeflödet ner mot noll, om så önskas, utan kan även uppvisa andra intressanta effekter. Så kan t ex luftflödet, som förs in genom isoleringen, också användas som förvärmad tilluft. Samtidigt blir denna tilluft på sin väg genom isoleringsmaterialet mycket välfiltrerad /6/. Vidare kan ytterytan i byggnaderna fungera som passiva solfångare, varvid upptagen solvärme automatiskt och utan förluster leds in av isoleringsluften genom den dynamiska isoleringen. (Alternativt kan solvärmens sommartid hållas tillbaka med ett reverserat luftflöde ut genom isoleringen).

### 2.3 Medflödesisolering

Vid medflödesisolering förs luften i medriktad strömningriktning genom konstruktionen, alltså i samma riktning som transmissionsvärmeflödet. Luftens temperatur sjunker då på sin väg genom konstruktionen på grund av utsidans lägre temperatur. Värmeavgivningen till omgivningen sker alltså som konvektiv transport. Se FIGUR 2.

(Om luftflödet ökar över ett visst minsta värde tillförs medflödesisoleringen inte längre någon värme från rummet, utan all värme tillförs konstruktionen från den avgående frånluften. I motsats till motflödesisolering sker följaktligen vid medflödesisolering fortfarande en väsentlig värmetransport till omgivningen, men denna värme tas här ur det utgående frånluftflödet och inte från det medflödesisolerade rummet).



FIGUR 2. (MEDFLÖDEISOLERING)

### 2.4 Värmetäthet

Med kunskap om lägsta tilluftsflöde till byggnaden och önskat  $k_{dyn}$ -värde\* kan lämplig isoleringstjocklek väljas från DIAGRAM 1.

Den värme som tilluften har tagit upp i motflödesisoleringen kan senare återges till systemet, om så önskas. Det sker då ur ekvaveringsluften innan den lämnar byggnaden (t ex genom en medflödesisolering eller på konventionellt sätt med en frånluftsvärme-pump.)

Uppvärmningsenergin för ventilationen skall följaktligen inte räknas in i energibalansen för den dynamiska isoleringen, lika litet som ventilationen skall räknas in i isoleringsförlusterna i en statiskt isolerad byggnad.

Av diagrammet framgår att värmetransmissionen relativt snabbt går mot noll vid ökat luftflöde. Denna unika egenskap - värmetetthet - kan vid praktiska tillämpningar anses ha uppnåtts när  $k_{dyn}$ -värdet går under  $0,01 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . ( $K$ -värdet för t ex en bra termosflaska stannar på  $0,06 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ).

Finns det köldbryggor i de aktuella konstruktionerna måste de givetvis beaktas vid värmebehovs- och effektberäkningar. I praktiken kan därmed för många konstruktioner, det resulterande  $k_{dyn}$ -värdet stiga till  $0,03 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  och högre, trots isoleringsskiktets värmetetthet.

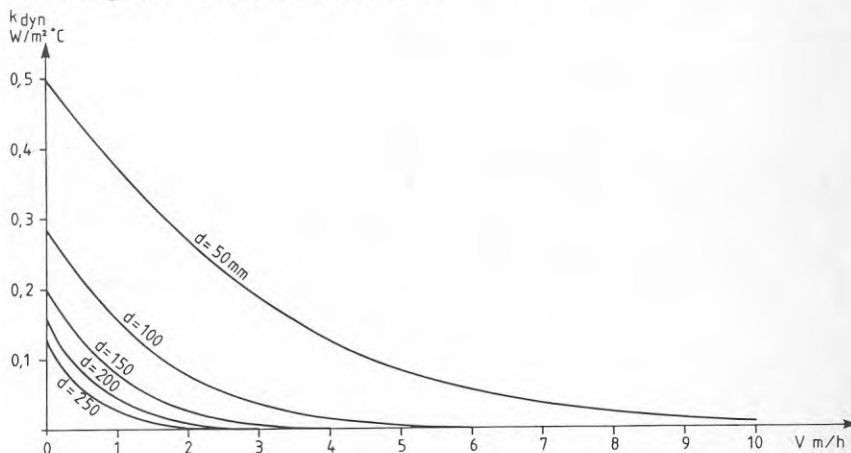


DIAGRAM 1.

Diagrammet avser vanlig mineralull av standardkvalitet A. Luftflödet anges i m/h ( $\text{m}^3/\text{m}^2$  och h) och förutsätts vara styrt vinkelrätt genom isoleringen tack vare ett direkt till isoleringen anslutet luftgenomsläppligt, reglerande skikt (R-skikt), som har betydligt större luftmotstånd (5-50 ggr) än själva isoleringsmaterialet.

Det är möjligt att interpolera mellan värdena för angivna isoleringstjocklekar (d) om annan isoleringstjocklek önskas än de fem angivna tjocklekarna. (Beräkningarna för diagrammet har närmare behandlats i /5/).

\*  $k_{dyn}$  = Den värmegenomgångskoefficient, som uppnås vid olika luftflöden genom en dynamiskt isolerad konstruktion

## 3 HALLTYPER - STOMMAR

3.1 Allmänt

Tekniken påverkar hallarna i tre olika avseenden. Dessa är ändringar i stomkonstruktionen, ändrade installationer för ventilation och uppvärmning och förbättrad miljö och ekonomi. Vissa allmänna förutsättningar bör dock vara uppfyllda innan en hall utförs med dynamisk isolering. Mycket generellt kan de sammanfattas på följande sätt:

Hallen skall nyttjas för sådana aktiviteter att en styrd ventilation behövs, att värmeisolering krävs samt att normal avskrivningstid för byggnader gäller.

De flesta byggnader med krav på värmeisolering enligt Svensk Byggnorm och med krav på viss ventilation en större del av året är följaktligen intressanta objekt. Krävs därtill viss kylning av lokalerna eller bättre miljö i form av god bullerabsorbktion, partikelfri tilluft osv ökar fördelarna ytterligare. I några fall kan den totala investeringskostnaden bli något högre, vilket i regel kompenseras av lägre driftskostnader och bättre miljö. För övriga hallar blir dock den totala investeringskostnaden lägre. Huvuddelen av de hallar, som byggs nya, kan därmed anses som möjliga motflödeshallar. Beträffande befintliga hallar kan också flertalet av dessa bli aktuella t ex i samband med en inre renovering eller när en omläggning av takets ytskikt och isolering blir nödvändig.

Tillämpningen av tekniken står följaktligen i ett mycket nära beroendeförhållande till de presumtiva byggherrarnas och exploatörernas intresse för förbättrad isolering och ventilation genom ny teknik. Vidare måste den praktiska detaljutformningen av de olika lösningarna direkt anpassas till respektive exploatör för att lönsamhetskalkylerna skall kunna baseras på de billigaste tillämpningsutförandena. Förslag till lösningar, som inte grundas på en initierad kunskap om exploatörens produktionsapparat, hans materialval etc anvisar med stor sannolikhet tillämpningsutföranden som blir onödigt dyra eller inte så bra som tekniken optimalt skulle kunna medge.

I detta sammanhang bör också observeras den generella kostnadsreducering som alltid sker första tiden efter att en ny produkt har satts i produktion. Denna kostnadsänkning är ofta betydande och är inte bara beroende av produktionsteknikernas insatser utan även av den grundinriktning till produktutveckling som respektive exploatör anlägger. Hallar med konventionell teknik har redan genomgått denna process, medan motflödeshallarna inte har börjat sin. Innan produktionsanpassad tillverkning av motflödeshallar har kommit igång, är det därför inte särskilt meningsfullt att i nuläget i detalj söka precisera kostnadsfördelarna för

de halltyper, som torde komma att bli av särskilt intresse med dynamisk isolering. Samma sak gäller beträffande detaljutförande och materialval i enskilda konstruktionslement liksom de exakta kostnaderna för dessa i de färdiga hallarna.

Under avsnitt 5.3 kommer dock det ungefärliga värdet av fördelarna av ett antal egenskaper att anges, främst för att därmed visa på storleksordningen av de besparingar, som kan uppnås med tekniken.

### 3.2 Stommar

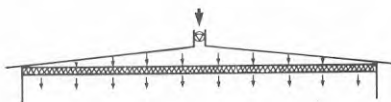
Dynamisk isolering kan användas i hallar både i ytterväggar och i tak. Medflödesisolerade hallgolv kan däremot, åtminstone i Sverige, endast undantagsvis komma ifråga. (Medflödesgolv i villor är emellertid alltid intressanta). Då tillämpningen i tak är såväl billigare som av större betydelse för bl a hallens totala energiförbrukning än i väggarna, har detta arbete begränsats enbart till taken.

Av kompletterande konstruktioner till byggnadsstommen i motflödeshallar kommer följaktligen i regel bara takisoleringen att bli påverkad - den blir bl a betydligt tunnare. Samtidigt kan monteringen av den ofta underlättas.

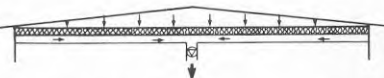
#### 3.21 Isolering

Valfri luftgenomsläpplig isolering kan användas. Används standardiserade mineralullskvaliteter (kvalitet A) kan diagram 1 användas vid val av isoleringstjocklek.

Utöver isoleringens tjocklek bör också utrymmet mellan yttertak och isolering beaktas. I många tillämpningar kan denna spalt dras ner till under 0,1 m. Spaltens tjocklek är beroende av takfallets längd, isoleringstjocklek, motflödesisoleringens motståndstal och vald lufthastighet samt yttertaketets täthet. Väljer man en isoleringskonstruktion, där luften trycks in i hallen från fläkt på yttertaket, se FIGUR 3, måste utrymmet mellan yttertak och isolering vara relativt tätt. Monteras ett tätt skikt under motflödesisoleringen, se FIGUR 4, och luften sugs ner genom isoleringsskiktet, kan yttertaket vara relativt otätt. (Denna lösning används företrädesvis i bostadshus).



FIGUR 3 (ÖVERTRYCKTAK)



FIGUR 4 (UNDERTRYCKSTAK)

## 3.22 R-skikt

I figur 3 trycks luften ner genom isoleringsskiktet med den takplacerade fläkten. Är yttertak otätt (t ex plåttak) går en del av den inblåsta luften i spalten tillbaka ut till det fria genom otätheterna i plåttaket. Yttertak måste därför tätas väl om inte en oproportionerligt stor andel luft skall läcka ut ur spalten. För att kompensera en vindpåverkan av t ex 10 m/s, fordras enligt /9/ en täthet, som inte ger ett större läckflöde genom yttertak än det dimensionerande flödet genom isoleringen. En styv (tung) mineralullsskiva har, vid de relativt små luftflöden det vanligtvis är fråga om, endast ett motstånd på ca 0,5 Pa och kräver därför ett helt tätt yttertak för att fungera väl. Kompletteras emellertid isoleringen med ett luftmotståndshöjande skikt, ett s k R-skikt, kan luftmotståndet i spalten mellan isolering och yttertak väljas så högt att övertryckslösningen (fig 3) kan användas även för plåttak.

R-skiktet kan utgöras av en finperforerad plastfolie, en tätad non-woven duk e dyl. Perforeringen utförs så att man får lämpligt luftmotstånd och en jämn utbredning av det valda luftflödet genom isoleringen.

I figur 4 sugs luften genom isoleringsskiktet från en spalt mellan isoleringen och innertaksmaterialet. Undertrycket upprätthålls med fläkt. Spalten mellan R-skiktet (som isoleringen vanligtvis läggs på) och innertaket kan hållas mycket smal om luftmotståndet över R-skiktet är relativt högt. (Ett otätt yttertak får här endast marginell inverkan även vid kraftig vind ute). Denna typ av motflödestak med tät inneryta för småhus är också tänkbar för hallar. Då övertrycksutförandet, som anges i principfigur 3, både är billigare och i regel har en mycket god bullerabsorption samt en billigare ventilation, kommer inte undertrycksutförandet (fig 4) att ytterligare behandlas i denna rapport. Noteras bör dock, att med undertrycksutförandet blir taket slutet mot hallrummet på samma sätt som ett konventionellt tak. Man kan därmed välja bl a nya konstruktiva utföranden, och en annan ventilationsteknik, som exempelvis den s k deplacerande ventilationen. Motflödesisoleringen bibehålls, men luften från den samlas upp i en utbredd spalt under R-skiktet och tillförs vistelsezonen i golvnivån via separata kanaler och lämpliga lågimpulsdon.

Den specialskiva, som har använts i de motflödeshallar som hitintills har byggts, saknar R-skikt. Trots att hela isoleringsskivan (15 cm) har getts en hög densitet blir luftmotståndstalet i regel för lågt för att ersätta R-skiktet. Då dessa specialskivor därtill kostar 2-3 ggr mera per m<sup>2</sup> än R-skikt kombinerat med lätt standardisolering av samma tjocklek, har det varit angeläget att utveckla motflödestak med R-skikt.

R-skiktets luftmotstånd väljs följaktligen så, liksom fläktens bruttoflöde, att störande vindpåverkan minimeras även vid inte helt täta plåttak liksom vid kraftig inre termik i hallen. R-skiktet medger vidare att kraven på mycket god anläggning i skivskarvar och runt om isoleringen kan minskas till ett normalt gott utförande.

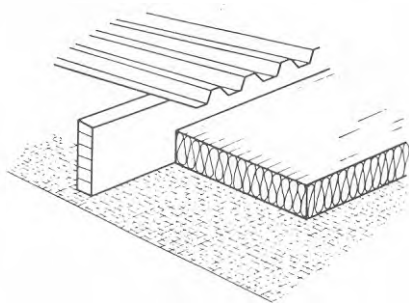


Isolering och R-skikt kan bäras upp på flera olika sätt i taket. Man kan t ex välja mellan en särskild bärning eller ett utförande där R-skiktet som sådant är bärande. Även här blir en rad olika utföranden möjliga, vilka i sin tur kan optimeras på olika sätt beroende bl a på vilken montage metod de skall underordnas och vilka övriga val av material m m som görs. Valet av uppvärmning och värmedistribution kan också påverka takutformningen liksom taket i sin tur kan påverka valet av uppvärmning, tilluftssystem och ibland även frånluftssystemet. Sammanfattningsvis gäller alltså, att vid val av R-skiktets utförande och luftmotstånd, liksom vid val av isoleringstjocklek, styrs detta bl a av vilket luftflöde som önskas (luftomsättningen i hallen) och vilket  $k_{dyn}$ -värde man vill ha. Det krävs följaktligen ett direkt samarbete mellan byggnadskonstruktör och vvs-projektör för att optimera fördelarna. Inte minst därför att motflödestaket också utgör tilluftssystem. Givetvis bör även byggherren aktivt engagera sig i denna optimeringsprocess.

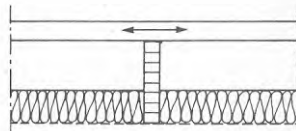
### 3.3 Takutföranden

Ett antal olika takkonstruktioner har studerats. Även här har det visat sig svårt att i nuläget ange bestämda detaljanvisningar för varje taktyp. Ett större antal konstruktionsförslag har tagits fram för prefab och för platsbyggen, men de bör alla bearbetas vidare i nära samarbete med de aktuella exploatörerna innan respektive konstruktion är klar för serieproduktion. FIGURERNA 5-14 visar några exempel på sådana preliminära förslag avsedda för stomtypen stål, trä och betong.

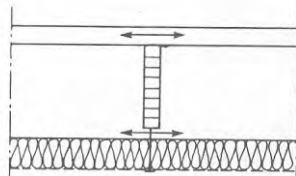
Beroende på om taken byggs upp på byggplatsen enbart uppifrån, eller både uppifrån och underifrån, eller om taken prefabriceras och därefter på bygget lyfts upp i mer eller mindre kompletta block, ändras såväl sättet för uppbyggnaden av takkonstruktionen som sådan, liksom valen av ingående material.



FIGUR 5. (Trätak, inhängd isolering)

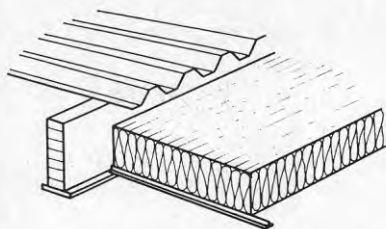


FIGUR 6. (Tvärsnitt av utförande 5)

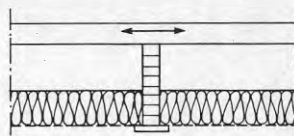


FIGUR 7. (Variant av 5, utan köldbryggor)

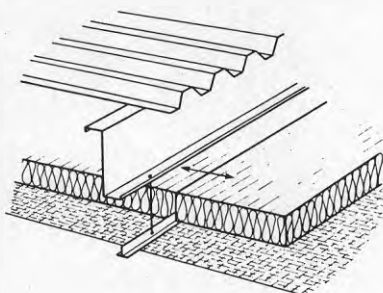




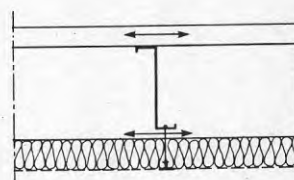
FIGUR 8. (Trätak, styv isolering)



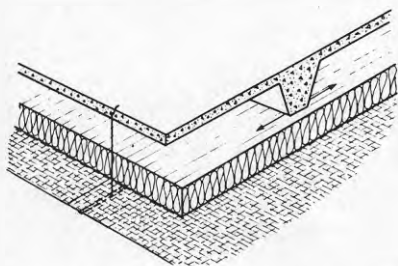
FIGUR 9. (Tvärsnitt av 8)



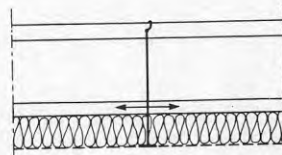
FIGUR 10. (Ståltak, inhängd isolering)



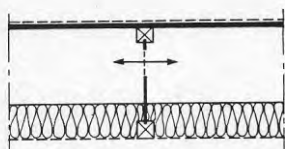
FIGUR 11. (Tvärsnitt av 10)



FIGUR 12. (Betongtak, underhängd isolering)



FIGUR 13. (Tvärsnitt av 12)



FIGUR 14. (Prefabelement, trä, inlagd isolering)

## 4 INSTALLATIONER

### 4.1 Ventilation

Hela den styrda, avsiktliga ventilationen kan, när takvärme saknas, tas in genom taket upp till en flödes hastighet på ca 10 m/h. Begränsningen till ca 10 m/h beror bl a på att vid högre hastigheter och sträng kyla blir luften otillräckligt värmd genom isole- ringen. Denna svalare luft kan då bilda ett kallluft- skikt uppe vid taket, som i en del av rummet kan trar och glider ner ouppvämt till golvnivå. Finns takvärme kan dock dessa eventuella olägenheter kompenseras och flödet till och med ökas ytterligare.

I konventionella hallar går vanligtvis huvuddelen av den oavsiktliga ventilationen ut genom otätheterna i taket /4/. I motflödestaken elimineras detta oavsikt- liga flöde av det mekaniska övertrycket ovanför mot- flödesisoleringen. Grundflödet av tilluft till hallen bör dock inte väljas större än vad minimiventilations- kraven anger. Om ibland större ventilation önskas kan detta lätt ordnas genom taket med t ex tillfälligt högre fläktvarvtal. Motflödestaket uppvisar på så sätt ytterligare en unik egenskap genom att i vissa fall tillåta en kraftig ökning av tilluftsflödet utan att extra tilluftsinstallationer krävs.

Krävs kontinuerligt större luftflöden (än vad som behövs för värmetäthet) behandlas denna överskjutande del på konventionellt sätt med eget tilluftssystem och med eventuell egen värmeåtervinning. Detta extra till- luftssystem kan dock i regel väsentligt förenklas, då en betydande tilluftsmängd (allmänventilation) ändå tillförs hela hallen från takytan.

Ventilationen av en vanlig motflödeshall kan följakt- ligen betraktas som en s k omblandande ventilation med ett effektivt luftutbyte i alla delar av lokalen. Genom att tilluften tillförs lokalen, väl utbredd över hela takzonen, kan värdet för ventilationseffektivit- eten bli hög, om frånluften evakueras vid föro- reningskällorna genom punktutslug /12/. Saknas koncent- rerade föroreningskällor bör frånluftsdonens läge väljas så att ventilationsprincipens låga känslighet för störningar och relativt stora säkerhet under- stryks. Evakuering via golvkanaler bör därvid inte helt uteslutas.

Motflödestak kan givetvis också användas vid s k deplacerande ventilation. Enda skillnaden blir då att isoleringen monteras med ett tätt, undre skikt mot hallrummet, exempelvis enligt fig 4 ovan.

Värmen i den del av det gemensamma frånluftsflödet, som motsvarar tilluften genom taket och den beräknade oavsiktliga ventilationen vid uppnått undertryck, kan med fördel återvinnas i en frånluftsvärmepump (vp). Hallen kan då förslagsvis ventileras med ett större frånluftsflöde än det styrda tilluftsflödet.

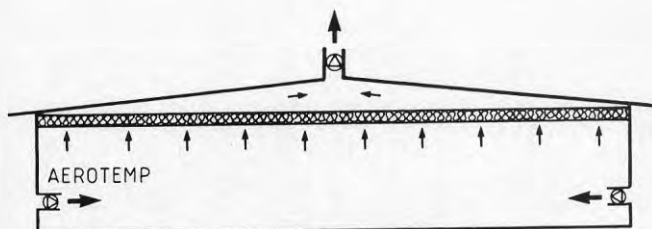
I hallar som inte har full ventilation dygnet om under uppvärmningssäsongen, kan vp t ex köras under låglast- tiderna med reducerad effekt. Hallens ventilation

ställs i dessa fall om så att endast ett svagt nedåtriktat flöde upprätthålls genom taket av undertrycket via evakueringen genom vp. Därmed är ventilationen minimerad och inte stort mera än den oavsiktliga. Samtidigt återvinns transmissionsvärme från taket. För att nå erforderligt undertryck i lokalen måste givetvis dörrar och fönster vara stängda och i många fall torde även takfläkten behöva stängas av helt. Frånluftsfläkten för vp upprätthåller därefter det nödvändiga undertrycket för önskat luftflöde ner genom taket samtidigt som värme från frånluftsflödet via vp återförs till hallen eller till lämplig ackumulator.

Vanligtvis gäller att vid ett tillfälligt ventilationsbehov upp till motsvarande 8 å 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> h kan hela tilluftsflödet tas genom taket och ett separat tilluftssystem inbesparas. För hallar med större, kontinuerligt ventilationsbehov gäller dock att endast den del av tilluftsflödet, som krävs för önskat  $k_{dyn}$ -värde i taket bör tas in genom detta. Resten tas in genom ett separat tilluftssystem som ibland kompletteras med egen värmeåtervinning, t ex roterande värmeväxlare. Denna separata tilluft kan därtill styras till de delar av hallen, där extra tilluft gör störst nytta.

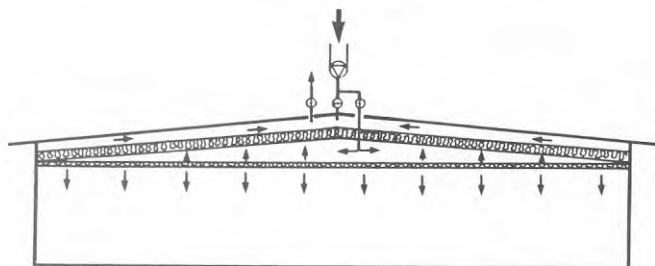
Den spridda allmänventilationen från taket över hela hallrummet möjliggör följaktligen stora förenklingar av det separata tilluftssystemet som bör tas tillvara.

I hallar med kylbehov sommartid kan motflödestaket ges ytterligare en ny egenskap. Reverseras ett begränsat luftflöde från hallen upp genom isoleringen och ut över yttertaket kan värmetransmissionen utifrån genom taket elimineras, se FIGUR 15.



FIGUR 15. (Reversering vid kylning)

Erforderlig tilluft kan i dessa fall tas in i hallen på flera olika sätt. Enklast sker detta genom öppna fönster eller dörrar. Men andra, effektivare sätt kan ibland erfordras. Nödvändig tilluft kan då tas in direkt utifrån via väggplacerade aerotemperar, genom ev golvförlagda luftkanaler (se fig 17) genom eventuellt separat tilluftssystem eller genom en vidareutvecklad typ av motflödestak enligt FIGUR 16.



FIGUR 16. (Dubbeltak, kylfallet)

Denna takkonstruktion med dubbla isoleringsskikt och ett luftmellanrum emellan gör att uteluft med ordinarie takfläkt (efter en spjällomläggning) kan tryckas in i mellanrummet mellan de båda skikten. Man får då dels ett oförändrat nedåtriktat flöde dels ett nytt uppåtriktat flöde. Det nedåtriktade flödet svarar för nödvändig tilluft till hallen medan det uppåtriktade flödet kan eliminera utomhusvärmen ner genom taket.

Dubbeltaket medger alltså att tilluften vid kylning oförändrat kan tillföras från taket ner i hallen trots motflödet uppåt i det övre isoleringsskiktet. Det nedåtgående flödet hindrar nedsmutsning av undertakstyten (som eventuellt kan uppstå i enkelt tak vid reverserat takflöde) och dubbeltaket förbättrar ytterligare bullerabsorbtionen. Vidare uppnås vintertid (i värmefallet) värmetäthet vid ett mindre tilluftsflöde, båda isoleringsskikten samverkar ju då. Därtill kan man åstadkomma en helt ny typ av rumsvärmning genom att direkt i mellanrummet mellan isoleringsskikten tillföra värme, som sedan värmer hallen. Denna värme kan tillföras mellanrummet direkt i separata värmare eller genom värmde cirkulationsluft från hallen. Används cirkulationsluft blir den mycket väl efterfilterad av det undre isoleringsskiktet. Den blir också utspridd över takytan före den går tillbaka in i hallen. Samma cirkulationssystem kan sommartid användas vid eventuell kylning. Cirkulationssystemet kan givetvis också användas för ev luftbefuktning eller annan extra luftbehandling. Ytterligare funktioner är möjliga med de dubbla isoleringsskikten, men de bör behandlas i samband med urval av olika utförandealternativ för speciella hallprojekt och ligger därför utanför detta arbete.

## 4.11 Sammandrag

Följande projekteringsprinciper gäller i stora drag:

## a. Hallar med styrd ventilation dygnet om.

Tillluftsflödet begränsas om möjligt till enbart genom motflödestaket. (Anses en större ventilation vara nödvändig utförs en ny kontrollberäkning av erforderlig ventilation, varvid alla möjligheter till reduceringar synas på nytt.)

Krävs kontinuerligt ytterligare tilluft, begränsas flödet genom motflödestaket till det minimum som fordras för "värmetäthet" vid vald isoleringstjocklek. Erforderligt tilluftsflöde därutöver tillförs på konventionellt sätt.

Krävs bara tillfälligt större tilluftsflöden tas även detta genom taket och det extra tilluftssystemet sparas in.

Behövs värmeåtervinning kan t ex en del av det totala frånluftsflödet föras genom en frånluftsvärmeväxlare (vp) (motsvarande takflödet) och ur den övriga ventilationen återvinns eventuellt värme med konventionell, regenerativ värmeväxlare. (Ofta kan värmeåtervinningen begränsas till bara vp-lösningen.) Finns kylbehov sommardag utförs taket med möjlighet till enkel reversering av luftflödet upp och ut genom taket. Vp kan givetvis väljas så att också den kan bidra till kylningen, genom att t ex kyla det inkommande tilluftsflödet till hallen när takflödet reverseras.

## b. Hallar med ventilationsbehov endast under del av dygnet.

Under de tider när full ventilation skall finnas gäller i princip samma som under a. ovan.

Övrig tid stängs tilluftsfläktarna av och ett begränsat frånluftsflöde upprätthålls genom befintlig vp. Saknas vp är besparingsbehovet lågt och all frånluftsventilation kan stängas av övrig tid. (Detta gäller även i fuktig miljö. (Genom att R-skikt alltid förutsätts bli använt i motflödestaket, uppstår inget problem med inre kondens, även vid flera dagars avbrott, se bl a /5/ och /9/. Den fukt ur uteluften som i vissa fall kan kondensera på undersidan av oskyddad yttertakslåt bör dock tas om hand separat på lämpligt sätt).

Givetvis kan en tilluftsventilation hållas igång motsvarande 0,1-0,2 oms/h, samtidigt som frånluftsfälakten är avstängd. Detta kan ge något lägre energiförlust än när all ventilation är avstängd och den ofrivilliga ventilationen obehindrat får gå ut genom taket.



c. Hallar med krav på komfortkyla dagtid

Vintertid kan luftflödet genom taket ökas något. Behövs ytterligare kyla kan fullt tilluftsflöde föras genom taket även nattetid för avkylning av såväl taket som hallen.

Sommartid reverseras luftflödet dagtid genom taket. (Tilluften tas in genom öppna dörrar och fönster, genom ev aerotemperar, genom ordinarie tilluftssystem för extra tilluft (med eller utan artificiell kylning) eller genom det dubbla motflödestaket enligt figur 16 ovan eller på annat sätt).

Hallen kan också kylas genom att utnyttja nattkylan. De nätter när uteluften är svalare än önskad rumstemperatur och när taket kan kylas genom rymdutstrålning (klart väder) kan fullt uteluftsflöde in genom taket bidra med en avsevärd kylning av lokalerna till nästa dag. Motflödestaket kan mycket effektivt utnyttja den extra kylning av yttertakets på 8 à 10°C, som ofta sker genom värmeutstrålning mot rymden. Luftflödet mellan yttertakets och isoleringen tar upp denna kyla och för in den direkt i hallen.

Är även nattluften för varm stängs all ventilation av nattetid och motflödestaket nyttjas bara dagtid för att stänga ute utomhusvärmen enligt ovan. Ett cirkulerande luftflöde som kyls artificiellt kan sådana nätter användas för att kyla ner lokalerna till kommande dag och därmed reducera toppeffektbehovet för kyla dagtid. (Med dygnsdifferenterad eltaxa kan sådan "förråds kylning" nattetid vara mycket lönsam samtidigt som kylaggregatet kan göras mindre.)

d. Hallar med speciella krav

För s k renrumslokaler kan tilluften från motflödestaket ofta användas direkt utan ytterligare filtrering. Motflödesisoleringen har nämligen ytterligare en unik egenskap genom sin bestående, servicefria och ytterst effektiva förfiltrering av partiklar ur tilluftsflödet. Behövs absolutfiltrerad luft vid arbetsplatserna kan taket utföras med undre luftspalt och tät underyta för sluten avsugning och därefter förser med lämplig efterfiltrering innan luften förs fram till arbetsplatserna, se figur 4. (Taktlösningen är relativt billig och används i princip som standardlösning i småhus.)

För särskilt fuktiga lokaler (virkestorkar, pappers- och massaindustri, simhallar osv) väljs en något tjockare isolering och därmed ett lägre luftflöde för värmetäthet. Värmen i frånluftsflödet kan återvinnas i värmeväxlare eller med vp och återföras till hallen eller till annat ändamål.



Vidare minimeras ofrivillig ventilation t ex genom den extra goda lufttätning, som motflödestaket innebär. Om luftfuktigheten blir för hög kan tilluftsflödet genom taket ökas, avdunstningsskydd placeras över fria vattenytor när så är möjligt och/ eller ett avfuktningssaggregat kopplas in på cirkulerande rumsluft.

För lokaler i ökenområden eller i tropikerna innebär tekniken speciella fördelar. Dessa tillämpningar faller dock utanför detta projekt.

För kylhus krävs också speciell uppbyggnad och arbetssätt. Även denna tillämpning faller utanför detta projekt.

#### 4.2 Uppvärmning

Motflödeshallar ställer inga särskilda krav på uppvärmning. Konventionell teknik är fullt tillämplig. Vissa särdrag finns dock som öppnar nya möjligheter. Värmebehovet t ex sjunker väsentligt genom det värmetäta taket. Samtidigt är all värme kvar i frånluftsflödet. Den kan därmed tas tillvara i en värmepump (vp) med motsvarande, ytterligare minskat behov av köpt energi. Alltså både värmeåtervinning genom värmewäxling mellan tilluften och takets transmissionsvärme och mellan frånluftens värme och en vp. Det styrda luftflödet in genom taket hindrar vidare den oavsiktliga ventilationen ut genom taket samtidigt som det eliminerar den "värmekudde", som normalt bildas uppe vid tak. Det något svalare luftflödet motverkar hela temperaturstegringen från golv till tak och minskar därmed också den sekundärt förhöjda värmeförlusten genom taket och ytterväggarnas övre del. Vid vissa former av takvärme ökar värmekudden och därmed förlusterna genom ytterligare förhöjda taktemperaturer. Motflödestaket saknar dessa begränsningar. I många fall kan motflödestaket klart förbättra både effekten och ekonomin med takvärme. (Se även dubbeltaket, figur 16.)

Effektbehovet minskar i motflödeshallar med ökande andel takyta i förhållande till väggytan. Det värmetäta taket reducerar erforderlig effekt med cirka en femtedel redan vid hallstorlekar på 500-700 m<sup>2</sup>.

Även andra delar av uppvärmningssystemet påverkas positivt. Aerotemperar eller vanliga radiatorer vid yttervägg kan med fördel användas. Behövs t ex ett extra tilluftsflöde - utöver vad man vill ta in genom motflödestaket - kan detta flöde enkelt tas in direkt utifrån via aerotemperar i ytterväggarna. (De kan då värmas direkt med el eller via vatten från t ex vp eller med en kombination av brinevätska från värmewäxlare på frånluften med vatten från ackumulator eller på annat lämpligt sätt.)

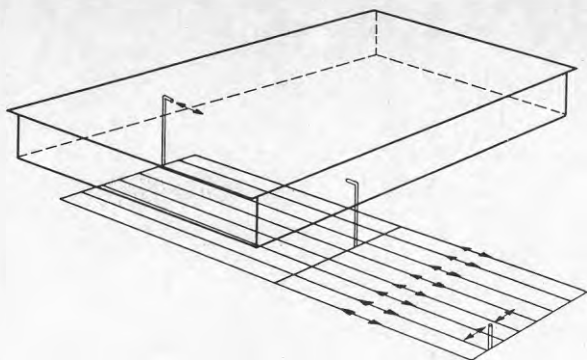
I flertalet hallar kan det vara oekonomiskt med en större vp än vad som krävs för att återvinna värmen ur den frånluft, som motsvarar tilluften genom taket och den oavsiktliga ventilationen. Vid behov av ytterligare ventilation- och värmeåtervinning kan då uppvärmningsekonomin förbättras, när så är önskvärt, med konventionella värmeväxlare.

Finns gynnsam natttaxa för el kan nattackumulering vara av värde, särskilt i hallar som bara används dagtid och då med relativt stort ventilationsbehov. (Ackumulering nattetid i byggnadsstommen kan i många fall vara lönsammare än ackumulering i särskilda vattentankar.) Ett annat skäl för nattackumulering är de möjligheter den ger till lönsam minskning av uttagen toppeffekt under höglasstid. Denna avgiftssänkning kan i många taxeområden vara av samma storleksordning som kostnadsminskningen från energibesparingen med motflödesisoleringen.

Som komplement till vp och ibland som alternativ till ackumulatortank kan en modern gas- eller oljepanna (Eo 1) med låg avgastemperatur installeras. (Man bör också undersöka om inte vp kan drivas med bränsle i stället för el, åtminstone vid en planeringshorisont efter mitten av 90-talet. Ökade fördelar med den typen av vp förutses redan nu i samband med kommande kärnkraftsavveckling.)

Dynamisk isolering bidrar inte till ökad användning av fjärrvärme. Tvärtom reducerar motflödesisoleringen en stor del av hallens värmebehov och detta sjunker ytterligare kraftigt genom att frånluftsvärmepump kan installeras. I flertalet motflödeshallar torde t ex värmestillskott från eventuell fjärrvärme bli begränsat till endast någon månad/år. I hallar med förhöjd inre värmeproduktion, sjunker fjärrvärmeuttagen ytterligare till bara några tiotals dygn/år. Sannolikt blir enbart kulvertförlusterna i dessa fall långt större än nyttiggjord värme. Likaså torde investeringskostnaden för fjärrvärmeanslutningen i flertalet fall bli större än investeringskostnaden för en egen spetsvärmeproduktion enligt ovan.

Ytterligare ett sätt att minska toppeffektbehovet i hallar med större tillfälligt ventilationsbehov än vad som är optimalt att ta in genom taket, är att på särskilt sätt, se FIGUR 17, lägga ner kanaler i marken och eventuellt även under hallgolvet genom vilka den extra tilluften tas in vid sträng kyla. Nattetid kan de tillföras ny värme från reducerad avluftsventilation. Används kanalerna bara vid låga utetemperaturer räcker värmekapacitetstillskottet väl till från omgivande mark även i norra Sverige.



FIGUR 17. (Variant av extra tilluftsledning)

I områden med utetemperaturer i medeltal över  $+ 0^{\circ}\text{C}$  under uppvärmningssäsongen kan den extra tilluften kontinuerligt tas in genom dessa jordkanaler. När så temperaturen utomhus stiger över marktemperaturen (i april-maj) kan intaget ändras så att den extra tilluften tas in direkt utifrån, för att så under högsommaren, vid kylbehov, på nytt tas in genom jordkanalerna. På detta sätt kan vintertid både toppeffektbehovet kapas och viss energi sparas. Senare kan samma kanaler sommartid tillsammans med motflödestaket, bidra till att eliminera eller starkt reducera behovet av artificiell kyla.

Det extra tilluftsflödet vintertid kan också med god värmeekonomi långt före april-maj tas in soliga dagar genom taket. Ett snöfritt yttertak fungerar då som en betydande solfångare och kan, även vid utetemperaturer under  $0^{\circ}\text{C}$ , värma ingående tilluft till 30 å  $40^{\circ}\text{C}$ . Ett värmetillskott, som denna årstid minskar värmebehovet inne i hallen i motsvarande grad.

## 5 DISKUSSION AV EGENSKAPER

5.1 Allmänt

För att lättare kunna jämföra ett antal olika egenskaper hos motflödeshallar med motsvarande egenskaper hos konventionellt byggda hallar, görs här en begränsad jämförelse mellan tre exempel av hallbyggnader, A-C. De valda exemplen gör inte anspråk på att representera en majoritet av mest lämpade motflödeshallar, utan syftar bara till att klargöra några olika egenskaper, som kan vara av principiellt intresse vid potentiella motflödeshallar.

Byggnad A förutsätts vara en industrihall med en intern värmeproduktion under arbetstid på  $25 \text{ W/m}^2$  och med en ventilation av 2 oms/h under 9 h dagtid samt 0,2 oms/h övrig tid. Den har en begränsad uppvärmning enligt SBN till ca  $+10^\circ\text{C}$  vintertid, alltså ca  $35\,000 \text{ }^\circ\text{Ch/år}$ , när den interna värmeproduktionen har frånräknats.

Byggnad B är en hall för lättare industri med en intern värmeproduktion på cirka  $10 \text{ W/m}^2$ . Ventilationen är begränsad till 1 oms/h under 9 h dagtid och 0,2 oms/h övrig tid. Uppvärmning sker vintertid enligt SBN till mellan  $+10^\circ\text{C}$  och  $+18^\circ\text{C}$ , eller ca  $75\,000 \text{ }^\circ\text{Ch/år}$ , när den interna värmeproduktionen har frånräknats.

Byggnad C är avsedd för handel, viss offentlig verksamhet e d. Den interna värmeproduktionen uppgår till cirka  $10 \text{ W/m}^2$ , ventilationen är 1 oms/h under 14 h dagtid och 0,2 oms/h övrigt tid. Lokalen värms vintertid till över  $+18^\circ\text{C}$  ( $20^\circ\text{C}$ ), eller ca  $90\,000 \text{ }^\circ\text{Ch/år}$ . Den kyls sommartid till  $3^\circ\text{C}$  under utetemperatur. Uteluftsflödet begränsas då till 0,3 oms/h. Hallen nyttjas veckans alla dagar.

Alla tre byggnaderna isoleras enligt SBN 1980. Åtskillnad görs endast beträffande taken. De konventionellt isolerade hallarna utförs med tak med k-värden enligt SBN (alltså 0,40, 0,30 respektive  $0,20 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$ ). Deras mekaniska ventilation är helt avstängd under icke arbetstid.

Vid alternativet dynamisk isolering ersätts den konventionella isoleringen över hela takytan med 145 mm motflödesisolering. Hallens tilluftsflöde förs genom motflödesisoleringen. I den konventionella hallen tillförs uteluften med ett separat tilluftssystem från kanaler och don i taknivå över hela hallytan.

Hallstorlek 20x50 med 5 m takhöjd

Ytterväggsyta Totalt  $700 \text{ m}^2$  varav  $100 \text{ m}^2$  2-glas-  
yta i hall A och B samt  $200 \text{ m}^2$   
3-glasyta i C

Otätthetsfaktor	2 oms/h vid 50 Pa (Den oavsiktliga ventilationen blir därmed i den konventionella hallen $> 0,1$ oms/h).
Temperaturzon	Stockholmsområdet
Energipris	30 öre/kWh

#### Förändring av värmebehovet i respektive hall

Transmissionsfaktorn (T) för golv, väggar och fönster antas lika i de båda alternativen. För taket reduceras T under dagtid i motflödeshallarna med nära 100 % (eller i A med ca  $400 \text{ W/}^\circ\text{C}$ , i B med  $> 250 \text{ W/}^\circ\text{C}$  respektive i C med  $> 150 \text{ W/}^\circ\text{C}$ ). Nattetid blir reduktionen ca 300, 200 respektive  $100 \text{ W/}^\circ\text{C}$  i vardera hallen.

Ventilationsfaktorn (V) ändras mellan alternativen endast nattetid. I de jämförande, konventionella hallarna stängs då den mekaniska ventilationen helt av, varför bara den oavsiktliga ventilationen kvarstår (i regel mellan  $0,1$  till  $0,3$  oms/h). I motflödeshallarna däremot bibehålls ca  $0,2$  oms/h mekanisk undertrycksventilation enligt ovan för att, dels hindra den oavsiktliga ventilationen, dels bibehålla ett lågt  $k_{\text{dyn}}$ -värde i taket.

Förändringen av värmebehovet mellan de två alternativen blir lika med summan av det sammanlagda värdet av T och V för respektive hall.

## 5.2 Energifördelar

### 5.21 Minskad värmetransmission

K-värdena sjunker dagtid enligt ovan till nära  $0 \text{ W/m}^2\text{K}$  för taken i alla tre motflödeshallarna /5/. Nattetid vid luftflödet  $0,2$  oms/h uppstår dock en viss restförlust på  $< 0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ , lika för A-C. (När ventilationsförlusten har dragits ifrån den samtidiga transmissionsvinsten i taket och de konventionella hallarnas större ofrivilliga ventilation har beaktats, blir dock restförlusten nattetid närmast försumbar.)

Värdet av besparingen blir därmed:

Värmetransmissionen för det konventionella taket minus den för motflödestaket eller reduktionen av k-värdet (utjämnat över dygnet)  $\times \text{ }^\circ\text{Ch/år} \times 10^{-3} \text{ kWh} \times 0,30 \text{ kr/kWh}$ , vilket blir

hall A:	$> 3:50 \text{ kr/m}^2$ och år
hall B:	$> 5:40 \text{ kr/m}^2$ och år
hall C:	$4:30 \text{ kr/m}^2$ och år



## 5.22 Minskad oavsiktlig ventilation

Normalt avgår den oavsiktliga ventilationen i de konventionella hallarna i huvudsak genom taket /4/. (Drivkrafter är temperaturdifferensen mellan inne och ute, vindsug på taket, genomblåsning på grund av öppna portar o d).

Motflödestaket däremot påförs ett styrt övertryck mellan tak och isolering ner mot hallen, varvid det oavsiktliga läckflödet upp genom taket kan elimineras.

För varje 0,1 oms/h som den oavsiktliga ventilationen minskar uppstår följaktligen en motsvarande besparing. För 0,1 oms/h blir besparingen, baserad på hallens genomsnittstemperatur:

0,1 x rumshöjden x °Ch/år x 0,33 W x 10<sup>-3</sup> kWh x 0,30 kr/kWh, eller för hall

A: ca 1:70 kr/m<sup>2</sup> och år  
 B: " 3:70 kr/m<sup>2</sup> och år  
 C: " 4:50 kr/m<sup>2</sup> och år

(Den oavsiktliga ventilationen kan också hållas tillbaka i en konventionell hall med t ex F-ventilation. Man måste dock numera avstå från en sådan möjlighet, då den bl a inte ger tillfredsställande tilluftsflöde i hela hallen. F-ventilation innebär därtill ingen energibesparing).

## 5.23 Utebliven temperaturskiktning mellan golv och tak (värmekuddeeffekten)

I statistiskt isolerade byggnader ökar temperaturen från golv till tak med 1 à 1,5°C/m. Denna temperaturhöjning uteblir vid motflödestak /9/. Detta innebär t ex redan vid 5°C lägre taktemperatur följande tilläggsbesparingar:

### a. Ytterligare minskad värmetransmission genom taket

Utöver besparingen under .21 ovan ökar energibesparingen i var och en av de tre halltyperna med ungefär 0:40, 0:50 respektive 0:30 kr/m<sup>2</sup> och år.

### b. Ökad vinst av minskad oavsiktlig ventilation

Besparingsvärdena under .22 ovan kan räknas upp med ca 2:10, 2:50 respektive 2:80 kr/m<sup>2</sup> och år.

### c. Minskad värmetransmission genom hallens väggar

Transmissionsförlusterna genom övre delen av ytterväggar och fönster minskar i proportion till den lägre rumstemperaturen. Denna besparing blir ca 0:70, 0:90 respektive 0:90 kr/m<sup>2</sup> och år.

Sammanlagda energibesparingen av utebliven "värmekudde" under taket blir därmed för de tre halltyperna ca 3:20, 3:90 respektive 4:- kr/m<sup>2</sup> och år.



5.24 Ökat tillskott av solvärme

Databeräkningar visar på 5-20 % extra värmertilskott vintertid från solen till motflödeshallens uppvärmning /10/. Här är det av betydelse att yttertaket kommer i direkt kontakt med luftflödet och att yttertaket är tätt (papp på panel eller papp på betong eller väl tätad plåt).

Beroende på takmaterial och halltyp sjunker värmeförbrukningen med < 1-2 kr/m<sup>2</sup> och år vid 5 % besparing och med < 5 à 7 kr/m<sup>2</sup> och år vid 20 % besparing. (Den kylning av yttertaket, som sker genom rymdutstrålning nattetid under uppvärmningssäsongen, är medräknad i nämnda %-värden).

## 5.25 Reducerat kylbehov sommartid (gäller hall C)

Genom reversering av luftflödet genom taket kan solvärmeinläckningen där elimineras. Åtgärden innebär också lägre investeringskostnader genom att erforderlig kyleffekt sjunker. I många fall kan särskilt kylaggregat slopas (se även under.32 nedan).

## 5.26 Värmeutjämnande inlagring i golv och mark

Hela värmeinnehållet i avluftsflödet är kvar för valfri värmeåtervinning vid motflödestak. Dagtid kan t ex frånluften under vinterhalvåret föras ut via kanaler i golvet och där avge en del värme för att därefter till en värmepump (vp) avge resten av sin värme före den tillförs det fria. Nattetid kan så rumstemperaturen tillåtas sjunka och en reducerad ventilation genom taket föras förbi golvkanalerna direkt till vp och ut samtidigt som lokalen passivt tillförs strålnings- och konvektionsvärme från det delvis under dagen frånluftsvärmda golvet (se figur 15). Nästa dag sker ny inlagring osv.

Liknande värmeekonomiska utjämnung och därmed besparing kan inte ske i samma utsträckning vid den FTX-ventilerade hallen på grund av att avluftsvärmen där kommer att förbrukas mot tilluften i en värmeväxlare. (Sådan FTX ger ej heller något varmvatten).

Samma kanaler och motflödestak kan sommartid användas vid kylbehov. Vp har därtill fördelen mot värmeväxlare att den sommartid kan ställas om till aktiv komfortkyla, se även .32 nedan.

## 5.27      Kommentar

Givetvis kan en bra värmeväxlare användas i en alternativ hall utförd på konventionellt sätt. En sådan växlare ger dock betydligt lägre besparing än vad en frånluftsvärmepump (vp) ger.

Vidare ger en vp tappvarmvatten året om med värmefaktor över 3,5 (mot < 1 för vanlig varmvattenberedare i FTX-hallen). Värmeväxlaren påverkar därtill inte punkterna .21-.25 ovan, varför en konventionell hall med värmeväxlare, trots att denna lösning är bästa alternativet till motflödeshall med vp, ligger långt efter motflödeshallen beträffande både energibesparing och driftkostnadsreducering.

## 5.28      Sammandrag

Kostnadsbesparingarna uppgår på energisidan enligt ovan för halltyperna A-C ca 9:-, 13:- respektive 13:- kr/m<sup>2</sup> och år. Med rätt utnyttjning av solvärmestillskottet kan besparingen stiga ytterligare, och för hall B och C till närmare eller över 20 kr/m<sup>2</sup> och år.

Dessa besparingar skulle därmed kunna amortera av en merinvestering på drygt 50 kr per m<sup>2</sup> för hall A och ungefär 100 kr/m<sup>2</sup> för hall B och C. Denna lönsamhet gäller exklusive de ytterligare besparingar och miljöfördelar, som tas upp nedan.

5.3      Investeringsfördelar

## 5.31      Lägre byggkostnad

Den sammalagda kostnaden för tak- och tilluftsinstallationen kan i regel bli lägre i motflödeshallar än för konventionellt isolerade och ventilerade hallar. (Detta gäller i vissa fall även halltyp A). Hur mycket lägre beror på vald isoleringstjocklek och takutförande, ventilationens omfattning, komfortkrav etc. Vid samtal med branschen har bedömts att sänkningar av totalkostnaderna med några 10-tals kr/m<sup>2</sup> torde vara fullt möjliga åtminstone för halltyperna B och C. Därutöver inskränker sig vanligtvis motflödeshallens kostnader för tilluftssystemet till endast en fläktinstallation per ca 1 000 m<sup>2</sup> takyta, vilket stannar på ca 3:- kr/m<sup>2</sup>. Det innebär några 10:or mindre per m<sup>2</sup> än vad tilluftssystemet normalt kostar i en konventionell hall.

Några nya utföranden av motflödestak visades tidigare i figurerna 5-14. Flera av dessa får en lägre produktionskostnad än konventionellt isolerade tak. Till denna besparing adderas så kostnaden för det utblivna tilluftssystemet, som har ersatts av taket i motflödeshallarna.

### 5.32 Lägre eller inga kostnader för komfortkylanläggning

Reverseras luftflödet genom taket sommartid sjunker hallens totala kyleffektbehov. Det reverserade luftflödet kan helt stoppa värmetransmissionen utifrån och in genom taket.

Motflödestaket kan också bidra med direkt kylning av hallen genom att fullt luftflöde nattetid förs genom taket in i hallen. Därigenom utnyttjas både den svala nattluften och den kylning av takytan som sker klara nätter genom utstrålningen mot rymden (jfr 4.11c ovan). På så sätt kyls hallen ut under natten till en låg morgontemperatur. Båda effekterna är betydande och kan i många fall ersätta övrig komfortkyla.

Väljs en vp som är omkopplingsbar till kyl drift, kan den enkelt svara för den eventuella extra kyleffekt, som kan krävas utöver vad motflödestaket och nattkylningen kan ge. (Hallens aerotemperatur kan då t ex dagtid användas till att föra ut kyleffekten från vp.) Betydande kostnadsbelopp för separat kylinstallation kan därmed inbesparas i hallar typ C. I vissa fall kostnader på många tiotals kronor per kvadratmeter.

### 5.33 Lägre kostnader för uppvärmningsanläggningen

Effektbehovet sjunker och därmed i regel också effektavgifterna genom energifördelarna enligt ovan. Detta sänker både anslutningskostnaden och årliga effektavgifter för själva värmeinstallationen. Kostnadsminskningar med upp till ett 10-tal kr/m<sup>2</sup> kan bli möjliga.

### 5.34 Inga extrakostnader för bullerabsorbktion

Motflödestaket kan utföras så att bullerabsorbktionen t o m blir bättre än vid ett baffeltak, som i sig kan kosta flera 10-tal kr/m<sup>2</sup>. (Utöver kostnaderna i sig för bafflar i tak minskar de effektiva takhöjden mellan takstolarna, vilket inte sker vid ett normalt motflödestak .

### 5.35 Betydande utvecklingspotential

Såväl tekniken i sig med dynamisk isolering som alla dess tillämpningar är ännu bara i början av sin utveckling. Stora förbättringar och även nya möjligheter kan därför förväntas vid en bred tillämpning av tekniken.

Vidare utgör tekniken normalt inget hinder för kombinationer med andra, komforthöjande eller energisparande komponenter.

#### 5.4 Miljöfördelar

##### 5.41 Damm- och partikelfri tilluft

Tilluftsflödet genom motflödesisoleringen renfiltreras från partiklar utan risk för igensättning, krav på filterbyten och framtida servicebehov /6/. (Viss positiv verkan finns troligen även på joner, ozon och vissa luktande gaser, t ex sulfitulukt, men dessa effekter har ännu inte opartiskt verifierats).

##### 5.42 Dragfritt tilluftsflöde

Även mycket stora tilluftsflöden kan tillföras hallen utan att något drag uppstår. Exempelvis 2 oms/h ger vid 5 m takhöjd bara en impulshastighet på knappt 3 mm/s direkt under motflödestaket. Detta är mer än 70 gånger under Planverkets kriterium för drag = 0,2 m/s. (Större ventilationsbehov än 2 oms/h är osannolika om ventilationen är väl utförd; t ex genom att föreningarna tas om hand direkt vid källan med effektiva punktutsug.)

##### 5.43 Tysta tilluftssystem

Normalt placeras motflödesfläkten utomhus på taket ovanför såväl yttertaket som motflödesisolering. Detta tillsammans med lågt luftmotstånd (endast några 10-tal Pa) och därmed lågvarviga fläktar, innebär ljudnivåer under hörbarhetsgränsen vid arbetsplatsnivå inne i hallen.

##### 5.44 Lokalkylning sommartid (se även under .32 ovan)

Byggnader med motflödestak kan enkelt kylas på många olika sätt. Här några exempel:

- a. Takfläkten stoppas. På så sätt går genom självdrag ett begränsat reverserat flöde från hallen upp genom taket, ut mot solvärmens. (Ger viss begränsad effekt.)
- b. Takfläkten reverseras, varvid värmethet lätt kan uppnås mot utomhusvärmens. (Ger full effekt,  $k_{dyn} = 0 \text{ W/m}^2\text{K}$ .)
- c. Samma som a eller b kombinerat med full ventilation nattetid varvid lokalen kyls både av den kallare uteluften och av förekommande utstrålning från taket. (Se bl a .32 ovan.)
- d. Åtgärderna b och c kompletteras med att hallens vp används för kylning. (I första hand dagtid, men vid mycket stora kylbehov även nattetid.)
- e. Hallen kan också förses med speciella jordförlagda tilluftskanaler, som sommartid används för kylning av tilluftsflödet. (Samma kanaler kan vintertid användas enligt 4.2 ovan för att bl a minska motflödeshallens effektbehov).

## 6 SLUTSATSER

### 6.1 Projektering

Av avsnitten ovan framgår att tekniken öppnar nya möjligheter till billigare konstruktioner, nya installationskombinationer samt bl a en betydande energibesparing och intressanta komfortfördelar.

Med ett nytt samarbete mellan stomkonstruktör och vvs-konsult bör de "bästa" lösningarna för varje halltyp kunna tas fram. (En sådan samordning torde därtill i sig innebära såväl ytterligare fördelar som nya möjligheter till besparingar).

Visst arbete har lagts ner på att hitta en lämplig väg till denna samordning av rådgivare och projektörer. En trolig "kungsväg" torde vara att tillämpningarna av tekniken marknadsförs av en utvecklingsinriktad exploatör, som inom sig har den berörda kompetensen på såväl stom- som installationssidan. Han tar då fram ett urval halltyper med genomarbetade stom- och installationslösningar, vilka passar både honom (halltillverkaren) och byggherren (nyttjaren). Det blir på så sätt möjligt att utforma en "bästa" lösning för båda parterna. En annan exploateringsväg är att olika konsulter går samman i en samsarbetsgrupp, som i direkt samarbete med olika hallbyggare utför kompletta bygghandlingar, såväl för blivande byggherrar som för fristående konsulter.

För att uppnå fullt genomslag på den potentiella marknaden krävs därutöver utökad säljinformation till beslutsfattarna hos de blivande byggherrarna. (All ny och okonventionell teknik måste givetvis under ett inledningsskede förklaras väl för köparna).

Enligt tillgänglig statistik är nybyggnadsmarknaden för aktuella hallar inom landet f n i storleksordningen 2 M m<sup>2</sup>/år. ROT-marknaden bedöms vara något större. Samtidigt finns därutöver ett ackumulerat renoveringsbehov av enbart tak i storleksordningen 10 M m<sup>2</sup>, som måste åtgärdas inom de närmaste åren. Även här torde den nya tekniken i många fall bli mycket intressant.



## 6.2 Ekonomi

Projektet omfattar inte en detaljerad utvärdering av kostnadsskillnaderna mellan konventionella hallar och motflödeshallar. En sådan utvärdering måste grunda sig på konventionella stomkomponenter i samverkan med anpassade och färdigutvecklade tak och installationer. Sådana direkt fabrikantanknutna, utvecklade lösningar saknas i dagsläget. Som en följd därav saknas också många av de kostnadsreducerande följd effekterna, som alltid uppstår den första tiden efter att en ny produkt har kommit i serieproduktion.

Vissa generella slutsatser kan dock dras på föreliggande material. Flera av de konstruktionsförslag, som har tagits fram av olika takutföranden med motflödesisolering, har i dag en kostnadsbild som visar på något lägre byggkostnad än motsvarande konventionella tak. Görs jämförelsen med tak, där också bullerabsorption krävs, blir produktionskostnaden klart lägre för motflödestaket.

Även kostnaderna för erforderlig ventilationsinstallation blir lägre. (I regel ersätts tilluftssystemet helt av motflödestaket). Däremot blir värmeåtervinning ur frånluftsflo det i flertalet fall dyrare med värmepump (vp) än med värmeväxlare (vx). Energibesparingen med vp blir dock större än med vx, varför en vp-lösning oftast ändå blir den totalt lönsammaste investeringen.

Vad beträffar driftkostnaderna blir de också lägre för motflödeshallarna. Totalekonomin blir därmed oftast klart bättre. Det är dock enligt ovan inte möjligt att i dagsläget generellt fastställa exakt hur mycket. Utöver dessa direkta besparingar bör man addera marknadsvärdet av motflödeshallarnas komfort- och miljöfördelar, där några t o m är unika.

Sammanfattningsvis gäller därmed, att investerings- och driftskostnaderna tillsammans i regel blir klart lägre än för den konventionella hallen. Därutöver har motflödeshallen en rad ytterligare fördelar av bl a komfortkaraktär, vars värde också är betydande, men som kan variera från nyttjare till nyttjare. Tekniken är emellertid högst okonventionell och ny, varför en bred tillämpning, trots fördelarna, avsevärt kan fördröjas på grund av att byggbranschen är en mycket konservativ bransch.

Avslutningsvis kan tilläggas att detta projekt endast i stora drag har bearbetat de möjligheter, som kan uppnås med tekniken och inte närmare gått in på hur de olika exploitörerna skall utforma sina tillämpningslösningar och marknadsbearbetning. Detta senare arbete bör dock snarast påbörjas. Det kan förslagsvis ske med utgångspunkt från ett urval av befintliga tekniska lösningar och här nämnda egenskaper och möjligheter hos den nya tekniken.



- 7 LITTERATUR
- 1 Undersökning av luftgenomströmmad isolering, Institutionen för uppvärmning och ventilationsteknik, KTH, rapport 1974
- 2 Gunnar Anderlind, Bengt Larsson  
Motflödestak - en ny konstruktionsprincip, Väg- och vattenbyggaren nr 11, 1977
- 3 Torgny Thorén  
Dynamisk isolering, STU-information nr 76, 1978
- 4 P O Nylund  
Tjyvdrag och ventilation, BFR-rapport T4:1979
- 5 Gunnar Anderlind, Bernt Johansson  
Dynamisk isolering, Teori för värmeisolering som genomströmmas av gas eller vätska, BFR-rapport R162:1980
- 6 Anders Jansson  
Mätningar av dynamisk isolerings filtrerande förmåga, Arbetarskyddsstyrelsens arbetsmedicinska avdelning, 1981. (Opublicerad uppdragsrapport)
- 7 C-A Boman, Mats Matsson  
Provhus med dynamisk isolering, Mätningar, BFR-rapport R142:1981
- 8 Torgny Thorén  
TT-småhussystem, BFR-anslag nr 810137-6 (rapport 1983, tillgänglig genom Byggdok)
- 9 David Södergren, Axel Fagerstedt  
Dynamisk isolering, ventilationstekniska beräkningar, BFR-rapport R34:1984
- 10 Engelbrekt Isfelt  
Halltak av betong med dynamisk isolering. Resultat av BRIS-simuleringar, AB Strängbetong 1984 (KTH, institutionen för uppvärmning och ventilation, opublicerad uppdragsrapport)
- 11 Lennart Stenkvist  
Dynamisk isolering i golv och tak, BFR anslag 831283-3 (rapport 1985, tillgänglig genom Byggdok)
- 12 Tor-Göran Malmström  
Ventilations- och luftbyteseffektivitet, VVS & Energi 10/85

Ett antal patent, knutna till tekniken, har beviljats i både Sverige och utlandet. De första ansökningarna lämnades in redan 1964.

