



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

R81:1983

Tilläggsisolering av tak

Problem, erfarenheter och möjligheter

Bengt-Åke Petersson

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac

ser

R81:1983

TILLÄGGSISOLERING AV TAK
Problem, erfarenheter och
möjligheter

Bengt-Åke Petersson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
811780-7 från Statens råd för byggnadsforskning
till CTH, avd för Husbyggnadsteknik, Göteborg.

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

R81:1983

ISBN 91-540-3976-2
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
LiberTryck Stockholm 1983

FÖRORD

Föreliggande arbete är en förstudie till forskningsprojekt om tilläggsisolering av tak, med särskild hänsyn till fukt- och värmeströmningsproblem. Studien har i första hand avsett tilläggsisoleringar av tak till bostadshus och liknande byggnader, men kan i många fall även gälla för tak till industribyggnader och lagerlokaler, då förutsättningarna är desamma.

Forskningsarbetet är utfört vid Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg, avd för husbyggnadsteknik. Statens råd för byggnadsforskning har ställt ekonomiska medel till förfogande. Projektledare är tekn dr Bengt-Åke Petersson. Till projektet är knutet en referensgrupp bestående av representanter från andra forskningsinstitutioner och från industri och konsultverksamhet inom byggnads- och takbranschen. Under arbetets gång har referensgruppen sammanträtt sex gånger under 1982-83. Värdefulla synpunkter och bidrag har därvid tillförts projektet. I rapporten har överingenjör Sune Nilsson bidragit med kapitel 4.2. I kapitel 5 har också tekn dr Ingemar Samuelsson och överingenjör Sune Nilsson medverkat.

Referensgruppen har följande sammansättning:

Lars-Erik Larsson, professor	CTH, avd för husbyggnadsteknik, Göteborg
Ingemar Höglund, professor	KTH, inst för byggnadsteknik, Stockholm
Ann-Charlotte Andersson, docent	LTH, inst för husbyggnadsteknik. Lund
Ingemar Samuelsson, tekn dr	Statens provningsanstalt, Borås
Bengt Axen, ingenjör	Svenska Riksbyggen AB, Stockholm
Sune Nilsson överingenjör	Takrådet, Malmö
Hans Vinberg, tekn lic	Korrugal, Finspång
Bertil Pettersson, forskningssekr	Statens råd för byggnads- forskning, Stockholm

Arbetet som utförts under relativt kort tid, har möjliggjorts genom ett välvilligt bemötande från fackmän inom byggnadsbranschen i en genomförd inventering, samt ett värdefullt samarbete med referensgruppen, till vilka härmed framföres ett varmt tack. Ett särskilt tack riktas till Gunvor Nilsson som skrivit manuskriptet och till Jaakko Hämläinen som ritat figurerna.

Göteborg, mars 1983

Bengt-Åke Petersson

REFERAT

Tilläggsisolering av vindsbjälklag och tak är en mycket lönsam energibesparingsåtgärd. Det har också utförts, om än i begränsad omfattning. Man har dock i en del fall funnit att resultatet i form av energibesparing ej svarat mot uppställda förväntningar. Åtgärden har i vissa fall dessutom förorsakat sekundära skador i form av fuktskador, mögel- och rötangrepp, sönderfrysning av vattenledningar etc. Dessa erfarenheter av otillfredsställande funktion tyder på brister i konstruktionslösning eller utförande.

Därför är det angeläget att ingående studera olika tilläggsisoleringars funktion, såväl teoretiskt som i praktiken, för att så väl som möjligt besvara frågeställningen:

Hur skall en tilläggsisolering utföras, så att största möjliga energibesparing erhålles, samtidigt som inga följdskador uppstår.

Denna förstudies inventering av tilläggsisoleringar har gjort det möjligt att sammanställa olika tilläggsisoleringsalternativ samt därmed sammanhängande problem. Arbetet belyser erfarenheter från praktiken, beskriver fysikaliska samband för fukt- och värmeförhållanden i tak och hur olika tilläggsisoleringsutföranden förändrar dessa, samt tar upp energibesparingsmöjligheter.

Teoretiskt kan ekvationer ställas upp för takens värme- och fuktbalans före och efter tilläggsisolering. Flera av de parametrar som styr dessa är dock ännu ej tillräckligt utredda, varför funktionen ej kan förutses i önskvärd grad. Det kan gälla okunskap om konstruktioners faktiska utförande, boendevanor och verksamheter i bostadsutrymmen och lokaler, och materialegenskaper.

Utgående från denna kunskapsöversikt beskrivs aktuellt forskningsbehov inom tilläggsisoleringstekniken för tak.

INNEHÅLL

1	INLEDNING	8
2	BYGGNADSFYSIKALISKA FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR TILLÄGGSISOLERING AV TAK	10
2.1	Taks funktion. Allmänt	10
2.2	Beräkning av värme- och fuktförhållanden	17
2.3	Klimatförändringar i taket pga tilläggs- isolering	39
2.4	Röta och andra svampskador	50
3	ENERGIBESPARINGSMÖJLIGHETER GENOM TILLÄGGS- ISOLERING AV BEFINTLIGT TAKBESTÅND	53
3.1	Takbestånd och dess värmeisolering. Branta och låglutande tak	54
3.1.1	Omfattning av flacka tak med papptäckning och annan yttäckning	62
3.2	Energibesparingspotential	63
3.3	Fastighetsägares motiv för tilläggsisoleringar .	66
3.4	Exempel på energibesparingar genom tilläggs- isolering	69
4	INVENTERING AV UTFÖRD OCH PLANERAD TILLÄGGS- ISOLERING AV TAK	75
4.1	Exempel på tilläggsisoleringar och problem	75
4.2	Redovisning av utförda försök med utvändig tilläggsisolering av låglutande tak	89
4.3	Byggnadstekniska erfarenheter från utförda tilläggsisoleringar	96
5	SAMMANFATTNING	104
6	FÖRSLAG TILL FORSKNINGSINSATSER	118
	REFERENSER	122
BIL. 1	Sammanställnign av befintliga bjälklags och yttertaks k-värden, enligt Industri- gruppen för Lätt Byggeri	129
BIL. 2	Bjälklagskonstruktioner i befintligt bostads- bestånd, enligt Swedisols skrift "Det lönar sig att isolera mera"	133

1 INLEDNING

Allt sedan energikrisen i början av 1970-talet har man inom olika samhällssektorer strävat efter att skapa så energibesparande tekniska lösningar som möjligt. Inom byggnadstekniken har detta bland annat lett till ökade krav på värmeisolering och täthet i våra byggnaders omslutningsytor. Det har därmed stimulerat till lönsamma tilläggsisoleringsåtgärder i den befintliga bebyggelsen. En sådan åtgärd, som har visat sig vara särskilt lönsam, är tilläggsisolering av vindsbjälklag och tak, speciellt om detta göres i samband med övrigt renoverings- eller reparationsarbete.

Intresset för tilläggsisoleringar har även lett fram till delvis nya isoleringsmaterial och nya konstruktionslösningar.

Man har dock funnit i en del tilläggsisoleringsobjekt att resultatet av företagen åtgärd ej svarat mot uppställda förväntningar i form av reducerad energiåtgång. Dessutom har åtgärden i vissa fall förorsakat sekundära skador, i form av fuktskador, såsom mögel- och rötangrepp, sönderfrusna vattenledningar etc. Dessa oväntade resultat tyder på vissa bristfälligheter, antingen i form av en felaktig konstruktionslösning eller ett oriktigt arbetsutförande, eller bådadera.

Man konstaterar därmed att tilläggsisoleringstekniken, som egentligen är en relativt ny del av byggnadstekniken, inte i alla avseenden är tillräckligt utredd, speciellt när det gäller de byggnadsfysikaliska fukt- och värmeströmningsproblemen.

Därför är det angeläget att ingående studera olika tilläggsisoleringars funktioner, såväl teoretiskt som i praktiken, i syfte att så väl som möjligt besvara frågeställningen: Hur skall en tilläggsisolering utföras, så att

största möjliga energibesparing erhålles, samtidigt som inga följdskador uppstår.

Genom att i föreliggande arbete studera och sammanställa befintliga och nya tänkbara tilläggsisoleringsssystem för byggnaders tak, samt därmed uppenbarade eller möjliga problem, har det varit möjligt att skapa kännedom om den rådande situationen på tilläggsisoleringsområdet för tak- och vindsbjälklag. Utgående från dessa fakta anges angelägna forskningsområden. Dessa är av väsentlig betydelse för att nå bättre förståelse för den reella funktionen och därmed ge underlag för tillförlitliga konstruktions- och utförandeanvisningar.

Föreliggande rapport inleder med att beskriva funktionen för tak och beräkningsmodeller för värme- och fuktströmningsförlopp. Vidare beskrivs hur klimatet i taket förändras genom en tilläggsisoleringsåtgärd, KAP. 2. Därefter beskrivs i KAP. 3 möjlig energibesparing genom tilläggsisolering av befintligt takbestånd inklusive exempel på resultat från genomförda åtgärder. I KAP. 4 redovisas en inventering av utförda och planerade tilläggsisoleringar av tak med exempel på utföranden och problem. Speciella praktiska erfarenheter och därav uppställda krav på t ex arbetsutförandet på byggnadsplatsen tages upp.

Slutligen sammanfattas forskningsarbetet i KAP. 5, som avslutas med en beskrivning av tilläggsisoleringsmöjligheter i olika typer av takkonstruktioner och dess konsekvenser och eventuella osäkerheter för funktionen, samt i KAP. 6 med förslag till forskningsinsatser och notering om redan påbörjade forskningsprojekt.

I rapporten beskrivs tak med lutning $\leq 4^\circ$ som flacka tak, lutning $\leq 14^\circ$ som låglutande tak, och lutningar däröver som branta tak.

2 BYGGNADSFYSIKALISKA FÖRUTSÄTTNINGAR
FÖR TILLÄGGSISOLERING AV TAK

2.1 Taks funktion. Allmänt.

Taks primära funktion är att tillsammans med övriga omslutande byggnadsdelar ge ett acceptabelt rumsklimat för människor, djur, maskiner, lagrat material etc. Taket måste därför klara av såväl statisk och dynamisk belastning som klimatisk påverkan. Även om det yttre klimatskyddet är av största betydelse med hänsyn till takets orientering på byggnaden måste taket klara av inifrån påverkande klimat, såsom fukt, värme, lufttrycksdifferenser, etc. Andra påfrestningar är byggfukt, temperatur och fukt-betingade rörelser, ispåverkan, kemisk och biologisk påverkan, brandpåverkan, etc. Dessa påverkningar som mer eller mindre beror av varandra, kräver naturligtvis var och en sin särskilda uppmärksamhet vid konstruktion och

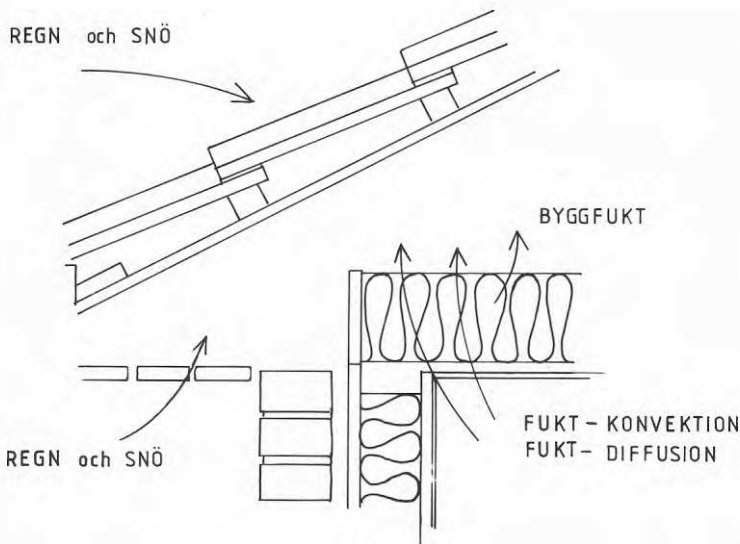
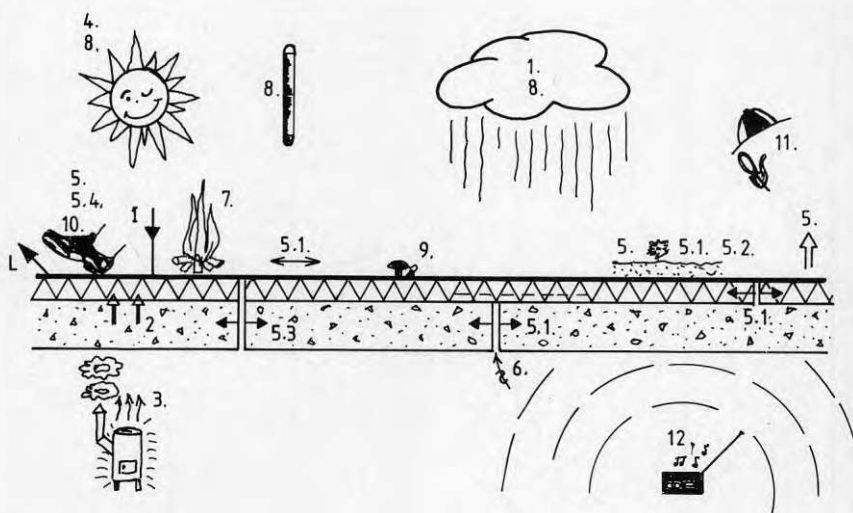


FIG. 2.1 Fuktbelastningar på en takkonstruktion

utförande av tak. Likaledes gäller detta vid ingrepp i färdig konstruktion, såsom vid t ex tilläggsisolering. Brister och ofullkomligheter i något av leden från konstruktion till färdigt utförande har i många fall förorsakat omfattande skador med kostsamma reparationsarbeten som följd.



- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1. Fukt utifrån | 5.3 Rörelsefogar |
| 2. Fukt inifrån | 5.4 Punktlaster |
| 3. Värmeväxling | 6. Luftrörelser |
| 4. Solinstrålning, I, långvågigt strålningsutbyte, L | 7. Brandpåverkan |
| 5. Statiska och dynamiska belastningar | 8. Klimatpåverkan |
| 5.1 Fukt- och temp.-betingade rörelser | 9. Biologisk påverkan |
| 5.2 Ispåverkan | 10. Slitage |
| | 11. Utseende |
| | 12. Ljudisolering och -absorption |

FIG. 2.2 Påverkningar och konstruktionsaspekter på tak. Hämtad ur Höglund & Nilsson (1981).

Takens lutning indelar taken i

- | | | |
|-----------------------------|--------|---------------------|
| - horisontella tak, lutning | < 1:40 | (< 1,5°) |
| lutande tak, | "- | ≥ 1:40 (1,5°) |
| • flacka tak | "- | 1:40-1:16 (1,5°-4°) |
| • låglutande tak | "- | 1:40-1:4 (1,5°-14°) |
| • branta tak | "- | > 1:4 (> 14°) |

Horisontella tak innebär risk för kvarstående vatten. Låglutande tak förutsätter att vatten inte blir stående på taket. På branta tak kan kvarstående vatten inte förekomma. Taklutningen påverkar alltså kravet på tak-täckningens täthet. Uppgifter om tätskiktmaterial med avseende på taklutningen kan hämtas ur HUS-AMA kap. L, M och N.

Man bör observera att angivna lutningar i programhandlingar o. dyl. syftar på teoretiska lutningar. Ett taks reella lutning, efter vilken verklig avrinning sker och därmed avvattningssystem med brunnar o. dyl. egentligen skulle dimensioneras, är alltid annorlunda och då ofta till nackdel för funktionen. Lutningen bör därför definieras som en förväntad lutning i bruksstadiet med hänsyn till deformationer och sättningar. Lågpunkterna bör alltså beräknas och anges av byggnadskonstruktören.

Med hänsyn till takens ventilation och termiska förhållanden indelas taken i kalla tak och varma tak. Därvid blir förutsättningarna för snösmältning och vattenavledning olika. Ett gränsfall mellan kall- och varmtak är parallelltaket. FIG. 2.3.



FIG. 2.3 Principiell skillnad i värmeströmning mellan kalltak, varmtak och mellanformen parallelltak.

Ett kalltak kännetecknas av att värmeflödet in i taket genom isoleringen till största delen förs bort genom en

ventilerad luftspalt eller ett ventilerat vindsutrymme. Värmeflödet ut genom yttertakets blir därför litet och förmår därmed inte smälta snö i någon nämnvärd omfattning. Inläckande fukt i taket förs bort med ventilationsluften. Om yttertakets kyls ned till en lägre temperatur än uteluftens, t ex under klara kalla vinternätter eller vid vissa hagel- eller snöfall, finns risk för att ventilationsluften förorsakar kondens på innerytan.

Exempel på kalltak är branta sadeltak med oinredd vind och uppstolpade tak på betongbjälklag. Yttertaktäckningen kan bestå av takpannor på läkt, takpapp, plåt etc.

Ett varmtak kännetecknas av att värmeflödet passerar huvudsakligen rakt igenom taket, dvs påverkas ej av någon ventilation eller endast av en liten sådan. Detta medför, även då isoleringen har ett stort värmemotstånd, att förutsättningar finns för snösmältning på takytan. Fukt in i taket måste förhindras, eller kunna magasineras i taket på sådant sätt att oskadlig fuktjämvikt upprätthålles. Eventuell byggfukt måste särskilt beaktas.

Exempel på varmtak är tak av lättbetong, träullsplattor, betong med utvändig eller invändig värmeisolering, och plåt med utvändig värmeisolering. Yttäckningen är ofta tätskikt av papp. Andra material kan vara plåt, gummiduk eller plastfolie.

Parallelltak, som kan anses vara ett gränsfall mellan kall- och varmtak, liksom andra liknande tak med litet, otillgängligt ventilationsutrymme, har en liten ventilationsspalt mellan värmeisolering och yttertak. Spaltens ventilationseffekt är därför begränsad, beroende på flera faktorer, såsom möjlighet för termisk drivkraft, spaltens storlek och utformning, etc. Därmed närmar sig takkonstruktionens funktion ofta varmtaket, vilket innebär värmeflöde genom taktäckningen och därmed förutsättningar för snösmältning, samt begränsad möjlighet för bortventilering av fukt i taket. Därför måste särskilt fukt- och värmeförhållanden beaktas vid parallelltak-

konstruktioner.

Branta tak över inredda vindar utgöres ofta av både en parallelltak-del i snedtaket och en kalltak-del över hanbjälklaget och ibland även bakom stödbensväggen, se FIG. 2.4.

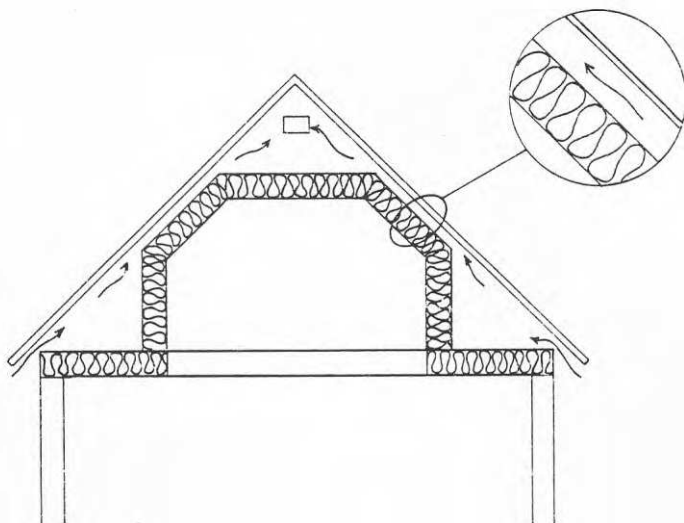


FIG. 2.4 En takkonstruktion som består av både kalltak och parallelltak.

Med hänsyn till takets tyngd delas tak in i lätta och tunga tak. Exempel kan vara ett utvändigt isolerat plåttak ($<50 \text{ kg/m}^2$) respektive ett utvändigt isolerat betongtak ($\approx 300\text{--}500 \text{ kg/m}^2$). Tyngden och därmed värmekapaciteten har stor betydelse för värmeströmningen genom taket, eftersom i praktiken utetemperaturen och även i viss mån innetemperaturen varierar med tiden. Genom värmekapacitetens inverkan omlagras värme i konstruktionen, vilket verkar utjämnande och fäsförskjutande på värmeströmningen genom taket.

På samma sätt har takets fuktkapacitet stor betydelse för fuktströmningen och fuktbalansen i taket. Ett klassiskt exempel på detta är lättbetongtaket, som på ovansidan är täckt med ett tätskikt av papp. Taket fungerar utan skador under normala förhållanden trots att kondens uppstår under den kalla årstiden. Orsaken är att fukten kan ackumuleras i taket under vintern och sedan torka ut nedåt under sommaren, se FIG. 2.5.

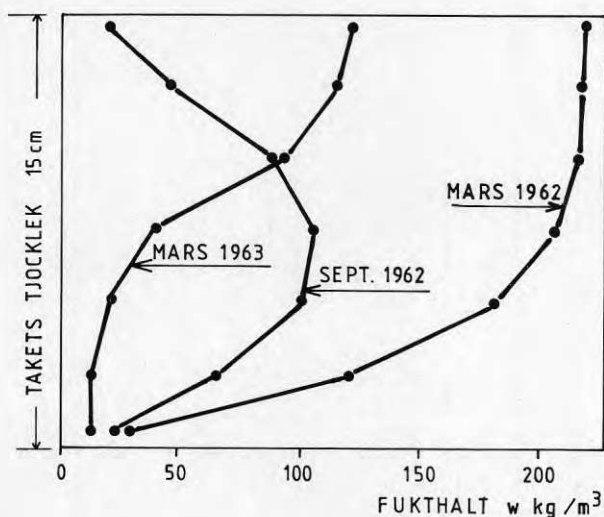


FIG. 2.5 Mätt fukthaltsfördelning vid tre olika tidpunkter i ett 15 cm gasbetongtak. Sandberg (1973).

Ovan beskrivna principer för taket att klara av fuktpåverkan inifrån, såsom bortventilering av inströmmad fukt i taket, magasinering av fukt i konstruktionen utan olägenhet eller fullständig tätning mot fukt in i konstruktionen, är inte alltid helt uppfyllda. Som följd härav uppstår ofta fuktskador.

Vetskapen om att föreskriven ångspärr i våra byggnaders tak inte kan vara fullständigt lufttäta och därmed ej heller ångtäta, med hänsyn till det praktiska utförandet på arbetsplatsen med förekomst av genomföringar o. dyl.,

gör alltså ventilationsutrymmet än mer betydelsefullt och nödvändigt för takets funktion, för att föra bort inifrån kommande fukt. Konstruktionens fuktkapacitet förmår dock att ackumulera viss begränsad fuktmängd.

I praktiken har man också funnit att fuktproblem i takkonstruktioner sällan beror på fuktdiffusion utan klart mer på fuktkonvektion, dvs fukt föres in i taket med inläckande luft. Anledningen till detta kan antingen ha varit att en från början tänkt tät konstruktion i praktiken varit partiellt öppen, exempelvis otäta skarvar mellan betongelement, eller helt enkelt att ångtätningen ej fullständigt täckt in aktuella ytor.

I Svensk Byggnorm (SBN) påtalas nödvändigheten av att byggfukt och inträngande fukt ges möjlighet att ventileras bort. Ventilationsöppningar föreskrives med total area av $0,2 \text{ m}^2$ per 100 m^2 bjälklagsyta, minsta bredd 20 mm och lämpligt fördelade. I vindsutrymmen med branta tak och trånga utrymmen godtas utsugningsöppningar i gavelspetsarna eller taknocken. Med hänsyn till i praktiken förekommande otätheter i vindsbjälklaget, är denna föreskrivna ventilation ej alltid tillräcklig för att nå torrt vindsklimat. Ökad ventilation leder dock ej helt säkert till förbättring, i det fall att åtgärden samtidigt medför ökad lufttryckdifferens över bjälklaget och därmed ökad fuktkonvektion till vindsutrymmet.

Med hänsyn till vattenavledning från tak skall enligt SBN yttertak förses med tillförlitliga anordningar för avledning av regn- och smältvatten. Om det finns risk för skador till följd av istappbildning eller igenfrysning av avloppen, skall taken förses med invändiga avlopp.

Då ett varmtak är täckt med snö, medverkar snötäcket i takets värmeisolering och förskjuter därmed nollisotermen i taket. Värmeströmmar genom taket kan därmed under vissa förutsättningar smälta snö närmast takytan. En del

smältvatten absorberas dock av snön, framförallt vid låga taklutningar under ca 1:20, resterande rinner av taket. Om taket är försett med invändigt avlopp, kan smältvatten ledas bort i detta eftersom det också är varmt. Om däremot taket är försett med utvändigt avlopp, måste eventuellt smältvatten passera takfoten, som är kall. Där fryser smältvattnet till is och bildar isvallar, som så småningom kan medverka till vattenläckage. Liknande förhållande råder i tak med liten ventilationsgrad, exempelvis parallelltak eller annat låglutande tak med litet ventilationsutrymme, där ventilationsluften är kall vid inloppet och uppvärmd en bit in i taket. Det medför kallare takyta ju närmare inloppet och takfoten den ligger. Härav följer krav på invändigt avlopp i låglutande varma tak och tak med liten luftspalt och låg ventilationsgrad.

I ett kalltak däremot med god ventilation är temperaturdifferensen över yttertak obetydlig, varför snö på taket knappast smälter av inifrån kommande värme, utan smälter pga uteklimatet. Det innebär att hela takytan inklusive utvändiga stuprör är varma samtidigt och vattenavledningen är möjlig.

2.2 Beräkning av värme- och fuktförhållanden

Värme- och fukttransporter beskrivs vanligen som potentialströmningar, dvs flödet är proportionellt mot en potentialgradient

$$g = - k \cdot \text{grad } P \quad \dots (2.1)$$

där g = transporterad mängd per tids- och ytenhet
 k = transportkoefficient (kopplad till P)
 P = potential

Vid värmetransport är temperaturen potential, och vid fukttransport är t ex ånghalten potential. För normalt tillämpade beräkningar i byggnadstekniska sammanhang

tages ingen hänsyn till värme- och fuktutbytets ömsesidiga beroende.

Värmetransport

Värmeledningen genom ett materialskikt beskrivs i sin enklaste form som

$$q = \lambda \frac{T_1 - T_2}{d} \quad (\text{W/m}^2) \quad \dots (2.2)$$

där värmeledningsförmågan λ ($\text{W/m}^\circ\text{C}$) är den gemensamma transportkoefficienten för ledning, strålning och konvektion samt även för fuktbetingad värmeöverföring. $(T_1 - T_2)$ är temperaturdifferensen över materialet med tjockleken d . Värmeledningsförmågan är dock icke konstant utan beror av fuktinnehåll och temperatur. Temperaturberoendet är dock litet, och fuktberoendet kan med tillräcklig noggrannhet anses konstant inom vissa intervall, varför λ ej behöver varieras, då det gäller beräkning av normala förlopp i byggnader.

Den fullständiga värmeledningsekvationen som beskriver tredimensionell icke stationär ledning skrives

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad \dots (2.3)$$

där	$\kappa = \frac{\lambda}{c\rho}$	värmef diffusivitet	(m^2/s)
	λ	värmeledningsförmåga	$(\text{W/m}, ^\circ\text{C})$
	c	specifik värmekapacitet	$(\text{J/kg}^\circ\text{C})$
	ρ	densitet	(kg/m^3)
	T	temperatur	$(^\circ\text{C})$
	t	tid	(s)
	x, y, z	längder (koordinater)	(m)

För praktiska beräkningar förenklas denna ekvation i olika grad, för att i så enkel form som möjligt svara mot aktuella problem, och ge möjlighet till hanterbara metoder för att lösa ekvationen. Finita element-metoden och relaxationsmetoden är exempel på lämpliga lösningsmetoder för datorberäkning.

För endimensionell icke stationär ledning gäller

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad \dots (2.4)$$

Ekvivalent utetemperatur

Vid beräkning av värmefflöde ut genom en byggnads ytor, måste hänsyn tagas till att temperaturgradienten genom byggnadsdelen påverkas av förutom utelufttemperaturen, även kortvägig värmestrålning från solen och kall strålning från himlavalvet under klara kalla nätter. Genom att införa en fiktiv ekvivalent utetemperatur, Höglund (1973), som karaktäriseras av egenskapen att kombinera inverkan av kortvägig värmestrålning (solstrålning) och långvägigt strålningsutbyte, kan värmefflödet genom en byggnadsdel tecknas

$$g = k (T_i - T_{ue}) \quad (W/m^2) \quad \dots (2.5)$$

där k = värmegenomgångskoefficient $(W/m^2 \text{ } ^\circ C)$

T_i = inneluftens temperatur $(^\circ C)$

T_{ue} = ekvivalent utelufttemperatur $(^\circ C)$

På motsvarande sätt kan värmeövergången vid ytterytan tecknas

$$q = \alpha_u (T_y - T_{ue}) \quad \dots (2.6)$$

där q = totalt värmetillskott eller värmeförlust vid ytan (W/m^2)

α_u = yttre värmeövergångskoefficient $(W/m^2 \text{ } ^\circ C)$

T_{ue} = ekvivalent utetemperatur ($^{\circ}\text{C}$)

T_y = ytterytans temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

Den ekvivalenta utetemperaturen skrives

$$T_{ue} = T_u + \frac{aI}{\alpha_u} + \frac{\alpha_s}{\alpha_u} (T_m - T_u) \quad \dots (2.7)$$

där T_u = uteluftens temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

T_m = effektiv motstrålande temperatur, se FIG. 2.6 ($^{\circ}\text{C}$)

I = kortvågig strålning (W/m^2)

a = absorptionsfaktor för kortvågig strålning (1)

α_u = yttre värmeövergångskoefficient ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$)

och $\alpha_s = 0,04 \cdot \epsilon \cdot C_s \left(\frac{273 + (T_y + T_m)/2}{100} \right)^3$ ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$) ... (2.8)

där ϵ = emissionstalet, $\sim 0,9$ för de flesta byggnadsdelars ytor (1)
(aluminiumplåt yta 0,08)

C_s = konstant 5,7 ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$)

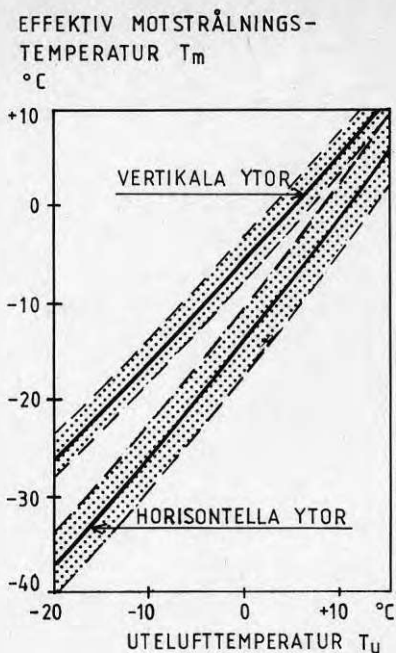


FIG. 2.6 Den effektiva motstrålande temperaturen under klara nätter som funktion av utelufttemperaturen enligt mätningar, Brown (1956).

Under klara nätter kan den motstrålande temperaturen från himlavalvet vara betydligt lägre än lufttemperaturen. Enligt Höglund (1973) kan den ekvivalenta ute-temperaturen för överslagsmässiga beräkningar uttryckas för horisontella ytor

$$T_{ue}^{\max} = T_u + \frac{aI}{\alpha_u} \quad (^\circ\text{C}) \quad \dots (2.9a)$$

$$T_{ue}^{\min} = T_u - 10 \quad (^\circ\text{C}) \quad \dots (2.9b)$$

Värmebalans i taks_ventilationsutrymme

Värmebalansen i ventilerade takutrymmen kan allmänt skrivas

$$\text{tillförd energi} = \text{avgiven energi} + \text{lagrad energi}$$

varvid termen lagrad energi vanligtvis kan försummas, då balansen oftast avser längre tidsperioder med stationära flöden.

Tillförd energi Q_{IN} sker genom vindsbjälklaget, och avgiven energi Q_{UT} sker genom transmissionsförluster genom tak, gavlar och andra ytor ovanför takbjälklaget, samt genom luftväxlingar i takets ventilationsutrymme.

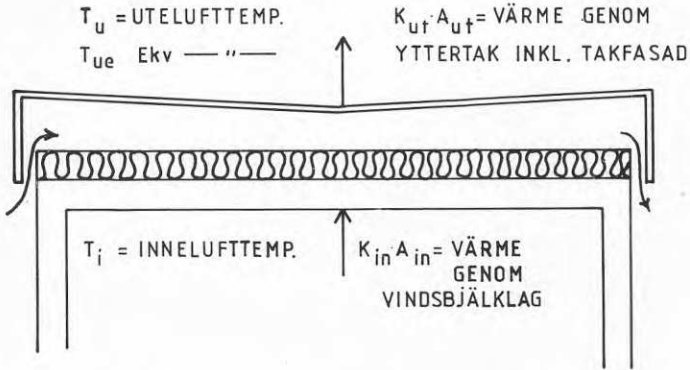


FIG. 2.7 Värmebalans för ventilerat takutrymme.

Enligt beteckningar i FIG. 2.7 erhålles

$$Q_{in} = k_{in} A_{in} (T_i - T) \quad (W)$$

$$Q_{ut} = k_{ut} A_{ut} (T - T_{ue}) + c_p (n/3600) V (T - T_u) \quad (W)$$

där T_{ue} är viktat med avseende på effektiv motstrålningstemperatur för resp delytor,

k_{in} , k_{ut} tar hänsyn till strålningsutbytet i ventilationsspalten

n är luftväxling per timme, (1/h)

och temperaturerna avser medeltemperaturer.

Medeltemperaturen i ventilationsutrymmet vid fullständig blandning erhålls ur jämvikten

$$Q_{in} = Q_{ut}$$

till

$$T = \frac{T_i + \beta T_u + \frac{k_{ut} A_{ut}}{k_{in} A_{in}} (T_{ue} - T_u)}{1 + \beta} \quad (^\circ\text{C}) \quad \dots (2.10)$$

där

$$\beta = \frac{k_{ut} A_{ut} + c_p (n/3600) V}{k_{in} A_{in}} \quad (1)$$

c_p = luftens värmekapacitet

EKV. (2.10) visar att för en god ventilation, stort n , närmar sig temperaturen i ventilationsutrymmet utetemperaturen, dvs takkonstruktionen närmar sig ett renodlat kalltak.

Temperaturutvecklingen i ventilationsspalten från luftintaget räknat på grund av genomströmmande luft, kan förenklat skrivas

$$T(x) = T_u + \Delta T_O (1 - e^{-\beta x}) \quad \dots (2.11)$$

där $T(x)$ = lufttemperatur i spalten på avståndet x från inloppet (°C)

T_u = utelufttemperatur (°C)

$$\Delta T_O = [T_i - \frac{M_1}{M_1 + M_2} (T_i - T_u - \Delta T_{ue})] - T_u, \quad (^\circ\text{C})$$

temperaturdifferens mellan icke ventilerad luftspalt och uteluften

$$\beta = \frac{1/M_1 + 1/M_2}{v s c_p}, \quad \text{koefficient som styr temperaturutvecklingen} \quad (1/\text{m})$$

x	= avstånd från luftintag	(m)
T_i	= innetemperatur	($^{\circ}\text{C}$)
ΔT_{ue}	= temperaturökning pga strålning, ($T_{ue} - T_u$) enl EKV. (2.7)	($^{\circ}\text{C}$)
M_1, M_2	= värmemotstånd innanför resp utanför ventilationsspalten	($\text{m}^2\text{C}/\text{W}$)
v	= lufthastighet i spalten	(m/s)
s	= spalthöjd	(m)
c_p	= luftens värmekapacitet	($\text{J}/\text{m}^3\text{C}$)

Ekvationen visar hur ventilationsluftens temperaturökning går snabbare med minskande luftomsättning, samt hur solstrålning mot resp kall utstrålning från yttertakets yta påverkar temperaturen i spalten.

LUFTTEMPERTUR I VENT. SPALTEN

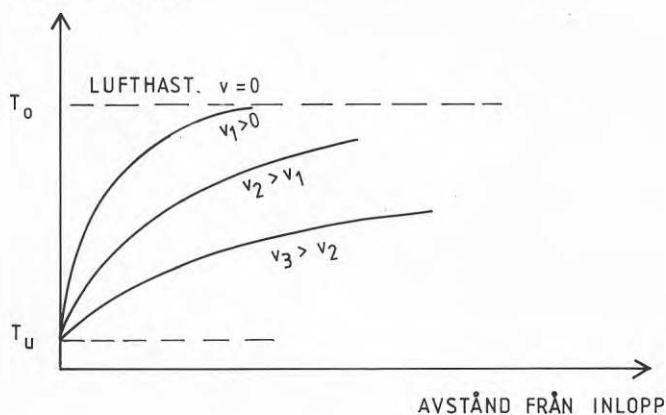


FIG. 2.8 Temperaturens principiella utveckling i spalten, enl EKV. (2.11).

Fukttransport

Fuktberäkningar som är aktuella i byggnadstekniska sammanhang omfattar vanligen fukttransport genom diffusion, konvektion och kapillärsugning. Men även vindtryck (slagregn) och vattenövertryck kan vara aktuella. Samtidig transport i flera former kan förekomma i en konstruktion.

Diffusion av fukt i ett poröst material (fuktflödestät-
het) kan skrivas som

$$g = \delta \frac{dv}{dx} \quad (\text{kg/m}^2\text{s}) \quad \dots (2.12)$$

där δ = ånggenomsläpplighet (m^2/s)

$$\frac{dv}{dx} = \text{ånghaltsgradient} \quad (\text{kg/m}^4)$$

eller under stationära förhållanden

$$g = \delta \frac{v_1 - v_2}{d} = \frac{1}{Z} (v_1 - v_2) \quad \dots (2.13)$$

där v_1 och v_2 är ånghalten på var sin sida av mate-
rialet med tjockleken d . Z är ånggenomgångsmotståndet
(s/m).

Konvektion av fukt innebär att ånga förs med en luftström,
vilken kan förorsakas av lufttrycksdifferenser pga vind-
tryck eller ventilationssystem, och temperaturdifferenser
(skorstensverkan). Om konstruktionen är otät till följd
av sprickor eller springor, eller om ingående material är
mer eller mindre luftgenomsläppliga, kan fuktkonvektionen
innebära stora fukttransporter, betydligt större än vad
diffusionen innebär, och därmed förorsaka betydande fukt-
skador i konstruktionen. Konvektionen är ett betydligt
snabbare förlopp än diffusionen.

Det konvektiva fuktflödet G kan skrivas

$$G = v Q \quad (\text{kg/s}) \quad \dots (2.14)$$

där v = ånghalt i luft (kg/m^3)

$$Q = \text{luftflöde} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Om fukt lagras i konstruktionen, kondenserar, kan denna
skrivas

$$G = (v_{in} - v_{ut}) \cdot Q \quad (\text{kg/s}) \quad \dots (2.15)$$

där v_{in} och v_{ut} är ånghalt i luften vid in resp utflöde.

Luftflödet Q beräknas enligt strömningsläran. För porösa material gäller Darcys lag (laminär strömning)

$$Q = A \frac{B_o}{\eta} \cdot \frac{dp}{dx} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad \dots (2.16)$$

och för skikt med tjockleken l

$$Q = A \frac{B_o}{\eta} \frac{\Delta p}{l} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad \dots (2.17)$$

där A = area (m^2)
 B_o = specifik permeabilitet (m^2)
 η = dynamisk viskositet (Ns/m^2)
 (för luft vid 0°C
 $\eta = 17,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ns}/\text{m}^2)$
 B_o/η = luftgenomsläppligheten $(\text{m}^2/\text{Pa} \cdot \text{s})$
 Δp = totaltryckdifferens (N/m^2)
 = $p(\text{luft}) + p(\text{vattenånga})$
 B_o/l = permeabiliteten (m)

För slutna kanaler och rör gäller Navier-Stokes' ekvationer. Luftströmning i spalter och hål i tjock skiva med laminär strömning och in- och utströmningsförlusterna små, erhålles för spalt med djupet l , spaltvidden b och längden d (arean $A = b \cdot d$) ur följande approximativa uttryck

$$Q = A \frac{b^2}{12\eta} \cdot \frac{\Delta p}{l} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad \dots (2.18)$$

vilket vanligen är refererat till som Hagen-Poiseuille ekvationen, Kronvall (1980).

För cirkulärt hål med djupet l och diamtern d erhålles

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \frac{d^2}{32\eta} \cdot \frac{\Delta p}{l} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad \dots (2.19)$$

Då in- och utströmningsförlusterna måste beaktas, gäller för spalter sambandet

$$\Delta p = \frac{12\eta l}{b^2} \left(\frac{Q}{A}\right) + \frac{\xi \cdot \rho}{2} \left(\frac{Q}{A}\right)^2 \quad (\text{Pa}) \quad \dots (2.20)$$

och för hål

$$\Delta p = \frac{32\eta l}{d^2} \left(\frac{Q}{A}\right) + \frac{\xi \cdot \rho}{2} \left(\frac{Q}{A}\right)^2 \quad (\text{Pa}) \quad \dots (2.21)$$

varur Q och Q/A kan lösas. Värdet på ξ är ungefär 1,8. Kronvall (1980).

Kontroll av Reynolds tal göres med

$$\text{för spalt} \quad R_e = \frac{2vb\rho}{\eta} \quad (1) \quad \dots (2.22)$$

$$\text{för hål} \quad R_e = \frac{vd\rho}{\eta} \quad (1) \quad \dots (2.23)$$

där $v = Q/A$ m/s, $\eta = 17,1 \cdot 10^{-6}$ Ns/m², $\rho = 1,293$ kg/m³
(gäller för luft 0 °C)

och övergång från laminär till turbulent strömning ligger vid $R_e \sim 2300$.

För spalter och hål i tunn skiva tecknas flödet med hjälp av Dicks formel, (skivans tjocklek ungefär likamed hålets tvärmått).

$$Q = A \mu \sqrt{2/\rho} \cdot \sqrt{\Delta p} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad \dots (2.24a)$$

$$\text{eller} \quad Q = 0,8 A \sqrt{\Delta p}, \quad \text{med} \quad \mu \sim 0,65 \quad \text{och} \quad \rho \sim 1,25 \quad \dots (2.24b)$$

där A = hålets area

μ = avbördningsfaktor (1)

ρ = densitet för luft (kg/m^3)

Tryckdifferensen Δp över en byggnadsdel kan uppstå av temperaturdifferenser, vindtryck och mekaniska fläktar.

Den temperaturberoende tryckdifferensen mellan inne och ute kan tecknas

$$\Delta p = \rho_0 \cdot g_0 T_0 \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_i} \right) z + p_{i0} \quad (\text{Pa}) \dots (2.25a)$$

där ρ_0 = densitet för luft vid 0°C (kg/m^3)

g_0 = 9,81 (m/s^2)

T_0 = absoluttemperatur (K)

T_u, T_i = absoluttemperatur ute
resp inne (K)

z = höjd (m)

Om luftläckaget utmed höjden kan anses jämnt fördelat, erhålls pga temperaturen ett lika stort undertryck nedtill som övertryck upptill, och termen p_{i0} blir noll. EKV. (2.25) kan approximeras till

$$\Delta p = 0,04 \cdot \Delta T z \quad (\text{Pa}) \dots (2.25b)$$

där 0,04 svarar mot $\rho g_0 / T_0$

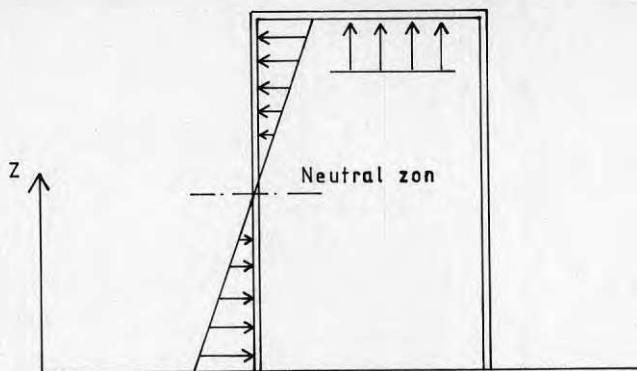


FIG. 2.9 Tryckfördelning pga temperaturdifferens mellan inne och ute i en byggnad med jämnt fördelat luftläckage i höjdlöd.

Den vindberoende tryckdifferensen över en konstruktion kan tecknas utgående från hastighetstrycket $p = \rho v_w^2 / 2$

$$\Delta p = (\mu_1 - \mu_2) \frac{\rho v_w^2}{2} \quad (\text{Pa}) \quad \dots (2.26)$$

där $\mu_1 - \mu_2$ = differens mellan formfaktorer på ömse sidor om konstruktionen (1)

$$v_w = \text{vindhastighet} \quad (\text{m/s})$$

I SBN finns formfaktorer angivna för byggnadsstatiska beräkningar, vilka således är angivna i överkant. I Taesler (1972) finns uppgifter om vindhastighet och vindriktningar.

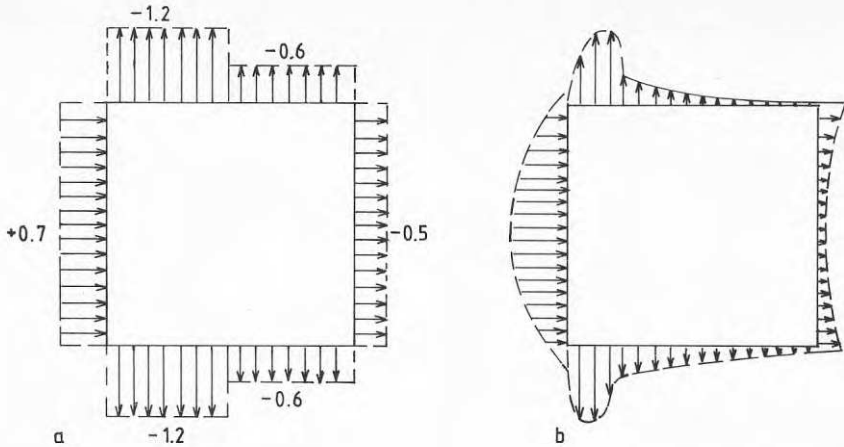


FIG. 2.10 Vindtrycksfördelning (formfaktor) på en byggnad
 a) enligt SBN, b) sannolik fördelning enligt Newbury (1974). Vindriktning från vänster.

För en ventilationsspalt i tak kan luftflödet tecknas med hjälp av EKV. (2.26) och EKV. (2.24) för spalt i tunn skiva, om tryckfallet i luftspalten kan försummas i jämförelse med in- och utströmningsförluster, dvs $\Delta p = 2\Delta p(\text{rand}) + \Delta p(\text{spalt}) \approx 2\Delta p(\text{rand})$. Lufthastigheten kan då skrivas

$$v = 0,65 \sqrt{\frac{\Delta p}{2}} \frac{A}{b} \cdot v_w \quad (\text{m/s}) \quad \dots (2.27)$$

där A = hålarea vid in- resp utlopp (m^2)

b = ventilationsspaltens höjd (m)

Kapillärsugning kan för praktiska beräkningar skrivas

$$g = -k \frac{dw}{dx} \quad \dots (2.28)$$

där g = transporterad fuktmängd ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$)

k = kapillärledningskoefficient (m^2/s)

w = materialets fukthalt (kg/m^3)

Kapillärledningskoefficienten varierar kraftigt med materialets fukthalt. Den är liten vid låga fukthalter för att kraftigt stiga vid en viss fukthalt.

Slagregn hör primärt samman med nedfuktning av fasader. Hård vind i samband med regn och snö kan dock förorsaka betydande nederbördsinträngning i fasaders och taks öppningar, såsom ventilationsöppningar etc. Vinden kan t o m driva regnvatten i riktning uppåt på fasader och därmed nå taksprång underifrån.

Förutom ovan behandlade transportmöjligheter för fukt in i byggnadsdelar, måste särskild hänsyn tagas till byggfukt som redan finns i konstruktionen. Det kan innebära betydande mängder vatten, som måste ges tillfälle att lämna konstruktionen utan olägenheter.

Fuktkällor

Fuktkällor kan vara luftfukt ute och inne, byggfukt och annan fukt i material, slagregn, markfukt för grundkonstruktioner, samt fuktproduktion från människor och djur.

Fukt inomhus kan uttryckas på följande sätt

$$v_i = v_u + \frac{G}{nV} (1 - e^{-nt}) \quad \dots (2.29)$$

där	v_i	= ånghalt inomhus	(kg/m ³)
	v_u	= "- utomhus	("-)
	G	= fuktproduktion	(kg/s)
	n	= luftomsättning per tidsenhet	(1/s)
	V	= ventilerad rumsvolym	(m ³)
	t	= tid	(s)

Luftens mätnadsånghalt är temperaturberoende och kan ganska väl beskrivas för temperaturer mellan -10 och 35 °C med uttrycket enligt VVS-Handboken (1974)

$$v_m = \frac{1,32}{T} (1 + 0,02(T-273))^4 \quad (\text{kg/m}^3) \dots (2.30)$$

där T = absoluta temperaturen (K)

En noggrannare beskrivning av sambandet mellan luftens mätnadsånghalt och temperatur ger följande uttryck, hämtat ur Anderlind (1974)

$$v_m = e^x / (3,461 \cdot (T + 273)) \quad (\text{kg/m}^3)$$

där T = temperaturen i °C.

För $T > 0$ beräknas x ur

$$x = \frac{12,4547(T-100) - 1,1697((3,65 - 0,01T)^4 - 2,65^4)}{T + 273} + 6,6333$$

och

för $T \leq 0$ beräknas x ur

$$x = 26,4891 - 0,4 \ln(T + 273) - \frac{6203,6}{T + 273}$$

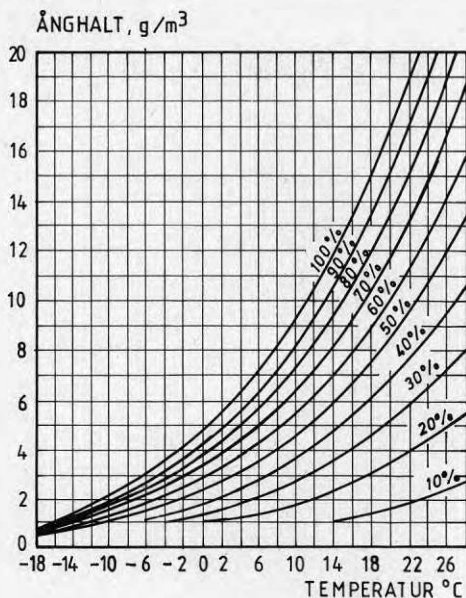


FIG. 2.11 Ånghaltens beroende av temperaturen för olika relativa fuktigheter. Hämtat ur Bygg 1A (1971).

Ökande värden på tiden t i EKV. (2.29) leder så småningom till konstant fukttillskott enligt

$$v_i = v_u + \frac{G}{nV} \quad (\text{kg/m}^3) \quad \dots (2.31)$$

varvid termen G/nV svarar mot fukttillskottet v_{FT} .

Fukttillskottet v_{FT} inomhus anges i SBN, kommentarsamling 1975:3 och 1977:2 till att vara (vintertid)

2 resp $3 \cdot 10^{-3}$ kg/m^3 för kontor

3 resp $4 \cdot 10^{-3}$ "-" för normalt bostadsutrymme med ventilation enligt SBN

Hänsyn bör tagas till att fukttillskottet i praktiken kan vara större, momentant eller under längre tid, be-

roende på exempelvis ändrade aktiviteter inomhus eller bristfällig ventilation.

För industrier och andra lokaler kan fukttillskottet bli betydligt större.

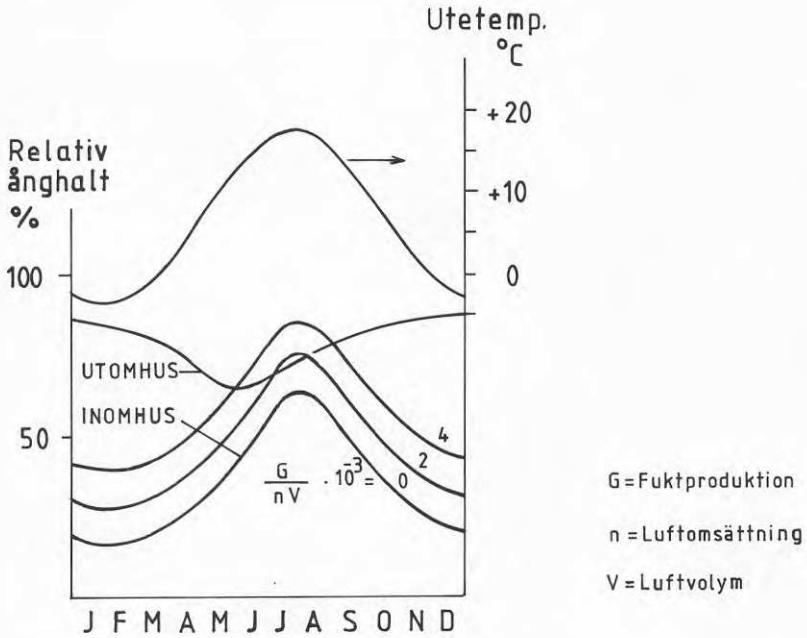


FIG. 2.12 Månadsmedelvärden av temperatur och relativ fuktighet utomhus och beräknad relativ fuktighet inomhus vid olika fukttillskott. Värdena avser Stockholm. Hämtat ur Larsson (1982).

Fuktmängden i byggnadsmaterial påverkas av omgivande luftens relativa ånghalt samt av temperaturen, och följer bestämda samband, sorptionskurvor, för olika hygroskopiska material. Temperaturberoendet är emellertid svagt, varför sambandet oftast beskriver fukthalten i materialet och relativa ånghalten i omgivande luften, FIG. 2.13.

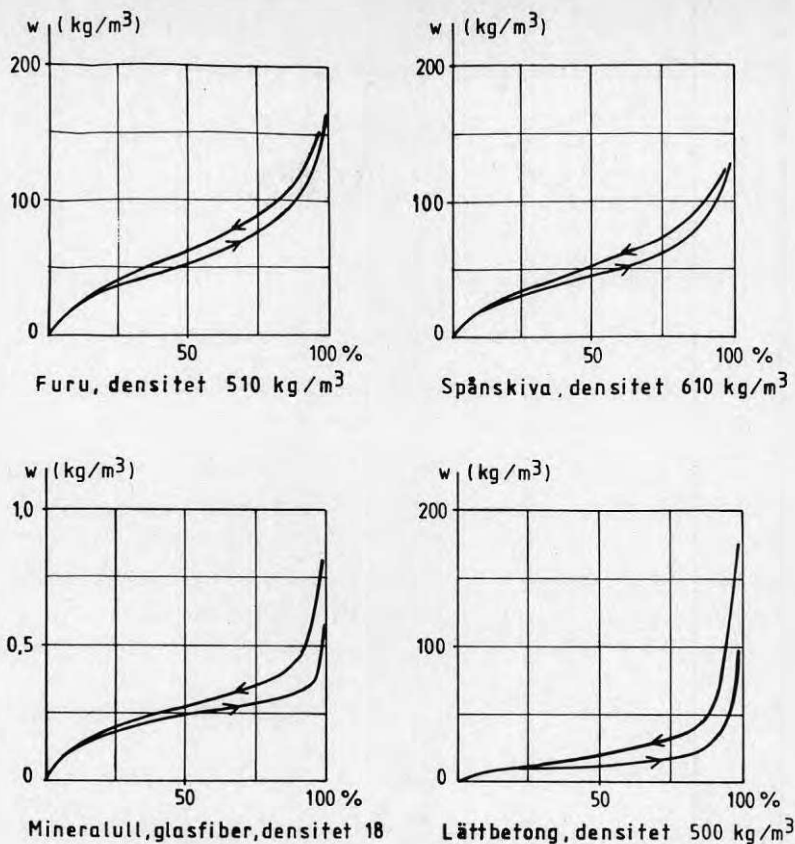


FIG. 2.13 Exempel på sorptionskurvor för vanliga byggnadsmaterial. Fukthalten w som funktion av relativ ånghalt i %. Efter Ahlgren (1972).

Fuktbalans

Fuktbalansen i ett tak eller i ett taks luftspalt beror på förutom fukttillförsel (diffusion, konvektion) och fuktavgång (diffusion, ventilation) även av temperaturen i taket, eftersom luftens mätnadsånghalt är temperaturberoende. Är ånghalten i materialets yta högre än omgivande luftens, sker uttorkning av materialet. I omvända fallet sker nedfuktning i form av ytkondens. I allmänhet leder kall ventilationsluft till uttorkning, medan varm leder till nedfuktning, då ånghalten är betydligt lägre i kall än i varm ventilationsluft.

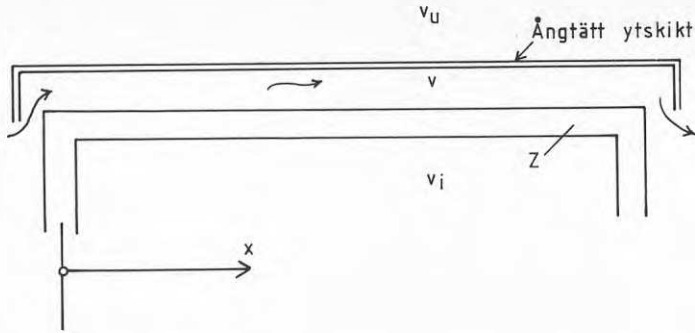


FIG. 2.14 Luftspalt i takkonstruktionen. Parametrar för beräkning av fuktförlopp i spalten.

Fuktförhållandet i ventilerade luftspalter kan förenklat beskrivas med ånghalten v , då fukt tillföres kontinuerligt genom diffusion och konvektion, som är jämnt fördelad över ytan. Yttertakets tätskikt anses helt diffusionstätt.

$$v(x) = v_u + \Delta v (1 - e^{-\beta x}) \quad \dots (2.32)$$

där $v(x)$ = ånghalt i spalten på (kg/m^3)
avståndet x från
inloppet

v_u = ånghalt i uteluften

Δv = $v_i - v_u$, ånghaltsdifferens (kg/m^3)
mellan inneluftens och
uteluftens ånghalt

v_i = ånghalt i inneluften (kg/m^3)

β = $\frac{1}{vsZ}$, koefficient som $(1/\text{m})$
styr ånghaltsutvecklingen

x = avstånd från luftintag (m)

v = lufthastighet i spalten (m/s)

s = spalthöjd (m)

Z = ångmotstånd mellan inne-
luft och luftspalt (s/m)

Ekvationen visar hur ånghalten i ventilationsspalten minskar med ökande luftomsättning, vilket principiellt visas i FIG. 2.15. Ökande luftomsättning medför även sjunkande temperatur enligt EKV. (2.11), vars betydelse ökar med ökande andel av värmeisoleringen över spalten.

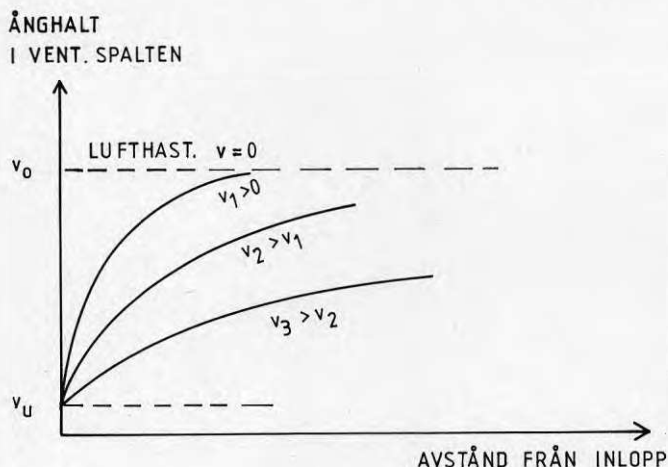


FIG. 2.15 Principiellt utseende av ånghaltens utveckling i en ventilationsspalt enligt EKV. (2.32).

Luftspaltens inverkan på värmeförlusterna

Med ventilering i luftspalter eller i speciellt luftgenomsläppliga isoleringar följer en energiförlust. Denna påverkar konstruktionens effektiva värmegenomgångskoefficient k_{eff} på följande sätt

$$k_{eff} = k_1 \left(1 - \frac{M_2 (1 - e^{-\beta x})}{M_1 + M_2} \right) \quad \dots (2.33)$$

där k_{eff} = värmegenomgångskoefficienten för hela takkonstruktionen ($W/m^2 \cdot C$)

M_1, M_2 = värmemotstånd innanför resp utanför ventilationsspalten ($m^2 \cdot C/W$)

k_1 = värmegenomgångskoefficienten
 för konstruktionsdelen innanför
 luftspalten (W/m²°C)
 och β hämtad från EKV. (2.11).

Hela takets k_{eff} -värde utgöres av medelvärdet för
 EKV. (2.33) över hela längden, dvs $1/L \cdot \int_{x=0}^L k_{\text{eff}}$, där
 L = ventilationsspaltens längd.

EFFEKTIVT k-VÄRDE

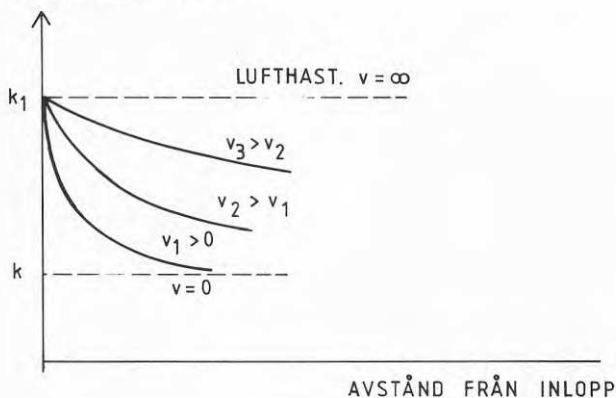


FIG. 2.16 Principiellt utseende för funktionen enligt EKV. (2.33).

Utvändig tilläggsisolering m h t kondens vid befintligt ångtätt tätskikt

Vid utvändig tilläggsisolering av tak eftersträvas ofta eliminering av all ventilation i taket, i syfte att utnyttja värmeisoleringens maximala kapacitet. Därmed utblir möjligheten att föra bort eventuellt inläckande fukt med ventilationsluften. Då takets befintliga tätskikt är ångtätt, och tilläggsisoleringen skall placeras ovanpå detta, kan möjlig isoleringsmängd beräknas utgående från villkoret att kondens ej uppstår under tätskiktet, trots att takets ångspärr på varma sidan delvis eller helt saknas. Följande uttryck fås

$$M_2 = (M_1 + m_i) \left(\frac{T_i - T_u}{T_i - T_m} - 1 \right) - m_u \quad \dots (2.34)$$

där M_2 = tilläggsisoleringens värmemotstånd ($m^2\text{ }^\circ\text{C/W}$)

T_m = den temperatur vid vilken inneluftens ånghalt utgör 100% relativ ånghalt (daggpunkten). Erhålles ex.vis ur FIG. 2.11.

T_i, T_u = temperatur inomhus resp utomhus ($^\circ\text{C}$)

M_1 = befintlig konstruktions värmemotstånd ($m^2\text{ }^\circ\text{C/W}$)

m_i, m_u = inre resp yttre övergångsständ ($m^2\text{ }^\circ\text{C/W}$)

2.3 Klimatförändringar i taket pga tilläggsisolering

Varje förändring av en byggnadsdels värmeisoleringsegenskaper påverkar även dess fuktförhållanden. Därför är det viktigt att före varje tilläggsisoleringsåtgärd noggrant studera dess effekt på konstruktionens byggnadsfysikaliska förhållanden i övrigt. Annars kan lätt en förväntad positiv energisparåtgärd så småningom leda till omfattande skador och därmed kostsamma reparationsarbeten.

En tilläggsisolering, som appliceras på någon del i en byggnad, exempelvis i en takkonstruktion, medför att byggnadsdelar utanför isoleringen hamnar under uppvärmningssäsongen i ett kallare klimat. Därmed ökar riskerna för fuktskador, frostsador etc., såvida inga andra förutsättningar för eliminering av dessa skaderisker skapas, såsom tätning av vindsbjälklag, justering av ventilation etc. Byggnadsdelarna innanför tilläggsisoleringen kommer däremot att ligga i ett varmare och jämnare klimat, som närmar sig inomhusklimatet, vilket är gynnsamt för konstruktionen.

Tilläggsisolering kan utföras efter följande tre principer

- Utvändig tilläggsisolering
- Tilläggsisolering inuti konstruktionen
- Invändig tilläggsisolering.

Det andra alternativet avser isolering i befintligt ventilationsutrymme mellan ursprunglig isolering och yttertak.

Valet av tilläggsisoleringsprincip påverkas av faktorer som tillgänglighet för isoleringsarbete, arkitektoniska begränsningar i stadsplan, krav om samtidig ljudreducering, samordning med renoveringsarbeten för tätskikt, takkonstruktion, och byggnad i övrigt, etc.

Tilläggsisolering av kalltak

Vid tilläggsisolering av kalltak, där vindsutrymmet är tillgängligt för isoleringsarbete men inte utnyttjas som bostadsutrymme, placeras lämpligen isoleringen i eller ovanpå vindsbjälklaget. Samma utförande göres på handbjälkar över bostadsutrymmen i vindsvåning, där även stödbensvägg och snedtaksdel isoleras. Snedtaksdelen är oftast en parallelltak-konstruktion.

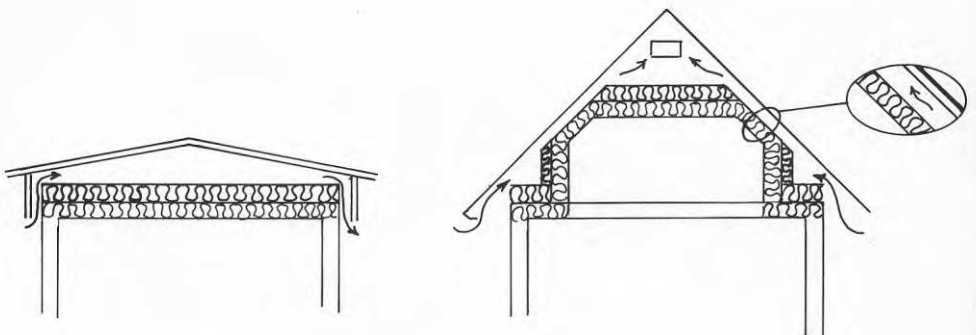


FIG. 2.17 Exempel på tilläggsisolering av kalltak med tillgängligt vindsutrymme.

Av den ökade värmeisoleringen följer en lägre temperatur i vindsutrymmet. Om inte tilläggsisoleringen i sig minskat fukttransporten genom bjälklaget, vilket den vanligtvis inte gör, och om inte ventilationen i vindsutrymmet ändrats, medför temperatursänkningen att luftens relativa ånghalt ökar, vilket visas i FIG. 2.18. Om ånghalten redan före tilläggsisoleringen varit hög, är risken stor för kondensation, mögel, röta och andra fukt-skador.

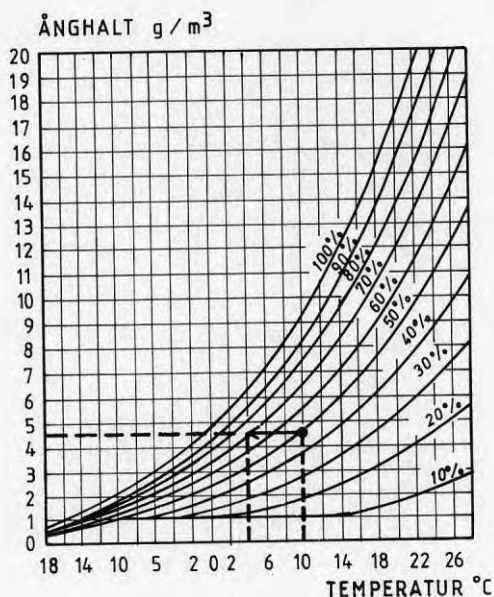


FIG. 2.18 Luftens relativa ånghalt ökar då temperaturen sänks och ånghalten är oförändrad.

Förbättring av klimatet erhålles genom tätning av bjälklaget mot främst konvektionsfukt inifrån, eller genom förbättrad ventilation som för bort fukten ut ur taket. Den ökade ventilationen får dock icke sänka lufttrycket på vinden på sådant sätt att fuktigheten i vindsutrymmet ökar pga ökad fuktkonvektion genom bjälklaget.

Invändig tilläggsisolering, som kan vara aktuell om en tilläggsisolering ovanpå bjälklaget kräver stort mer-

arbete i form av vindsröjning, justering av ursprunglig isolering under brädgolv, etc., medför principiellt samma värme- och fuktförhållanden som nyss beskrivits med kallare konstruktion utanför tilläggsisoleringen. Dock förefaller möjligheten för en kompletterande lufttätning på isoleringens varma sida som större, vilket är gynnsamt för klimatet på vinden.

Tilläggsisolering av varmtak

Tilläggsisolering av varmtak kan ske utvändigt eller invändigt. Vid utvändig tilläggsisolering kommer ursprunglig konstruktion att ligga varmare vintertid och inte utsättas för höga temperaturer sommartid, vilket är gynnsamt ur fuktsynpunkt. Även de termiskt betingade rörelserna i taket minskar. Om ursprunglig värmeisolering på utsidan av taket i någon form är ventilerad, ex.vis genom spår i cellplastskivors undersida, bör undersökas om inte denna ventilation kan sättas igen, eftersom den annars kan orsaka lokalt sämre effekt av tilläggsisoleringen.

Vid invändig tilläggsisolering kommer ursprunglig konstruktion att vara kallare vintertid och får därigenom en högre fukthalt. Större delen av temperaturgradienten ligger i konstruktionens insida, varför en ångspärr måste förhindra fukttransport in i konstruktionen. De termiskt betingade rörelserna i taket ökar.

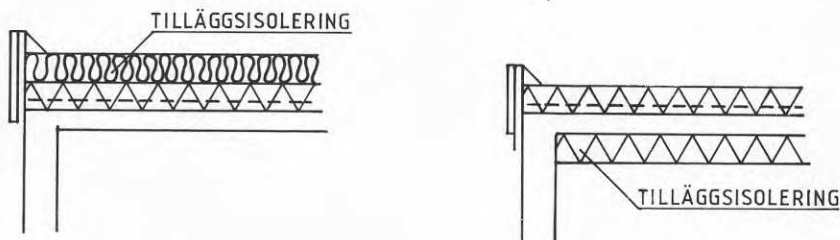


FIG. 2.19 Exempel på utvändig och invändig tilläggsisolering av varmtak.

Har ursprunglig konstruktion sådana fuktkapacitetsegenskaper, att förekommande fuktbelastning vid invändig tilläggsisolering utan särskild ångspärr kan klaras av utan olägenheter, är det invändiga tilläggsisoleringsalternativet funktionsriktigt. Isoleringens tjocklek har dock betydelse för fukthalten och kondensationen i ursprunglig konstruktion, och måste begränsas för att inte fukten skall nå skadliga mängder i materialet. Som exempel visas beräkningar för ett 200 mm tjockt gasbetongtak, som tilläggsisolerats på insidan med 5 resp. 10 mm mineralull, Andersson (1979). Beräkningsförutsättningarna motsvarar klimat i Lund, med eller utan solstrålning (tak i skugga), innetemp. $+20^{\circ}\text{C}$ och fukttillskott 3 g/m^3 . FIG. 2.20.

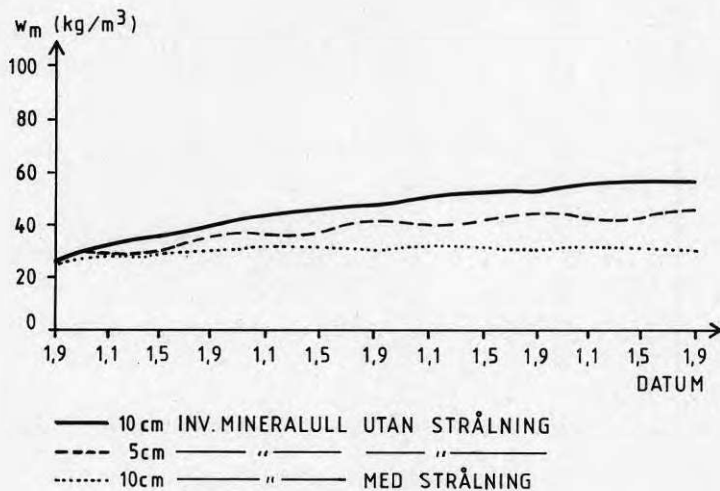


FIG. 2.20 Medelfukthaltens variation över två år för ett 200 mm tjockt gasbetongtak med tilläggsisolering. Andersson (1979).

Beräkningarna visar små årsvariationer av fukthalten, som inte vid något tillfälle översteg sådant värde, att risk för kondensation föreligger.

Tilläggsisolering av tak med luftspalt eller med otilgängligt ventilationsutrymme

Tilläggsisolering av dessa taktyper kan i princip göras på takets utsida, under särskilda förutsättningar i takets ventilationsutrymme, eller på dess insida, FIG. 2.21.

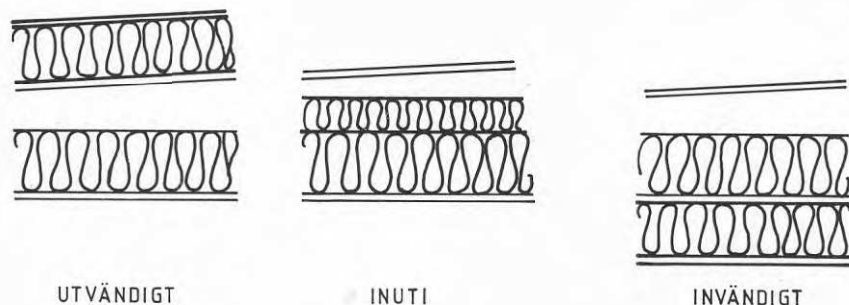


FIG. 2.21 Principiell tilläggsisolering på takets utsida, inuti konstruktionen och på insidan.

Utvändig tilläggsisolering medför att hela takkonstruktionen vintertid blir varmare, vilket är gynnsamt ur fuktsynpunkt. Den utsätts inte heller för höga temperaturer sommartid. Termiskt betingade rörelser och spänningar blir mindre. Den ursprungliga ventilationen kommer däremot att hamna längre in mot konstruktionens varmsida, och reducerar därmed genom sin kalla ventilationsluft tilläggsisoleringens avsedda effekt. Därför bör denna ventilation slopas, vilket medför att taket därmed fungerar som ett varmtak med en sluten luftspalt.

Fukttekniskt medför frånvaron av ventilation i taket, att fukt som läcker in i konstruktionen inifrån, inte ventileras bort utan måste kunna magasineras på sådant sätt att den ej förorsakar fuktskador, kondensering,

mögel, röta etc. Eventuell fukt in i taket kommer dock inte längre än till ursprungligt tätskikt, då detta ofta är diffusionstätt. Därför kan ett rimligt antagande vara, att efter lång tid jämvikt inställer sig mellan inomhusluftens fuktinnehåll och takets. Med detta antagande sammantaget med villkoret att kondens inte får ske mot ursprungligt tätskikt, kan den utvändiga tilläggsisoleringens tjocklek bestämmas i EKV. (2.34). Som exempel kan förutsättas $+20^{\circ}\text{C}$, 40% RÅ inomhus och -10°C utomhus, vilket ger att den utvändiga tilläggsisoleringen åtminstone bör ha samma värmemotstånd som det ursprungliga taket.

Beständigheten hos de ingående materialen är dock inte enbart avhängigt av fritt vatten (kondensat). För t ex trä föreligger risk för nedbrytande svampangrepp redan vid kombinationen långvarig fuktkvot $\geq 20\%$ svarande mot 85% i luft, och temperatur $\geq 5^{\circ}\text{C}$. Tidigare angripet trä är känsligare, se vidare KAP. 2.4. Vid fuktteknisk bedömning måste därför riskerna för fuktskador i takkonstruktionen noggrant studeras även med avseende på dessa effekter.

FUKTKVOT, VIKT %

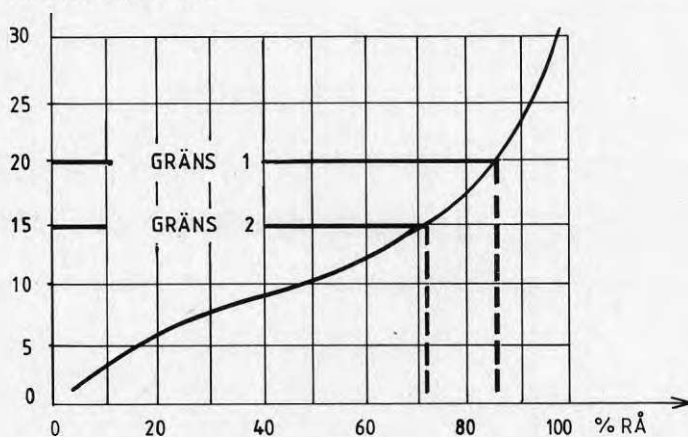


FIG. 2.22 Förhållande mellan relativ ånghalt och fuktinnehåll i trä vid 20°C (sorptionskurva). Trä angrips av svamp vid gräns 1. Redan påverkat trä angrips redan vid gräns 2. Hämtat ur Christensen (1981).

Uteluftens fukt- och temperaturförhållanden är här av stor betydelse, eftersom fuktbelastningen är beroende av ånghalten ute. Denna är hög under årets varma delar, FIG. 2.23, och kan innebära tidvis samtidig hög relativ ånghalt och temperatur i taket.

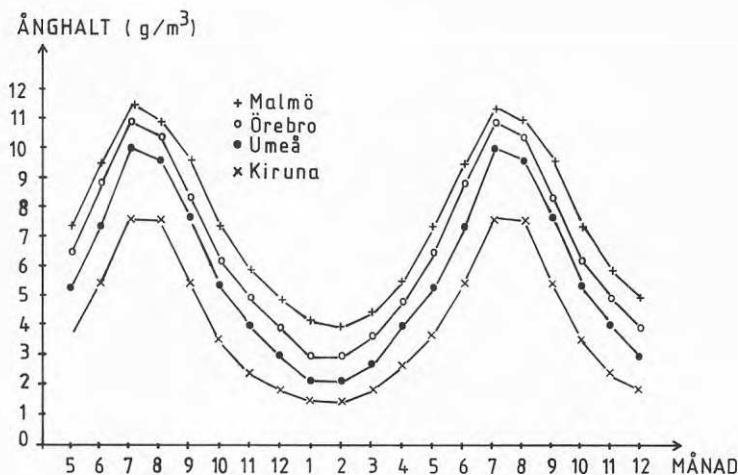


FIG. 2.23 Årsvariation för ånghalten, beräknad ur av Taesler (1972) angivna månadsmedelvärden för relativ luftfuktighet och normaltemperaturer för Kiruna, Umeå, Örebro och Malmö. Hämtat ur Anderlind (1974).

I det fall att skadlig fuktighet råder i en takkonstruktion, ex.vis pga otillräcklig ventilation, följer av utvändigt tilläggsisolering reducering av relativa ånghalten och därmed lägre fukthalt i trämaterialen än tidigare i det ursprungliga taket. Det illustreras principiellt i FIG. 2.24.

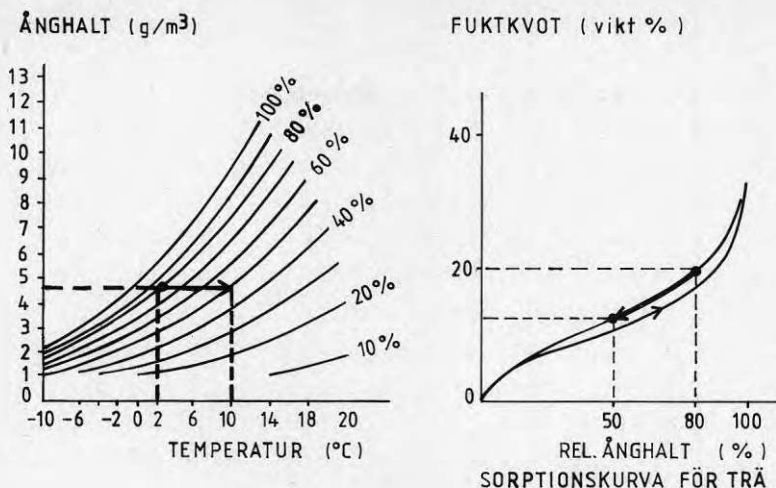


FIG. 2.24 Minskning av relativ ånghalt pga temperaturökning och därmed lägre fuktkvot i trämaterial i ett tak som utvändigt tilläggsisolerats.

Uttorkningsförloppet kan bli effektivare genom att den ursprungliga ventilationen bibehålles under speciellt första vinterhalvåret. Därmed kommer den kalla och torra ventilationsluften att snabbare torka ut ursprunglig konstruktion. Efter uttorkning till lämplig fuktnivå bör ventilationsutrymmet kunna helt sättas igen.

Ventilation i taks värmeisoleringskikt medför viss kortslutning över värmeisoleringen. Dess effekt beror på luftomsättningen i ventilationsspalten, och kan studeras i EKV. (2.33).

Då den utvändiga tilläggsisoleringen medför en varmare ursprunglig takkonstruktion som därmed tillåter högre fukthalter, förutsätter detta också att inga kalla ytor överhuvudtaget förekommer i konstruktionen, vilka skulle förorsaka kondensation. Därför måste särskilt anslutande gavlar o. dyl. samt genomföringar beaktas vid isoleringen.

Som exempel på funktionen för ett utvändigt tilläggsisolerat parallelltak beskrivs i FIG. 2.25 under förenklade antaganden och stationära förlopp, takets värmeisolerings- och fukttekniska förhållanden vid olika grad av luftomsättning i ventilationsspalten. Takets effektiva värmeisolering k_{eff} kan beräknas ur EKV. (2.33) och EKV. (2.11), och ventilationsspaltens ånghalt v ur EKV. (2.32), under hänsyntagande till visst fuktillskott, t ex genom konvektion. Ånghalten v relativt luftspaltens mättnadsånghalt för aktuell temperatur enl EKV. (2.11) utgör relativa ånghalten, vilken med hjälp av sorptionskurvor enligt FIG. 2.13 ger aktuell fuktkvot i materialet i spalten. Graferna i FIG. 2.25 är hämtade ur Statens Provningsanstalts utlåtande av Samuelsson, (1981).

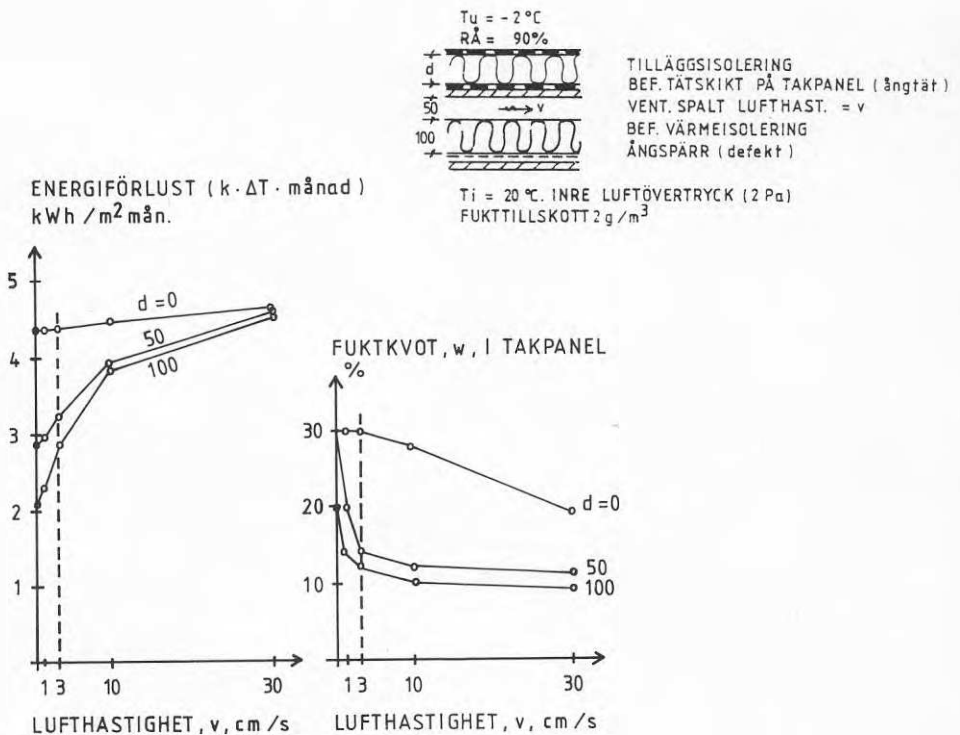


FIG. 2.25 Exempel på beräkning av energiförlust och fuktkvot i träpanel för ett utvändigt tilläggsisolerat parallelltak, som funktion av isolertjocklek och lufthastighet i ventilationsspalten. Samuelsson (1981).

Tilläggsisolering inuti konstruktionen genom att ursprungligt ventilationsutrymme helt eller delvis fylls ut med värmeisolering av cellplastkulor, lösull eller cellulosafiber, medför ett ökat strömningsmotstånd för ventilationsluften. Om ventilationen mer eller mindre uteblir, är luft- och diffusionstätningen på insidan avgörande om fukt ej skall tillföras taket och ackumuleras där, såvida inte konstruktionen är tillräckligt fuktkapacitiv för att klara av aktuell fuktbelastning.

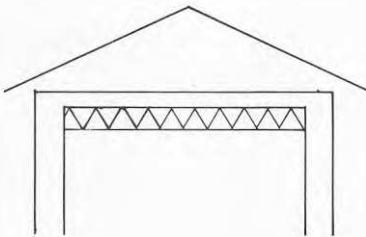
Om man däremot kan påräkna en viss luftströmning genom tilläggsisoleringen och därmed ventilera bort inifrån kommande fukt, kan visst fuktläckage tillåtas. Luftströmningen får dock inte bli så stor att den påverkar värmeisoleringen för mycket. Sambandet mellan luftomsättning i isoleringen och därmed förorsakad värmeisoleringsförlust kan studeras med hjälp av EKV. (2.33) och EKV. (2.11).

Med hänsyn till tilläggsisoleringens applicering och utfyllnad i taket och därmed dess reducerande verkan på takets ventilation, i synnerhet vid stora flacka tak, framstår lösningen som tveksam, om inte lösningen noga följs upp i praktiken och kan uppvisa fullgod funktion. I allmänhet bör man dock eftersträva att bibehålla en luftspalt närmast yttertakets och ventilera denna, samt att förse innersidan med en god luft- och diffusionstätning, för att därmed öka marginalerna för en tillfredsställande funktion.

Genom att taket endast begränsat kan ventileras är det ej tillrådligt att använda isoleringsmaterial som vid appliceringen frigör vatten, t ex karbamidskum.

Vid all tilläggsisolering, där isoleringsmaterialet mer eller mindre byggs in i konstruktionen och därmed ej har möjlighet att snabbt torka ut, är det ytterligt väsentligt att materialet från början är torrt. Annars är risken stor för att den inbyggda fukten så småningom visar sig som fuktskador i konstruktionen.

Invändig tilläggsisolering medför kallare ursprunglig konstruktion. Det behöver inte medföra fuktproblem om ursprunglig luft- och diffusionstätning är fullständig. Den invändiga isoleringens tjocklek med hänsyn till kondensationsrisk vid ångspärren kan studeras i EKV. (2.34). Principiellt gäller förhållandet som beskrivits ovan om lika isolering på båda sidor om den kritiska kondensationspunkten under givna förutsättningar. Med hänsyn till i praktiken förekommande defekter i ångspärren bör insidan av tilläggsisoleringen förses med en ny sådan.



INVÄNDIG TILLÄGGSISOLERING

FIG. 2.26 Invändig tilläggsisolering.

2.4 Röta och andra svampskador

Under senare år har svampskador i ökande omfattning lett till svåra problem i våra byggnader, vilket medfört dyra sanerings- och reparationsinsatser. Skadorna uppstår i form av luktproblem, missfärgning och röta. Ofta kan orsaken härledas till förändringar i boendevanor som lett till ökad fuktighet inomhus, ombyggnader, tilläggsisoleringar etc. i fastigheter som lett till nya klimatförutsättningar för trämaterial, samt även konstruktionsfel vid nybyggnad.

De svampar som angriper trä är strålsvampar, mögelsvampar, blånadssvampar och rötsvampar. Av dessa är det en-

dast rötsvampar som är träförstörande. Övriga svampar bryter inte ned träet, men kan orsaka dålig lukt och missfärgning. Till gruppen rötsvampar hör bl a hussvamp och mögelticka.

Vid nedfuktning av trämaterial inleds svampangreppet i allmänhet med att strålsvampar och mögelsvampar börjar växa på virkesytan och blånadssvampar växer in i veden. Om nedfuktningen av träytan fortsätter och blir långvarig, vilket ofta är en följd av dessa första svampars angrepp, kommer efter en tid även rötsvampar med direkt vednedbrytning som följd.

Svampar livnär sig på organiska ämnen, som i hus vanligen är trä eller träbaserade material, exempelvis virke, träbaserade skivor, vindpapp, pappersbeläggning på gipsskivor, jutefibrer på undersidan av golvmattor. Oorganiskt material såsom mineralullsisolering och betong angrips normalt ej. Emellertid kan även sådant material bli genom- eller övervuxet av svamp när det blir nedsmutsat av t ex jord, damm, sågspån eller virkesrester. Impregnerat trä kan också få påväxt av blånadssvampar. Strålsvampar kan förekomma på allt organiskt material.

Förutsättning för att trä skall angripas av svampar är samtidig närvaro av fukt, värme, luft och svampsporer. I annat fall uteblir svampangreppet. FIG. 2.27.

De miljöbetingelser som gynnar uppkomst och utveckling av svampar kan sammanfattas på följande sätt, enligt Henningsson (1976), och information från Svenska Träskyddsinstitutet,

Rötsvampar

- fritt vatten för sporernas groning
- fuktkvot 30-120% (optimum 40-80%)
- temperatur 0-40°C (optimum 25-32°C)

Missfärgande svampar (t ex blånadssvampar)

- hög luftfuktighet eller fritt vatten för sporens groning
- fuktkvot 20-150% (optimum mycket varierande)
- temperatur $-3-55^{\circ}\text{C}$ (" " ")

Ovan redovisade gränsvärden får inte tolkas som absoluta, utan mer som riktvärden.

För rötsvampar gäller dessutom att fuktkvoten 20% kan räcka för hussvampen, om vatten kan transporteras från annat håll. Den kan också tåla långa torrperioder och nedfrysningsperioder, liksom upprepade nedfrysningar och upptiningar.

Förekomst av missfärgade svampar tyder på förhållanden, som kan ge upphov till röta, eftersom svampangreppen ökar träets permeabilitet och vattenhållningskapacitet.

Torrt trä med fuktkvoten under 20% respektive helt vattenmättat trä, angrips inte av röta. I senare fallet är vedcellerna helt fyllda med vatten, vilket utesluter syretillförsel och därmed svamptillväxt.

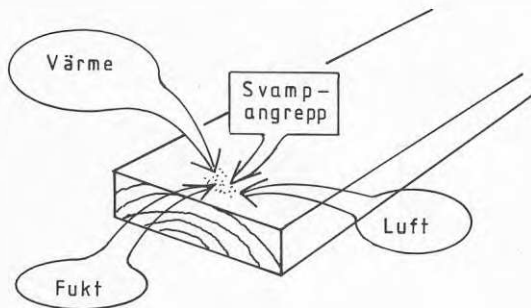


FIG. 2.27 Förutsättningar för svampangrepp är fukt, värme och luft.

De olika svamparnas angrepp sker i första hand på vedens yta, medan rötsvamp även angriper inne i veden och därmed förorsakar hållfasthetsförsämring. Även vissa blånadssvampar kan angripa veden innanför ytan och orsaka missfärgning och viss försämring av träets styrka.

Det effektivaste skyddet mot skadliga svampangrepp i byggnader är, att konstruera dem på sådant sätt med hänsyn till rådande klimatförhållanden ute och inne, att nödvändiga förutsättningar för svamptillväxt undanröjes. Ett konstruktivt skydd är alltså att skydda träet mot väta så att fuktkvoten inte överskrider 20%.

Ett kemiskt träskydd för rötangrepp erhålles då träet tillförs kemiska ämnen, träskyddsmedel, så att svampar inte kan bildas.

Om röta eller andra svampar redan förorsakat skada, måste denna åtgärdas genom att rätta till de byggnadstekniska bristerna som förorsakat det höga fuktinnehållet i konstruktionen. Nedfuktade material bytes eller torkas ut. Som komplement till de byggnadstekniska åtgärderna kan också en kemisk sanering utföras.

3 ENERGIBESPARINGSMÖJLIGHETER GENOM TILLÄGGS- ISOLERING AV BEFINTLIGT TAKBESTÅND

För att översiktligt skapa en bild av möjlig energibesparing i befintlig bebyggelse genom tilläggsisolering av byggnaders tak, är i detta kapitel sammanställt möjliga ytor för tilläggsisolering med uppskattning av befintlig värmeisoleringsstandard, samt förväntad möjlig energibesparing. Slutligen redovisas några resultat från genomförda åtgärder.

3.1 Takbestånd och dess värmeisolering. Branta och låglutande tak.

De tak som enligt dagens värmeisoleringskrav är aktuella för tilläggsisolering är huvudsakligen tak till byggnader, som byggdes före byggnormen SBN 75. I och med denna skärptes kraven markant på värmeisolering. Som jämförelse mellan nya och äldre k-värdeskrav är följande TAB. 1 sammanställd.

TABELL 1 Högsta tillåtna värmegenomgångskoefficient ($W/m^{2}C$) enligt BABS och SBN för bostäder

Byggnorm	Tak mot det fria ¹⁾	
	Bärande stomme av stenmaterial	Bärande stomme av trä
BABS 46	0,5 - 0,6	0,4 - 0,5
BABS 50	0,45 - 0,55	0,35 - 0,45
BABS 60, SBN 67	0,40 - 0,50	0,35 - 0,40
SBN 75, SBN 80	0,17 - 0,20	0,17 - 0,20

1) Två värden angivna beroende på olika temperaturzoner i landet.

Som kommentar till tabellen kan nämnas, att någon särskild aspekt på energibesparing nämns inte i de tidigare normerna. I BABS 60 sker en viss skärpning av isoleringskravet, och det påpekas vikten av att byggnadsdelarna blir tillfredsställande vindtäta. Det nämns även att det kan vara ekonomiskt fördelaktigt med kraftigare isolering än som krävs i normen. SBN 67 skärper värmeisoleringskraven genom att en byggnad avsedd för stadigvarande bruk skall vara så värmeisolerad och vindtät att lämpligt rumsklimat kan uppnås. Tidigare gällde detta huvudsakligen boningsrum. För arbetsrum uppdelas nu k-värdet för golv, väggar och tak. I SBN 75 sägs att byggnad som avses att hållas uppvärmd, värmeisoleras och tätas så att hygieniska olägenheter inte uppkommer, samt att vär-

meavgivningen och luftläckningen genom dess omslutande delar begränsas med hänsyn till god energihushållning. Byggnaden indelas i tre temperaturintervaller för inneklimatet, för vilka olika k-värden gäller. Normen skärper kraftigt kraven för byggnader som uppvärms till mer än 18°C . SBN 80 behåller kraven på värmeisolering för byggnader som uppvärms till mer än 18°C .

För att få uppfattning om behovet av tilläggsisolering av byggnaders tak krävs kännedom om befintliga takytors värmeisoleringsstandard. I utredningarna Statens institut för byggnadsforskning och institutionen för byggnadsteknik, KTH, Stockholm (1974), Statens planverk (1977) och Hammarsten (1980) uppskattas k-värdet för befintliga byggnaders bjälklag, vilket sammanställts i nedanstående FIG. 3.1, FIG. 3.2 och FIG. 3.3.

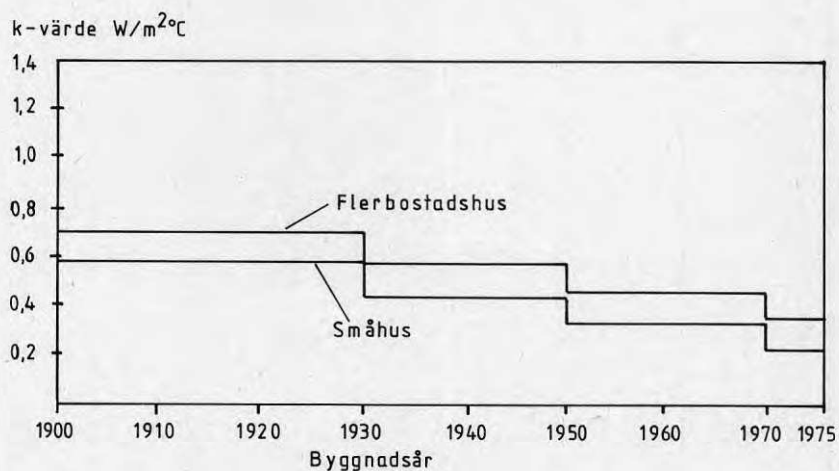


Fig. 3.1 Uppskattade k-värden för tak (vindsbjälklag) i befintlig bebyggelse med hänsyn till byggnadsår, enligt Statens institut för byggnadsforskning och institutionen för byggnadsteknik, Stockholm (1974).

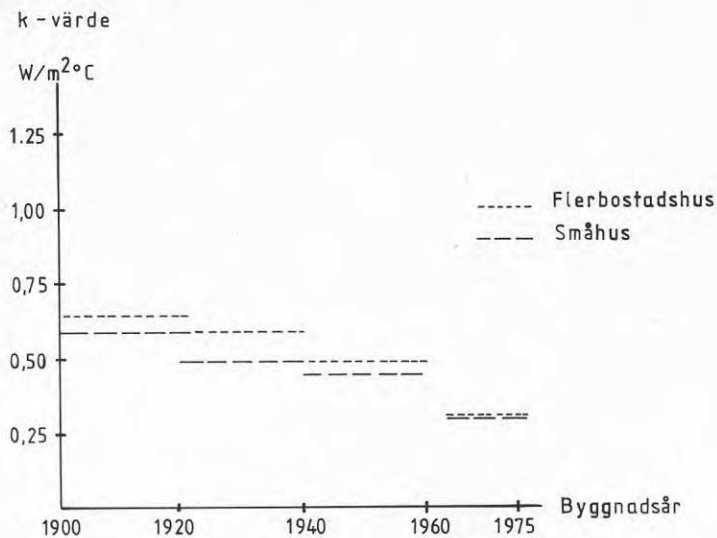


FIG. 3.2 Uppskattade k-värden för tak (vindsbjälklag) i befintlig bebyggelse med hänsyn till byggnadsår, enligt Statens planverk (1977).

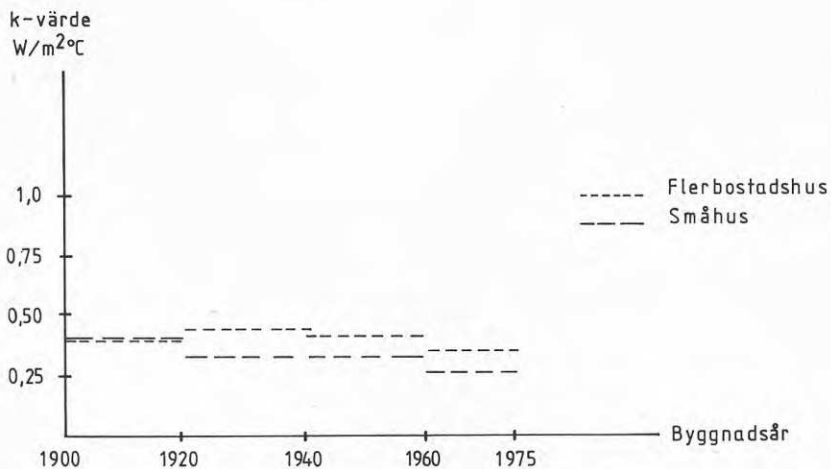


FIG. 3.3 Uppskattade k-värden för tak (vindsbjälklag) i befintlig bebyggelse med hänsyn till byggnadsår. Uppskattningen baseras på besiktning av drygt 3000 hus, slumpmässigt utvalda i 103 kommuner i landet. Enligt Hammarsten (1980).

De olika utredningsresultaten uppvisar viss spridning, vilken till en del kan ha sin orsak i de olika utredningarnas uppläggning. Den senare utredningen, Hammarsten (1980), genomfördes hösten 1977 och därmed ett par år senare än de två övriga, varför dess genomgående lägre k-värden kan ha sin förklaring i att en del ytor hunnit tilläggsisolerats mellan undersökningstillfällena. Resultaten påvisar dock genomgående goda möjligheter för energibesparing genom att förbättra värmeisoleringen.

Som en översikt över olika bjälklags och yttertaks ungefärliga värmeisoleringsstandard med hänsyn till uppbyggnad under olika tidsperioder, redovisas sammanställningar från Industrigruppen för Lätt Byggeri (1980) och från Swedisol (1978) i BIL. 1 och BIL. 2.

Förändringen av vindsbjälklagens k-värden med hänsyn till byggnadsår har sin naturliga förklaring i den för respektive tidsperiod rådande byggnadstekniken. Under 1900-talets början gjordes vindsbjälklaget vanligen av trä med fyllning av t ex slagg, torv eller sågspån. Värmeisoleringsförmågan varierar sannolikt inom vida gränser beroende på fyllningsmaterial och tjocklek. Under 30-talet började man förse flerbostadshusen av sten med betongbjälklag med fyllning av t ex slagg eller lättbetongkross. Under 50-talet blev det allt vanligare att både trä och betongbjälklag försågs med värmeisolering av mineralull.

Befintliga bjälklags och taks effektiva värmeisoleringsförmåga är även beroende av andra faktorer än ovanstående materialbeskrivning, nämligen arbetsutförandet av värmeisoleringen och därmed sammanhängande lufttäthet i konstruktionen. Möjligheterna för ett fullgott resultat hör alltså samman med konstruktionslösning och materialval och arbetsutförandet i byggnaden.

Vissa samband kan också påvisas mellan dessa faktorer och resulterande värmeisoleringsförsämring, Axén & Pettersson (1979). Otätheter i flerskiktskonstruktioner kan ofta kortsluta stora delar av isolerade partier. Glespanelkonstruktioner med ångspärren mellan glespanel och ytskikt synes öka risken för luftinläckning i konstruktionen och spridning av kall luft utmed kanalerna mellan glespanelbrädorna. På senare tid framtagna materialbesparande konstruktioner har ofta visat sig vara känsliga ur lufttäthets- och värmesynpunkt. Isoleringmaterial med lägre kvalitet tycks kräva större arbetsinsatser för god utfyllnad än högre kvaliteter, för att förhindra konvektionsströmmar i konstruktionen. Arbetsutförandet kan vara ofullständigt pga bristande kännedom om de olika materialens funktion och egenskaper. Allmänt gäller att vissa konstruktionsdelar är mera känsliga än andra, såsom bjälklags- och takstolsanslutningar, vissa isolerade bjälklags- och snedtakspartier samt fogar mellan olika byggnadsdelar. Felet utgöres oftast av otillräcklig utfyllnad och vindtätning av isoleringsmaterialet, vilket resulterar i genomblåsning i konstruktionen av kall uteluft.

Storleksordning på värmeisoleringens sämre effekt i praktiken än teoretiskt väntad varierar naturligtvis inom vida gränser. Exempelvis hade av ett hundratal vindsbjälklag 90% av flerbostadshusens och 75% av småhusens bjälklag minst 25% lägre värmeisoleringsförmåga, än vad som framgick av motsvarande tekniska beskrivningar. Anledningen visades vara nedtrampning och bristande täckning av isoleringsmaterialet, bristande utfyllnad kring takstolssträvor, stolpar och andra hinder, Carlsson & Hansson (1967).

Detta förhållande om i verkligheten lägre värmemotstånd än som svarar mot det förväntade, kan i viss mån reducera tidigare beskrivna värmeisoleringsgrad i befintligt takbestånd.

Problemet med ofullständig värmeisoleringsutfyllnad och konvektiv luftströmning och dess inverkan på värmemotståndet i byggnadskonstruktioner är behandlat av bl a Höglund (1962), Anderlind (1972), Bankvall (1977) och Kronvall (1980).

Den totala energibesparingen beror av både tilläggsisolerbar area och ursprunglig värmeisoleringsstandard. Total area av vindsbjälklag och hanbjälklag till bostadshus och lokaler, byggda fram t o m 1975, anges av Hammarsten (1980) till 220 milj. m². Uppgiften baseras på slumpmässigt utvalda drygt 3000 hus i hela landet, vars rumstemperatur var över 18°C. Industribyggnader ingår ej. Vinds- och hanbjälklagsarea, som därav bedömdes tillgängliga för tilläggsisolering på ovansidan utan särskilda ingrepp i konstruktionen i övrigt, uppskattades till 171 milj. m². Övrig bjälklagsarea där tilläggsisolering måste ske på annat sätt uppskattades till cirka 50 milj. m². Dessa bjälklagsareor är i FIG. 3.4 uppdelade på hustyper och byggnadsår med angivande av respektive areors värmeisoleringsgrad.

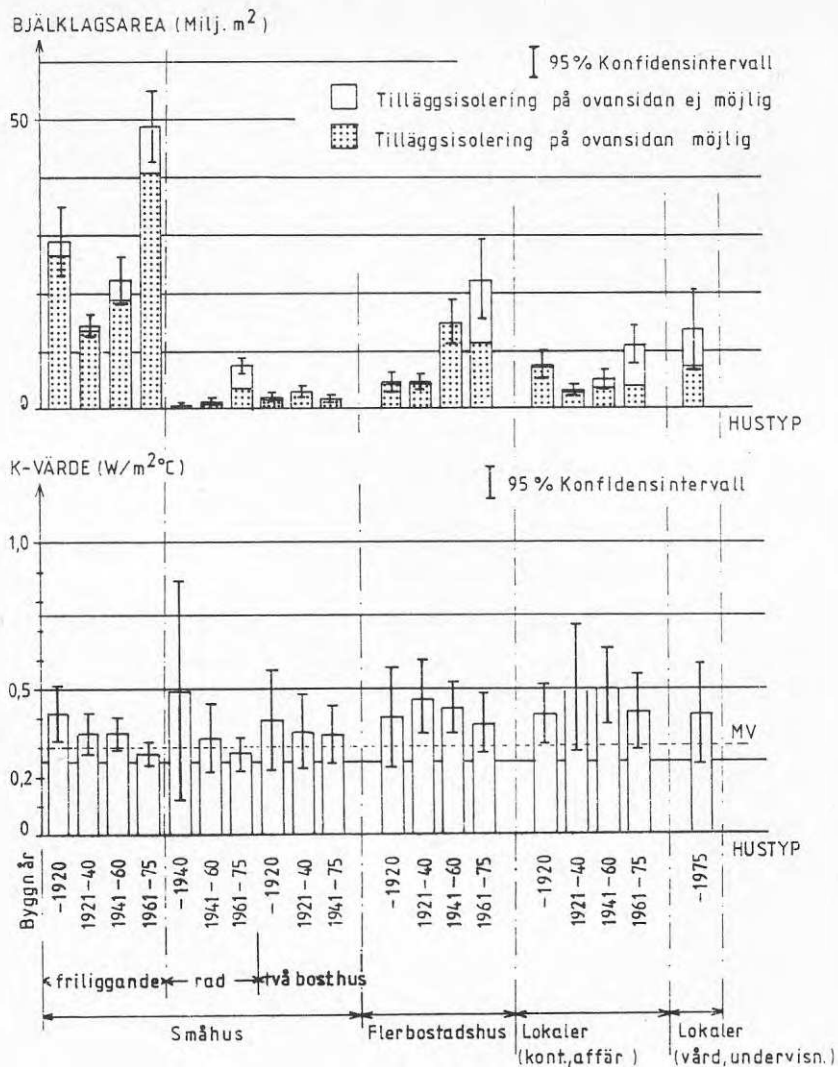


FIG. 3.4 Total area av vindsbjälklag och hanbjälklag samt motsvarande k-värden för befintligt byggnadsbestånd med hänsyn till hustyp och byggnadsår. Enligt Hammarsten (1980).

Man kan utgående från dessa uppgifter förvänta relativt stora effekter av tilläggsisoleringsåtgärder främst bland de äldre friliggande småhusen samt flerbostads- husen och lokalerna. Vilken nivå av befintlig värmeisoleringsgrad, som bör väljas som gräns för tilläggsisole- ring med hänsyn till viss energibesparing, kan studeras i följande FIG. 3.5. Graferna beskriver kumulativt fördel- ningen av hus efter bjälklagens k-värden.

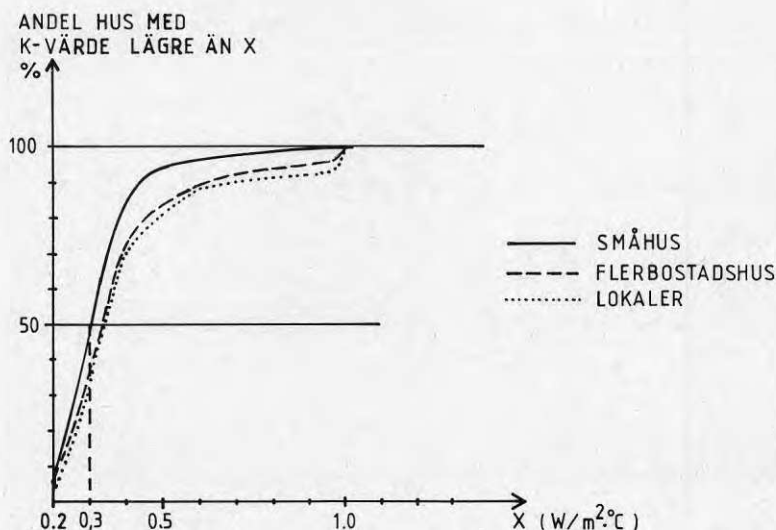


FIG. 3.5 Fördelning (kumulativt diagram) av hus efter bjälklagens k-värde, enligt Bergström & Hammarsten (1978).

Det framgår att småhusen har bättre värmeisolering i sina tak än flerbostadshus och lokaler. Man kan utläsa en ganska god besparingspotential genom att tilläggsisolera tak och vindsbjälklag, då åtminstone hälften av småhusbeståndet, och större delen av övrigt bestånd, har vinds- och hanbjälklag med värmeisolering motsvarande k-värdet $0,3 \text{ W/m}^2\text{°C}$ eller högre. Att endast få hus redovisar k-värden ned mot värdet $0,2$ beror sannolikt på att husurvalet för undersökningen sträcker sig fram till och med året 1975, och byggnormen SBN 75 med skärpta värme-

isoleringskrav (tak 0,17-0,20 W/m²°C) trädde i kraft först senare.

Jämföres ovan beskrivna bjälklags värmeisoleringsgrad med motsvarande väggars, finner man att bjälklagen har betydligt bättre k-värde, vilket sannolikt har sin förklaring i de större möjligheter som funnits att isolera horisontella ytor. Ekonomiska kalkyler visar också att det är lönsamt att vid tilläggsisolering av en byggnad i första hand utnyttja vinds- och takbjälklaget och andra horisontella och låglutande ytor för tilläggsisoleringar, vilket jämfört med övriga ytor är lätt åtkomliga och kräver relativt liten arbetsinsats även vid kraftiga tilläggsisoleringstjocklekar.

3.1.1 Omfattning av flacka tak med papptäckning och annan yttäckning

I föregående kapitel redovisade areor för tilläggsisolering avser huvudsakligen bostadshus och lokaler som värms upp till minst 18°C. För flacka tak med lutning $\leq 4^\circ$ finns uppgifter från takpappbranschen om täckta takytor med tätskiktspapp fr o m år 1950. Omkring 1950 nyproducerades cirka 5 milj. m² flacka tak per år. Under 1960 och 1970-talen ökade omsättningen till upp emot det dubbla, vilket berodde på byggnation av lättbetongtak och utvändigt isolerat plåttak. Totalt nyproducerades papptäckta flacka tak under åren 1950-1979 för bostadshus, kontorshus och offentliga byggnader med en yta av cirka 150 milj. m². Motsvarande yta för hallbyggnader för industrier, lagerlokaler etc., är cirka 30 milj. m². Utvecklingen av nyproducerade papptäckta flacka tak samt andelen renovering framgår av FIG. 3.6.

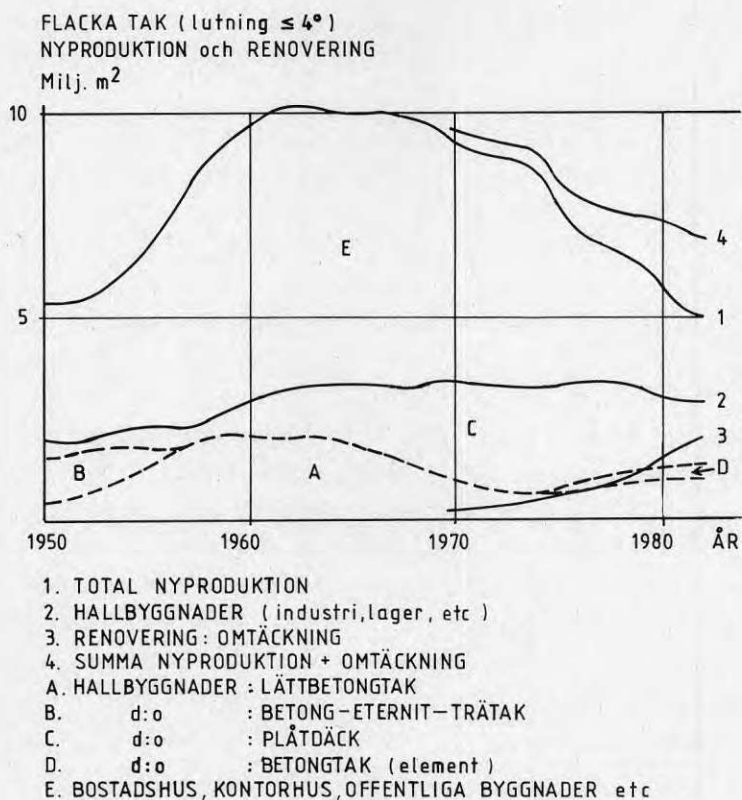


FIG. 3.6 Nyproduktion och renovering av flacka tak (lutn. $\leq 4^\circ$) fr o m år 1950. Enligt takpappfabrikanternas organ Takrådet.

Ovan redovisade papptäckta tak utgör i storleksordningen 90-95% av totalt byggda flacka tak. Övriga flacka tak är täckta med annat material, såsom plåt, gummiduk, folier av exempelvis PVC eller PIB, etc.

3.2 Energibesparingspotentialen

I regeringens proposition 1977/78:76 läggs fram förslag om riktlinjer för energihushållning i befintlig bebyggelse för perioden 1978-1988. Målet är att nettoenergiför-

brukningen i dagens byggnadsbestånd år 1988 skall vara 32 till 39 TWh lägre än för närvarande. Sparmålet motsvarar en bruttoenergibesparing på mellan 39 och 48 TWh per år och motsvarar mellan 25 och 30% av den totala energiförbrukningen i dagens byggnadsbestånd.

I rapporten Sandberg (1979) redovisas beräkningar av möjlig energibesparing i hela husbeståndet, som kan erhållas genom byggnadstekniska åtgärder. Beräkningarna baseras på skattade bjälklagsareor enligt FIG. 3.4, vilka bedömts som tillgängliga för tilläggsisolering på ovansidan. Den sålunda skattade besparingspotentialen redovisas dels för alla hustyper, dels för grupperna småhus, flerbostadshus och lokaler i FIG. 3.7. Besparingen avser minskningen i värmetransmissionsförlusterna genom konstruktionen, då tilläggsisolering sker på alla tillgängliga bjälklagsytor utan hänsyn till befintlig värmeisoleringsgrad, respektive om tilläggsisolering sker endast på de ytor där befintligt minsta k-värde är 0,30 i zon I-II och 0,35 zon III-IV ($W/m^2\text{ }^{\circ}\text{C}$). Beräkningarna är gjorda för inneklimat med temperatur $> 18^{\circ}\text{C}$ med hänsyn till landets fyra temperaturzoner enligt SBN.

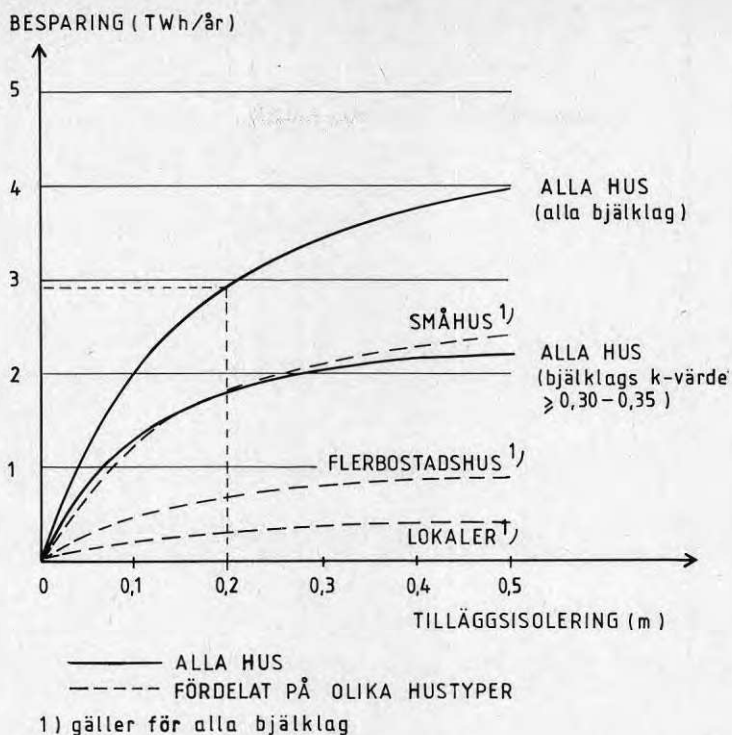


FIG. 3.7 Skattad energibesparingspotential, enligt Sandberg (1979). Gäller för hus och lokaler vars innetemperatur $> 18^{\circ}\text{C}$.

Vid bedömning av energibesparing genom tilläggsisolering av vindsbjälklag, måste hänsyn tagas till att uppskattade k-värden sannolikt är högre än beskrivna, beroende på icke korrekt utfört isoleringsarbete och/eller att värmeisoleringen på något sätt skadats, exempelvis sammanpressats. Om befintlig värmeisolering justeras till fullgod isolering i samband med tilläggsisoleringsåtgärden, ökar sannolikt energibesparingen avsevärt utöver vad själva tilläggsisoleringen ger. Av tilläggsisolering följer även att takets inneryta blir varmare och därmed den operativa temperaturen högre, varför innetemperaturen kan sänkas och därmed ytterligare reducera värmeförlusterna.

Total energibesparing, dvs reducering av värmeförluster genom takbjälklag, synes sålunda vara i storleksordningen 2 TWh/år om alla takbjälklag enligt ovan som har k-värden minst 0,30 i zon I-II och 0,35 i zon III-IV, tilläggsisoleras med 20 cm värmeisolering. Om alla takbjälklag oavsett befintligt k-värde tilläggsisoleras med 20 cm värmeisolering göres ytterligare besparingar på 1 TWh/år.

En jämförelse mellan skattade energibesparingar för sådana byggnadstekniska åtgärder i en- och flerbostadshus, som förenklat uttryckt är lämpliga att utföra med hänsyn till allmänt underhåll och drift samt 1979-års energisparstöd, Hammarlund (1980) ger följande fördelning

<u>Åtgärd</u>	<u>Nettoenergi TWh/år</u>
Utbyte av fönster till treglasfönster	0,15
Tätning mellan karm och båge	1,6
Utvändig tilläggsisolering (10 cm) av ytterväggar	2,2
Tilläggsisolering (10 cm) av vinds- och hanbjälklag	1,35

Av dessa åtgärder kan bjälklagens tilläggsisolering göras tjockare än beskrivna 10 cm för en relativt låg kostnad. Det betyder god lönsamhet för tilläggsisolering av bjälklag och tak även vid ganska stora isoleringstjocklekar.

3.3 Fastighetsägares motiv för tilläggsisolering

För att bilda en uppfattning om tänkbara frivilliga energibesparingsåtgärder i framtiden är det intressant att studera motiven för de åtgärder som är genomförda. Följande motiv kan man finna:

- Energibesparing
- Göres i samband med omläggning av takets tätskikt
- Göres i samband med renovering, ombyggnad eller tillbyggnad av byggnaden i övrigt
- Göres i samband med tilläggsisolering av byggnaden i övrigt, komma till rätta med fuktproblem och värme-läckageproblem i taket.

I de allra flesta fall av tilläggsisoleringar har fastighetsägare till flerbostadshus och lokaler klart strävat efter att utforma åtgärden efter lönsamhetskalkyler med hänsyn till investering och energibesparing. Hos villaägare är inte tilläggsisoleringen så hårt knuten till framräknade pay-off-tider etc., vilket tyder på att det ofta ligger ett allmänt intresse för energibesparingsåtgärder.

I en undersökning om hur statligt stödda energisparåtgärder utförts har de hus studerats, som beviljats statligt energisparstöd under 1977/78 för åtgärden tilläggsisolering av vägg och vindsbjälklag, Hammarsten & Persson (1980). Härvid har framkommit att det dominerande motivet för tilläggsisolering på vinden är hög energiförbrukning för såväl småhus- som flerbostadsägare, vilket framgår av FIG. 3.8 och FIG. 3.9.

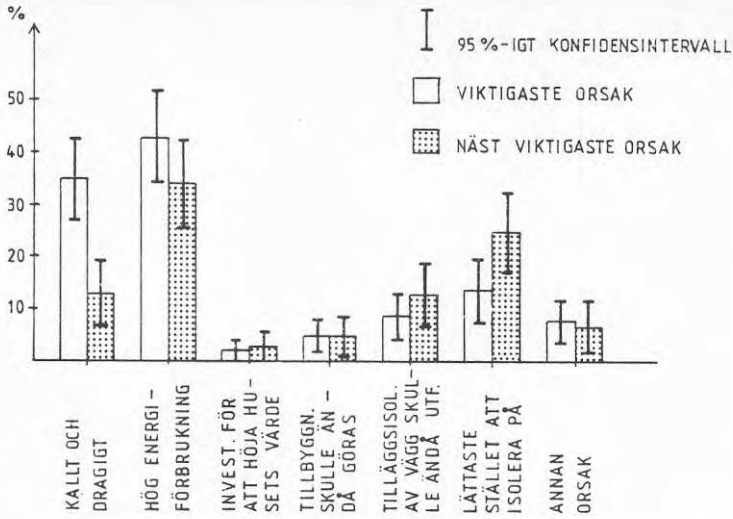


FIG. 3.8 Småhusägares motiv till valet av vindsisolering, enligt Hammarsten & Persson (1980).

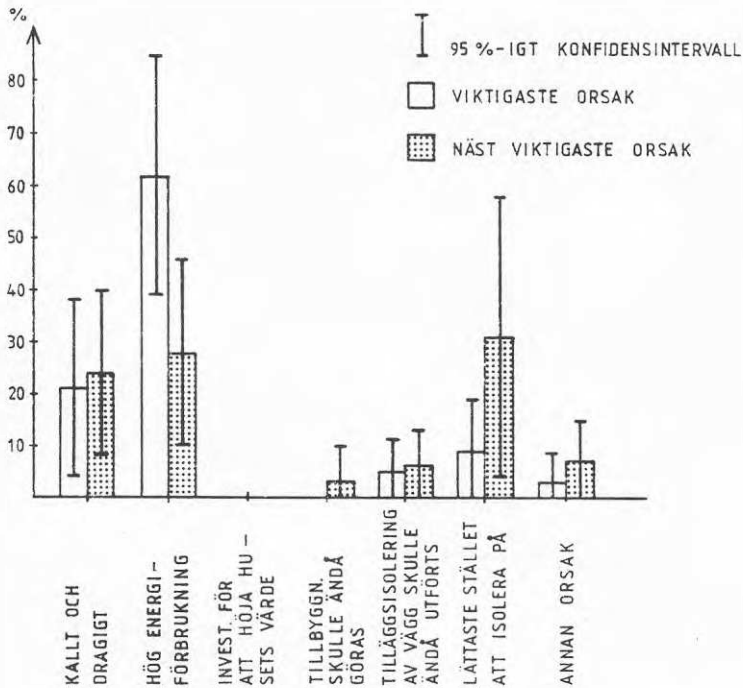


FIG. 3.9 Flerbostadsägares motiv till valet av vindsisolering, enligt Hammarsten & Persson (1980).

Vid val av tjocklek på tilläggsisoleringen har framkommit att ekonomiska lönsamhetskalkyler haft en avgörande roll, vilket ofta medfört tjockare isoleringar än vad kraven för lån och bidrag inneburit.

3.4 Exempel på energibesparingar genom tilläggsisolering

I en utredning om hur vissa energibesparande åtgärder påverkar energiåtgången för uppvärmning av bostäder, Bostadsdepartementet Ds Bo 1980:8, har man studerat energispareffekter av olika sparåtgärder, bland annat tilläggsisolering av vindar i småhus och flerbostadshus. Undersökningen bygger på ett slumpvist utvalt stort antal hus, där vissa energisparåtgärder vidtagits (ca 3000 hus, fördelat över hela landet). De faktiska genomsnittliga spareffekterna är baserade på insamlade uppgifter om husens energiförbrukning och byggnadstekniska standard före och efter genomförd energisparåtgärd.

Man har vid besiktning av genomförda sparåtgärder funnit, att det vanligaste tilläggsisoleringsutförandet på vindar består av mineralull, som läggs direkt ovanpå befintlig bjälklagsisolering. Vindsutrymmena är mer eller mindre lättåtkomliga. I lättåtkomliga vindsutrymmen läggs mineralull ut på bjälklaget i skivor eller längder, som sedan täcks med en mineralullsmatta med påklistrat vindskydd av papp. Vid mindre isolertjocklekar används enbart den pappförsedda mattan. Lös mineralull kan även blåsas upp på vinden. Därvid ökar man isolertjockleken något, beroende på densitetsvariationer i den färdiga isoleringen och frånvaron av speciellt vindskydd ovanpå denna. Tilläggsisoleringens tjocklek varierar normalt mellan 5 cm och 20 cm med dominans kring 10-15 cm. I hus med uppvärmda vindsutrymmen tilläggsisoleras förutom det egentliga vindsbjälklaget, hanbjälklaget, ofta även snedtak och stödbensväggar. Alla isoleringstyperna behandlas som vindisoleringar.

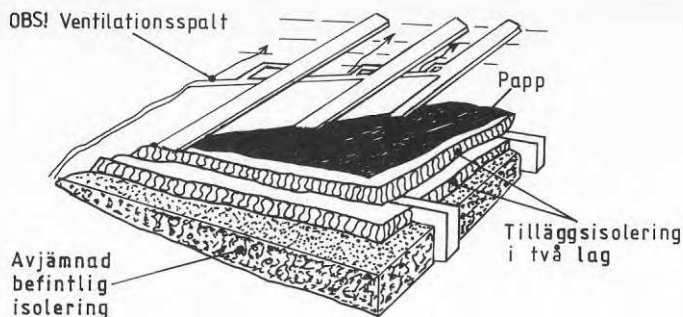


FIG. 3.10 Vindsbjälklag tilläggsisoleras vanligen från ovansidan. Det är viktigt att vid tilläggsisolering särskilt sörja för god ventilering av taket.

En intressant uppföljning av tilläggsisoleringens uppdelning på olika konstruktionsdelar på vindarna visas i FIG. 3.11, där man finner att den största arean som tilläggsisolerats är vindsbjälklag. I Malmöhus län har dock närmare hälften av vindsisoleringar i småhus avsett stödbensvägg, snedtak och hanbjälklag.

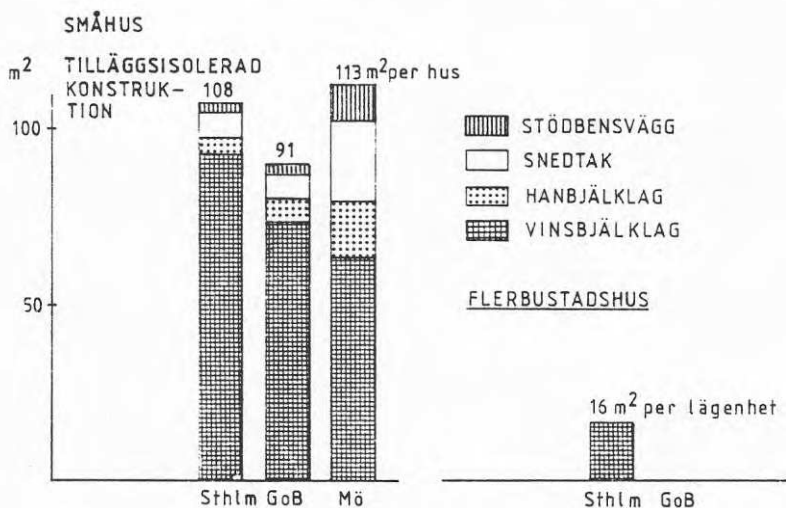


FIG. 3.11 Tilläggsisolerade konstruktioner vid vindsisolering i småhus resp. flerbostadshus. Avser åtgärder utförda i Stockholms län, Göteborgs- och Bohus län och Malmöhus län. Fördelning med hänsyn till åtgärdad area. Enligt Bostadsdepartementet Ds Bo 1980:8.

De småhus och flerbostadshus som försetts med tilläggsisolering på vinden är huvudsakligen uppförda mellan 1940 och 1975. I Göteborgs- och Bohus län är anmärkningsvärt nog en stor del av de vindstilläggsisolerade småhusen byggda efter 1960, vilket vittnar om en vilja hos fastighetsägarna att tilläggsisolera även ganska nyuppförda hus.

Förbättring av vindsisoleringens k-värden i hus undersökta i ett av länen, Stockholms län, framgår av FIG. 3.12. Efter tilläggsisoleringsåtgärden synes de flesta vindbjälklagen i det närmaste fått nybyggnadsstandard.

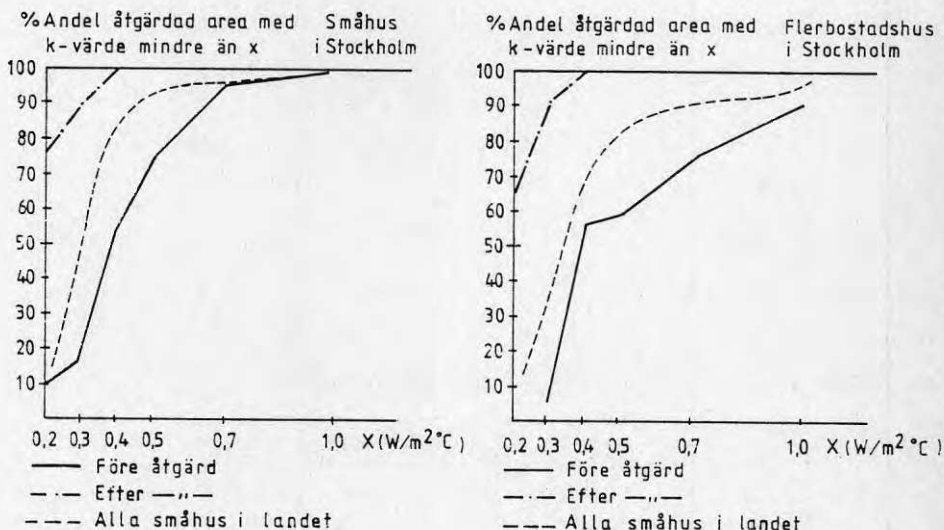


FIG. 3.12 Fördelning av vindsisolerad area efter vindskonstruktionernas värmegenomgångskoefficient (k-värden) före respektive efter åtgärd (kumulativt diagram). Enligt Bostadsdepartementet Ds Bo 1980:8. I figuren har också inritats motsvarande fördelning för hela landets bestånd av småhus respektive flerbostadshus före åtgärd enligt Bergström & Hammarsten (1978).

Uppfattning om olika åtgärdsprogramms inverkan på energibesparingen, såsom vindsisolering, vindsisolering kombinerat med radiatortermostatventiler, samt som jämförelse väggisolering, kan utläsas ur FIG. 3.13 och FIG. 3.14, Bostadsdepartementets rapport Ds Bo 1980:8. Materialet avser genomsnittlig uppmätt och teoretisk energibesparing från åtgärdade hus i fem län i landet.

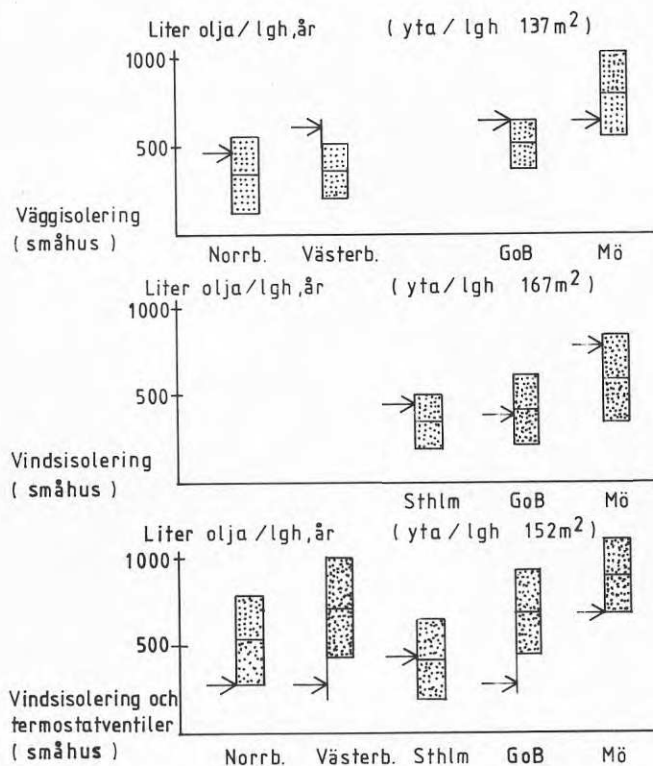


FIG. 3.13 Genomsnittligt uppmätt energibesparing med 95% konfidensintervall (skrafferad yta) och genomsnittlig teoretisk besparing (pil). Enligt Bostadsdepartementet Ds Bo 1980:8.

I nedersta diagrammet i FIG. 3.13 är den teoretiska besparingen beräknad som om husen enbart vindsisolerats. Den större uppmätta besparingen beror därför sannolikt på termostatventilernas styrning och även tänkbar sänk-

ning av inomhustemperaturen. Mittersta diagrammet kan möjligen spegla effekten av en god tilläggsisolering, vars spareffekt i viss mån reducerats på grund av en förhöjd inomhustemperatur.

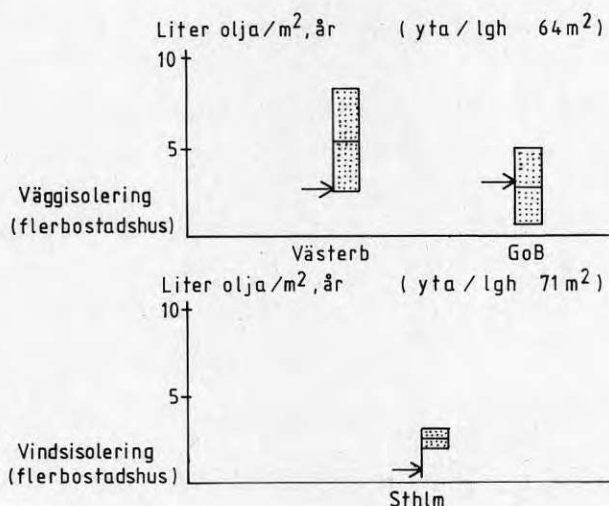


FIG. 3.14 Genomsnittligt uppmätt energibesparing med 95% konfidensintervall (skrafferad yta) och genomsnittlig teoretisk besparing (pil). Enligt Bostadsdepartementet Ds Bo 1980:8.

Man finner för flerbostadshusen en högre reell energibesparing vid vindsisolering än teoretiskt beräknad. Det kan sannolikt bero på att vindsisoleringen kraftigt minskat värmebehovet för de högst belägna lägenheterna och därigenom gett förutsättningar för en allmän temperatursänkning i hela huset. I hus med dåligt inreglerad värmeanläggning är nämligen de högst belägna lägenheterna ofta dimensionerade för framledningstemperaturen till radiatorerna. Lägre belägna lägenheter tillförs därvid för mycket värme. Eftersom vindsisoleringen minskar värmebehovet hos de högst belägna lägenheterna, kan framledningstemperaturen sänkas, vilket medför en temperatursänkning i hela huset. Detta är en viktig effekt av vinds-

isolering i dåligt inreglerade hus, något som inte alltid beaktas vid bedömning av energibesparingen. Det är inte heller gjort vid den teoretiska beräkningen i FIG. 3.14.

Generellt kan sägas att spareffekterna för byggnadstekniska åtgärder är goda. Åtgärds kombinationen tilläggsisolering av vindsbjälklag och installation av radiator-termostatventiler har medfört en mycket god energibesparing.

Med hänsyn till vindsisoleringens goda besparingseffekt i förening med dess relativt enkla appliceringsmöjligheter med i huvudsak isolering av horisontella ytor och därefter eventuellt en enkel yttäckning, gör att denna energibesparingsåtgärd är mycket attraktiv ur såväl privatekonomisk som nationalekonomisk synpunkt.

I ett särskilt projekt om olika sparåtgärders effekt på energiförbrukningen, har man ingående studerat ett äldre flerfamiljsområde på cirka 100 lägenheter i Ulvsunda, Höglund et. al. (1980). Forskningsobjektet består av 3-vånings lamellhus som uppfördes omkring 1940 med för den tiden representativ byggnadsteknik och värmeteknisk standard, dvs låg värmeisoleringsgrad i omslutande byggnadsdelar. Åtgärderna för energibesparingen bestod i såväl tilläggsisolering av väggar och tak som trimning av uppvärmningssystemet jämte temperaturmätning. Efter noggranna studier i de enskilda husen kunde man avläsa en reducering av den totala energiförbrukningen med upp till nära hälften av ursprunglig förbrukning, dvs från ca 60 till ca 32 l olja per m² lägenhetsyta och år, i det fall där alla åtgärderna samverkat. Sett efter ekonomisk lönsamhet kunde följande rangordning göras för de vidtagna åtgärderna, med hänsyn tagen till aktuella energibidrag och lån:

- 1 tilläggsisolering av vindsbjälklag
- 1 tätning av fönster och dörrar

- 1 justering av värmesystemet och temperatursänkning
- 2 förbättring av pannverkningsgraden
- 2 tilläggsisolering av ytterväggar

Man har särskilt konstaterat att byggnadstekniska åtgärder bör följas av injustering av värmesystemet, för att inte den förväntade energibesparingen skall utebli pga förhöjd rumstemperatur.

4 INVENTERING AV UTFÖRD OCH PLANERAD TILLÄGGS-ISOLERING AV TAK

4.1 Exempel på tilläggsisoleringar och problem

Tilläggsisolering av byggnader har av förklarliga skäl aktualiserats först under senare tid och har också i viss omfattning genomförts, då främst i vårt äldre byggnadsbestånd. Enligt Hammarsten & Persson (1980) är 70% av åtgärdade småhus och närmare 90% av åtgärdade flerbostadshus byggda före 1950. Trots att det ej föreligger någon lång erfarenhet av tilläggsisoleringars funktion i praktiken, har en del problem uppenbarats, vilka är nödvändiga att ta hänsyn till vid framtida projekteringsarbeten med tilläggsisoleringar.

Innehållet i detta kapitel baseras på information som erhållits vid ett 50-tal sammanträffanden med byggfolk, som på ett eller annat sätt har haft att göra med tilläggsisoleringar, såsom folk inom privat, kommunal och statlig byggnadsförvaltning, takentreprenörer, konsulter, materialtillverkare etc. Redovisningen ger exempel på aktuella konstruktionsutföranden och belyser förekommande problem.

Tilläggsisolering av tak har förekommit i de tre möjliga former som beskrivits i KAP. 2.3, nämligen utvändigt, inuti taket och invändigt. Det vanligaste utförandet i kalltak är isolering direkt på bjälklaget, och på varmtak isolering utvändigt. Invändig tilläggsisolering förekommer

mer sällan. Som värmeisoleringsmaterial har man använt mineralull i skivor, mattor eller som lösull, styren-cellplast i skivor eller som lösa cellplastkuler, och uretancellplast i skivor eller som sprutats på platsen. Utveckling av nya material förekommer, exempelvis cellulosafiber i olika former. Som komplettering och utfyllnad kring genomföringar och andra hinder användes ibland sågspån eller annat löst material, lösull etc.

Värmeisoleringsmaterial i form av lösa fyllningar har vunnit stort intresse i de fall, där det har kunnat sprutats direkt i konstruktionen. Fördelen ligger arbetstekniskt i det enklare produktionsförfarandet med i princip 1 man vid sprutaggregatet på marken utanför byggnaden, och 1 man på vinden med sprutmunstycket, istället för flera man för materialtransport plus hanteringen på vinden. Ofta är också befintliga öppningar, inspektionsluckor etc., tillräckliga för att nå in med sprutmunstycke och material på platsen. Lösa fyllningar underlättar också för en god utfyllnad kring takstolssträvor, stolpar och andra hinder. Den måste dock appliceras med viss övertjocklek, för att kompensera för sjunkning, samt för luftrörelser i det övre skiktet.

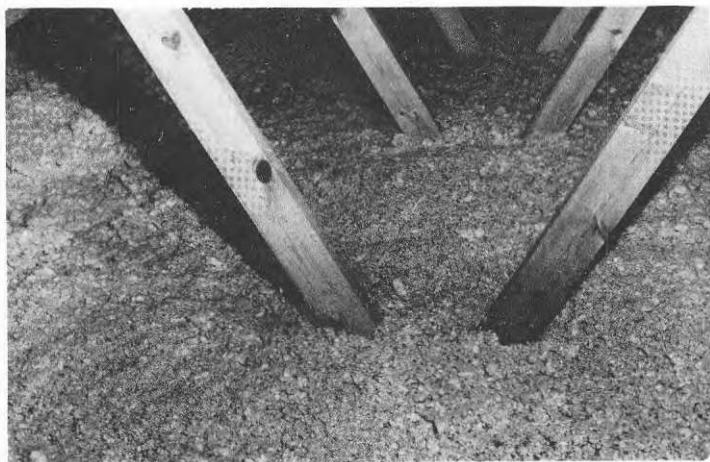


FIG. 4.1 Lös fyllning fyller ut väl intill strävor och andra hinder.

Lösa fyllningar användes på vindsbjälklag till oinredda vindar och liknande. Mineralullsskivor och cellplastskivor användes vid tilläggsisolering av tak både invändigt och utvändigt. De användes även i kalltak på bjälklag i både oinredda och inredda vindar. Mot ventilationsutrymmet är mineralullsskivorna täckta med en vindskyddsbeklädd mineralullsmatta. Vid invändig tilläggsisolering förses varma sidan med ångspärr, om konstruktionen i övrigt är en lätt konstruktion.

Styrencellplastkulor har i några fall använts som tilläggsisoleringmaterial. Det blåses med hjälp av fläkt in i takets ventilationsspalt och avses att fylla ut detta. Metoden är dock tveksam, eftersom isoleringsmaterialet kraftigt ökar luftströmningsmotståndet i spalten och följaktligen begränsar ventilationen. Därmed äventyras takets ursprungliga funktion med en ventilerande luftspalt, som för bort eventuellt inläckande fukt. Förutsättning för att metoden skall fungera är antingen en fullständig luft- och diffusionstätning på takets varma sida, vilket är svårt att åstadkomma, eller att skapa förutsättningar för sådan luftomsättning i den fyllda spalten, att fukt ej magasineras i taket. En sådan luftströmning medför dock en viss försämring av tilläggsisoleringseffekten. Den kan studeras med hjälp av EKV. (2.33) och EKV. (2.11).

Tilläggsisolering av kalltak och parallelltak. Som exempel beskrivs först ett brant sadeltak på en skolbyggnad med oinredd vind, vilket i tilläggsisolerat utförande visas i FIG. 4.2. Här ersattes befintlig värmeisolering av cirka 1 cm mineralullsmatta (sammantryckt från 3 cm) med 25,6 cm mineralullsskivor och matta med vindskyddande papp. Ny ångspärr av plastfolie placerades ovanifrån i taket före ny värmeisolering. Ångspärren täckte in även bjälklagsbalkarna enligt FIG. 4.3. I sådana fall med ångspärren inuti konstruktionen måste risken för kondens

eller andra fuktskador särskilt kontrolleras. Med hänsyn till värmeisoleringens praktiska utförande i byggnaden, finns anledning att betona nödvändigheten av att särskilt ta hänsyn till de utförandetekniska möjligheterna för en föreskriven åtgärd. Så till exempel är detaljen vid takfoten bakom liggande panelen i FIG. 4.2 en sådan typisk svår del, som är viktig ur värmeisoleringssynpunkt. Den kräver sannolikt vid utförandet särskild uppmärksamhet och noggrannhet för att fungera tillfredsställande.

Det är dock mest vanligt att befintlig värmeisolering av exempelvis sågspån, kutterspån, slagg eller mineralull, får ligga kvar och kompletteras av den nya tilläggsisoleringen. Därvid är det viktigt att inga luftspalter uppstår någonstans i den totala isoleringen. Sådana brister har i flera fall visat sig ha uppstått mellan gammal och ny isolering, då den gamla inte fullständigt fyllt utrymmet mellan bjälklagsbalkarna, FIG. 4.4.

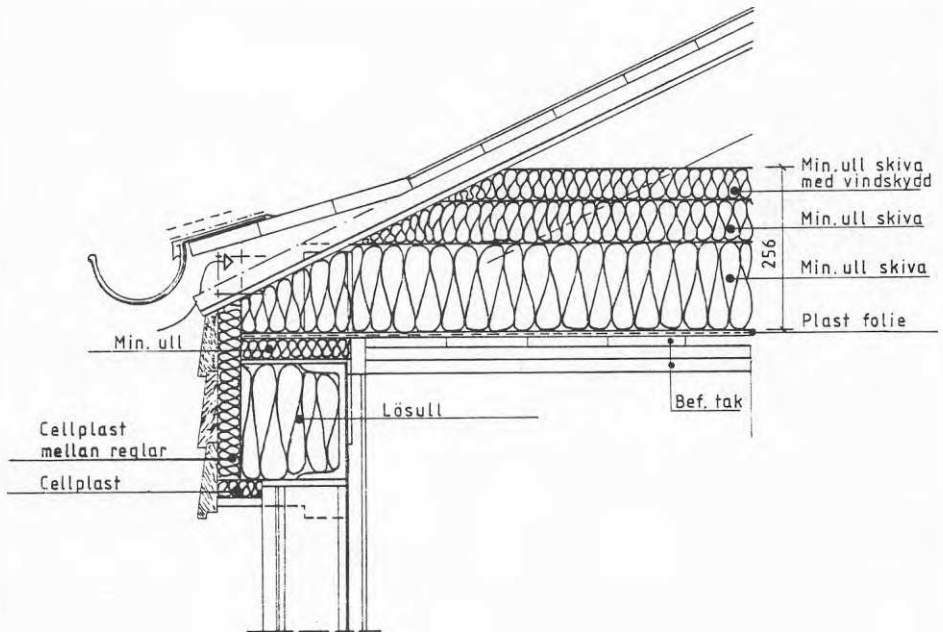


FIG. 4.2 Tilläggsisolering av ett bjälklag till en oinredd vind i en skolbyggnad.

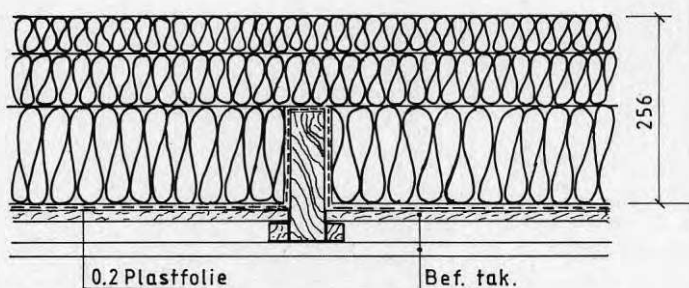


FIG. 4.3 Ångspärren på värmeisoleringens varma sida täcker in även bjälklagsbalkarna. I sådana fall måste risken för fuktskador kring balkarna särskilt studeras.

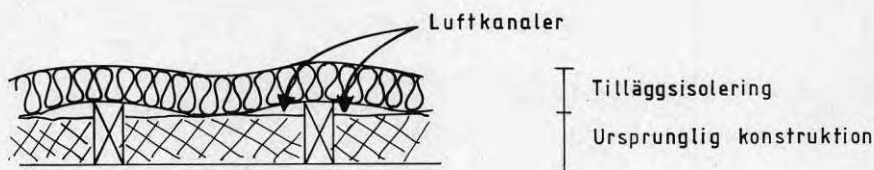


FIG. 4.4 Luftkanaler mellan befintlig och ny värmeisolering uppstår lätt, vilket försämrar isoleringseffekten.

I vindar till flerbostadshus, som inretts med lägenhetsförråd, s k vindskontor, vill man vid tilläggsisolering eftersträva så lite störning som möjligt. Man vill helst inte behöva flytta befintliga förråd och däri förvarad materiel från vinden under arbetet. Detta har visat sig vara möjligt genom att på exempelvis betongbjälklag lägga uretancellplastskivor direkt på underlaget. Skivorna mon-

teras med spår och fjädrer som limmas. Skivorna läggs kant i kant mot befintliga regler för förrådsavskiljande nätväggar etc. Ovanpå uretancellplastskivan läggs en 6 mm träfiberskiva med spont och not, som limmas mot varandra. Därefter kapas förrådsdörrarna och anpassas till rätt höjd, FIG. 4.5.

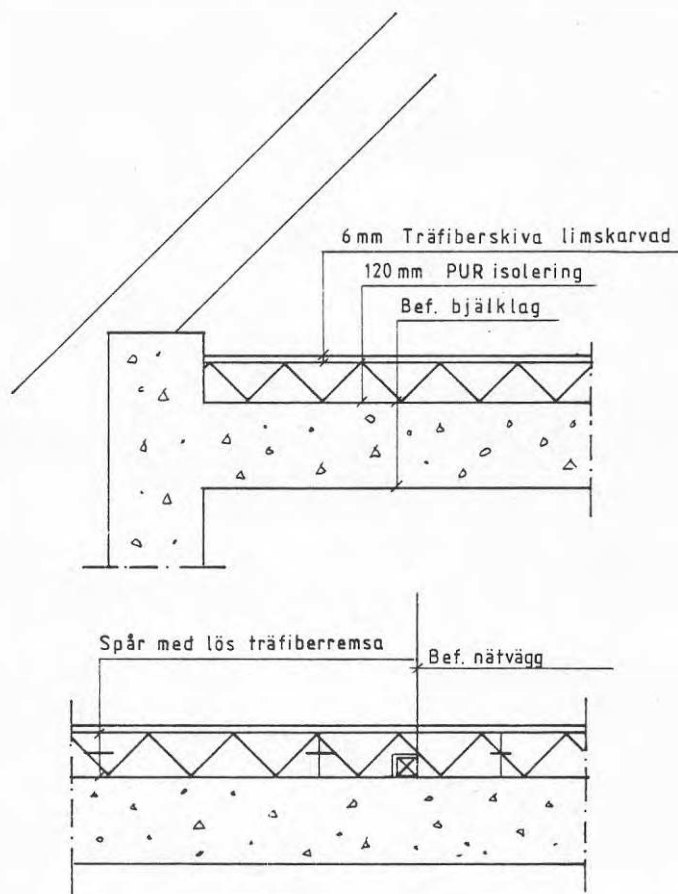


FIG. 4.5 Tilläggsisolering på betongbjälklag med uretancellplastskivor.

Inredda vindar på betongbjälklag respektive träbjälklag kan i princip tilläggsisoleras enligt FIG. 4.6. Förutom dessa åtgärder kan det förekomma att yttertakets tilläggsisoleras över stödbensvinden, med eller utan isolering

av stödbensväggen. Det påverkar dock dagens tillgängliga energisparstöd till nackdel för fastighetsägaren, eftersom uppvärmd horisontell yta ökar.

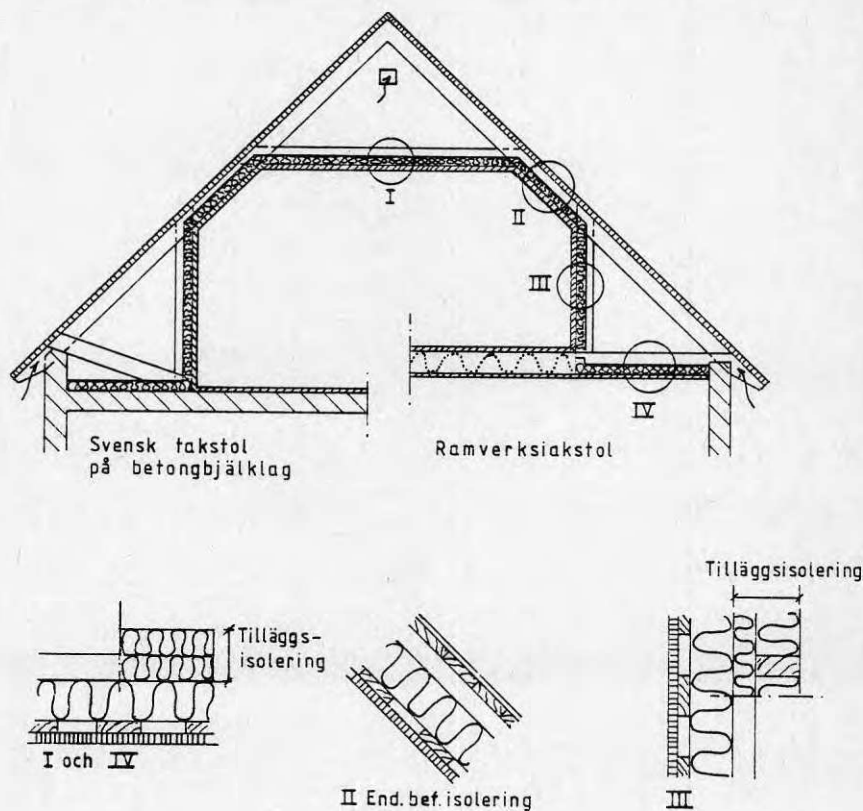


FIG. 4.6 Tilläggsisolering av bjälklag till inredda vindar.

Vid isoleringsarbetet måste tillses att luftspalten i takets parallelltaksdel samt övriga ventilationsöppningar ger möjlighet till en tillfredsställande ventilation i taket. Om yttertakets isoleras ned till anslutande yttervägg, då lämpligen som ett parallelltak enligt detalj II i FIG. 4.6, bör även stödbensvinden ventileras, Levin (1981).

Exempel på ett vanligt förekommande uppstolpat kalltak över betongbjälklag till flerbostadshus visas i FIG. 4.7. Yttertakets lutning varierar för olika hus mellan 5° och 30° . Befintlig värmeisolering är sågspån, slagg, sand eller aska, eller i vissa fall lättbetongkross. Tilläggsisolering sker ofta med lös fyllning, t ex lösull eller cellulosafiber, eller med mineralullsmattor.

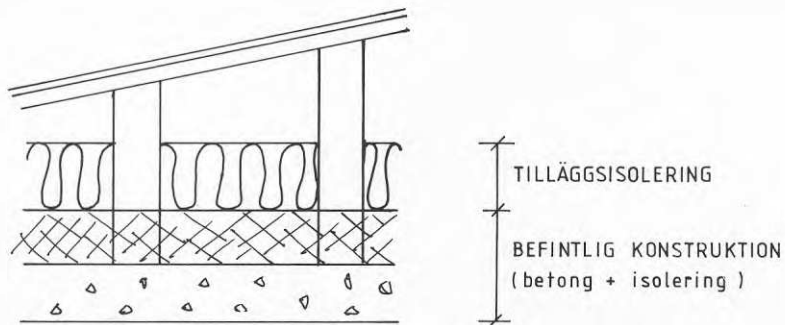


FIG. 4.7 Uppstolpat tak på betongstomme tilläggsisolerar ofta med lösull.

Är ventilationsutrymmet svårtillgängligt, speciellt invid takfot vid lutande yttertak, ställs det stora krav på arbetsutförandet vid tilläggsisoleringen. Isoleringsmaterialet måste fylla ut sitt avsedda utrymme och förses med vindsättning. Ventilationsspalt mot yttertaget måste säkerställas. Sker tilläggsisolering med lös fyllning, får inte denna vid appliceringen, sprutningen, sätta igen ventilationsspalten, vilket har förekommit speciellt i trånga utrymmen. Anvisningar för utförande och kontroll bör utarbetas med särskild hänsyn till dessa problem.

Om ventilationsutrymmet är litet och otillgängligt för isoleringsarbete och yttertakets lutning är låg eller ingen, exempelvis parallelltak, är det möjligt att tilläggsisolera hela takkonstruktionen utvändigt, Korsgaard

et. al. (1981), vilket hittills är gjort som provobjekt i Sverige, se vidare i KAP. 4.2. På ett av dessa tak bestod tilläggsisoleringen av mineralullsskivor som klistrades mot befintlig papptäckning, och täcktes på konventionellt sätt med ny papptäckning. Ett annat tak tilläggsisolerades enligt omvända-tak principen med extruderade styrencellplastskivor, direkt klistrade mot befintlig papptäckning. Skivorna var vid appliceringen täckta med pågjuten plastbetong, som fungerar som yttäckning. Vid dimensionering av isoleringsmängd måste hänsyn tagas till skarvarna mellan skivorna, Petersson (1980).

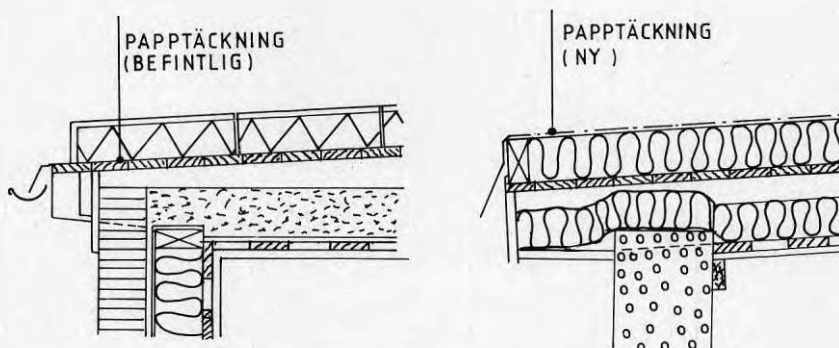


FIG. 4.8 Utvändigt tilläggsisolering av flacka tak. Provtak. Omvända tak-metoden respektive konventionell takmetod med papptäckning.

En alternativ lösning med yttäckning av plåt har diskuterats med utförande enligt FIG. 4.9. Erfarenhet från genomfört projekt föreligger dock inte för närvarande.

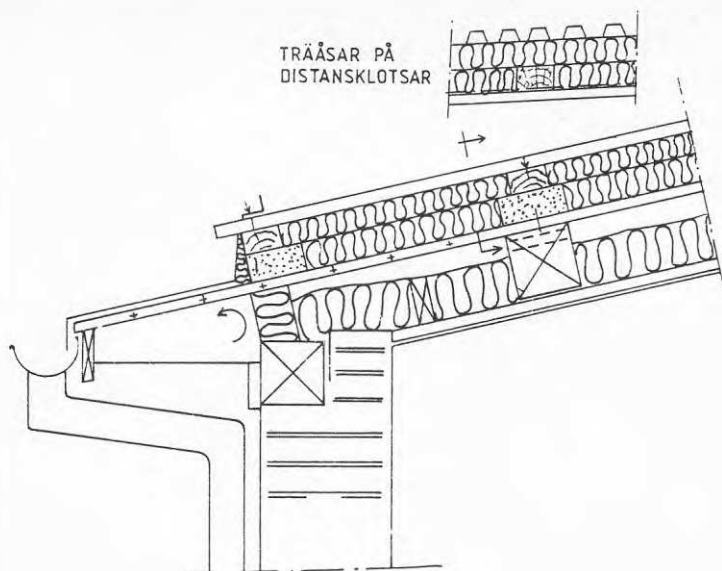


FIG. 4.9 Utvändig tilläggsisolering på flacka tak.
Plåttäckning. Principlösning, ännu ej utförd.

Det kan vara av intresse att påpeka att den ekonomiska lönsamheten vid utvändig tilläggsisolering ökar med behovet av renovering av det befintliga tätskiktet.

Tilläggsisolering av horisontella varmtak sker ofta i samband med att tätskiktet ändå skall åtgärdas. Isoleringen appliceras direkt på det befintliga tätskiktet, och täcks in med nytt. Då tilläggsisoleringen sker på takets utsida är det möjligt att samtidigt bygga upp lutning mot avloppet genom att använda snedskuren värmeisolering. Det innebär minskande värmemotstånd och som följd ökande yttemperatur mot rännदारar och takbrunnar, vilket skapar gynnsamma förutsättningar för smältvatten att rinna av taket. Om tilläggsisoleringen sker enligt omvända tak-metoden, justeras befintligt tätskikt, varefter isoleringen appliceras på detta.

Exempel på utvändigt tilläggsisolerat betongbjälklag och Nilkon-bjälklag visas i FIG. 4.10.

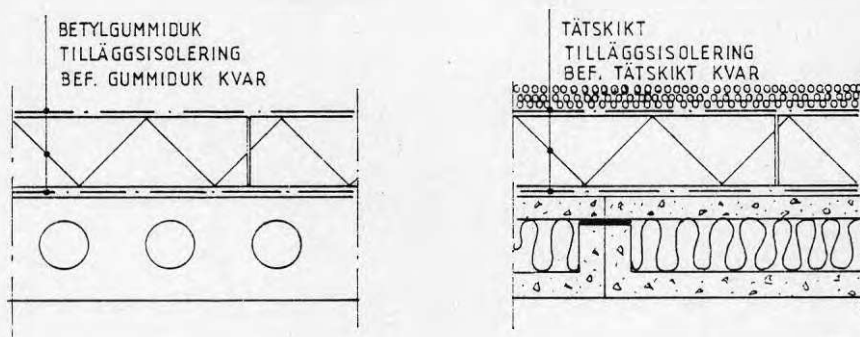


FIG. 4.10 Tilläggsisolering med cellplastskivor plus tätskikt på horisontella varmtak.

En sjukvårdsbyggnads lättbetongtak tilläggsisolerades med 120 + 20 mm mineralull enligt FIG. 4.11.

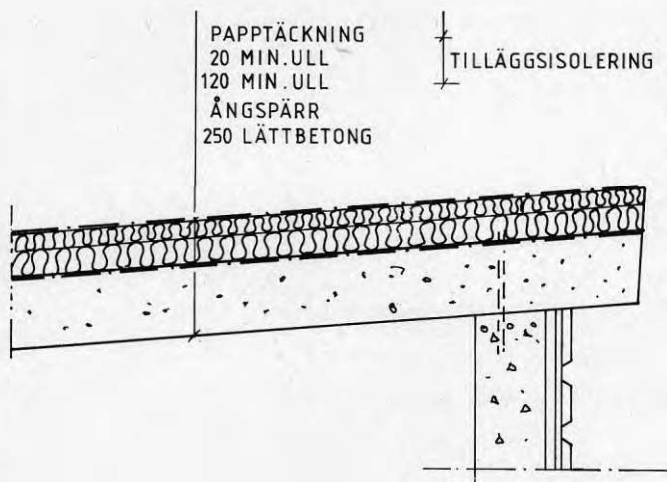


FIG. 4.11 Tilläggsisolering av ett lättbetongtak med mineralull.

En skolbyggnads tak, utvändigt isolerat plåttak, tilläggsisolerades enligt FIG. 4.12.

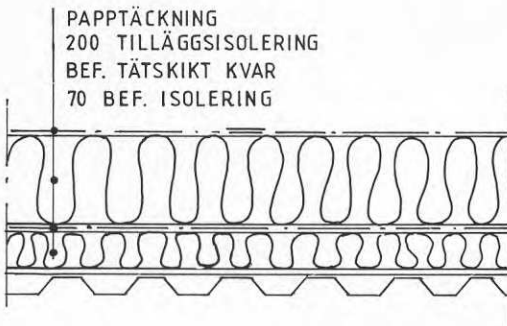


FIG. 4.12 Tilläggsisolering av ett utvändigt isolerat plåttak.

På 15 år gamla flerbostadshus med horisontella betongtak var tätskiktet ur funktion. Takupbyggnaden var 200 mm platsgjuten betong, polyetenfolie, 100 mm polystyrencellplastskivor, lumppapp, PVC-folie plus singel. Förslag till rekonstruktion av taket innebar att befintlig värmeisolering togs bort, nytt tätskikt klistras mot betongen, samt uppbyggnad av värmeisolering som ett omvänt tak enligt FIG. 4.13.

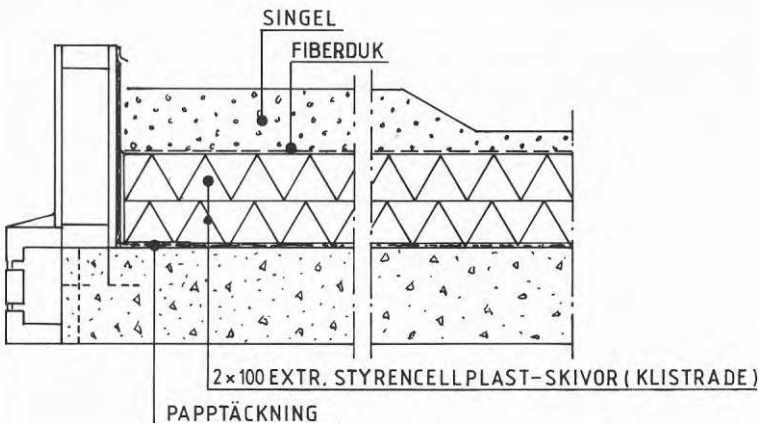


FIG. 4.13 Ombyggnad och tilläggsisolering av ett horisontellt betongtak till flerbostadshus.

I en del fall har man vid tilläggsisolering av horisontella varmtak till flerbostadshus, kombinerat det med att bygga upp ett nytt lutande kalltak över befintlig konstruktion inklusive tilläggsisolering. Därvid har man antagit en minsta taklutning på 1:16 (4°). Yttertaket bygges ofta som ett plåttak, FIG. 4.14.

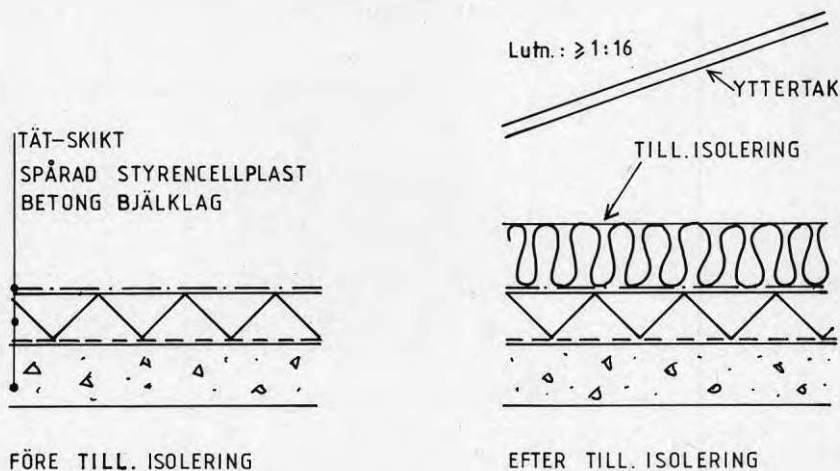


FIG. 4.14 Tilläggsisolering av horisontella varmtak till flerbostadshus med samtidig komplettering med nytt yttertak (kalltak).

Värmeisoleringen utgöres av mineralullsmattor eller lösull. Alternativt kan man tänka sig cellplastskivor som omvänt tak. Särskild hänsyn måste tagas till eventuellt kondensdropp från takplåten och snöindrivning vid takfot. Kondensproblemet kan klaras av med exempelvis fuktabsorberande beläggning på plåtens undersida. I fallet med omvänt tak kan eventuellt vatten från kondens eller snöindrivning avledas på befintligt tätskikt.

FIG. 4.15 och FIG. 4.16 visar exempel på takfotsutformningen för utvändigt tilläggsisolerade varmtak, som därtill försetts med nytt yttertak av plåt.

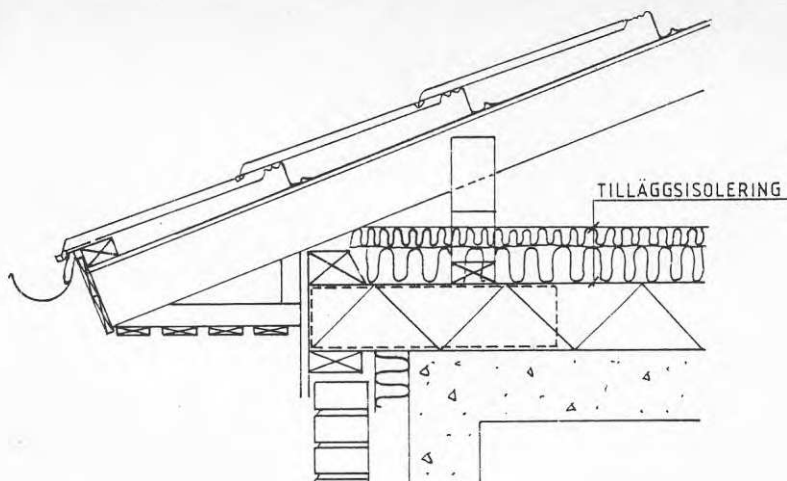


FIG. 4.15 Exempel på takfot vid uppbyggnad av nytt yttertak av stålplåt i samband med tilläggsisolering av horisontellt betongbjälklag med cellplastisolering och tätskikt.

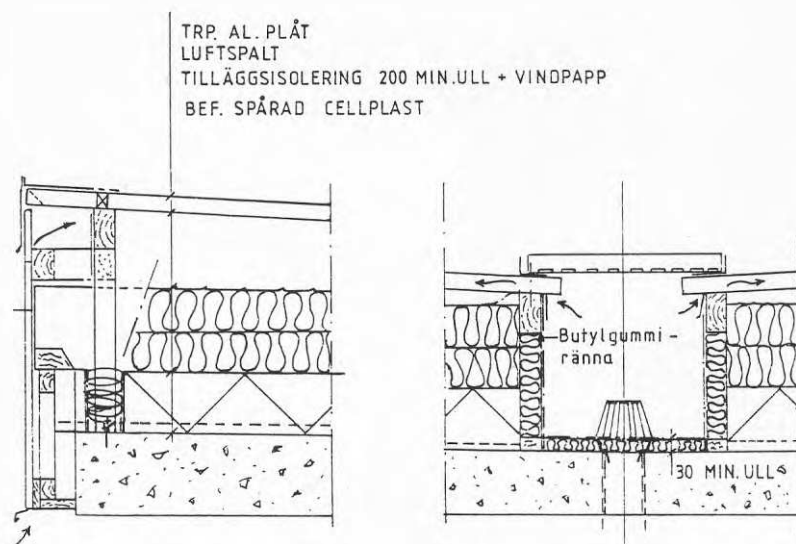


FIG. 4.16 Exempel på uppbyggnad av nytt yttertak av aluminiumplåt i samband med tilläggsisolering av horisontellt betongbjälklag med cellplastisolering och tätskikt.

Invändig tilläggsisolering av vindsbjälklag till flerbostadshus har påträffats endast i något fall. Isoleringen

har bestått av mineralullsskivor mellan reglar, ångspärr, plus takbeklädnad.

4.2 Redovisning av utförda försök med tilläggsisolering av låglutande tak

Den för bostadshus och offentliga byggnader vanliga takkonstruktionen ventilerade tak, har endast i ringa omfattning tilläggsisolerats. Under senare år har för sådana tak utförts några provobjekt, som inneburit att de ventilerade taken tilläggsisolerats utvändigt, varvid de förändrats till varmtak. Tre av dessa objekt, som studerats före, under och efter arbetsutförandet, redovisas här i sammandrag.

Albertslund och Lundegården, Danmark

I Albertslunds kommun utanför Köpenhamn byggdes i början av 70-talet något över 1 500 enbostadshus med s k parallelltak, FIG. 4.17. Redan efter första vintern fick man

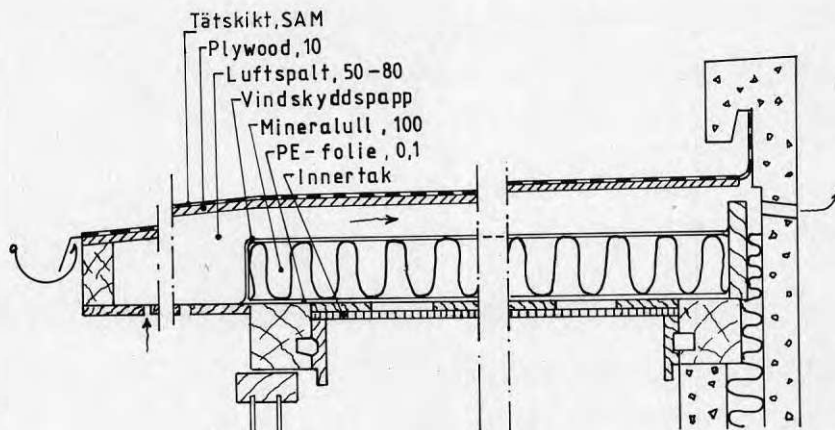


FIG. 4.17 Albertslund och Lundegården, Danmark. Takkonstruktion, ursprungligt utförande.

i flera hus problem med dropp från taken. Problemen blev efter hand så stora att en konsultgrupp fick i uppdrag att utreda skadeorsaken. Det konstaterades snart att det

rörde sig om kondensdropp, förorsakat av konvektion genom en bristfällig ångspärr. Man fann också att många tak hade fått allvarliga rötskador redan efter fem år.

Det beslöts att på ett 60-tal hus, vars tak ännu inte rötskadats, förse taken med utvändig tilläggsisolering för att förbättra takens fukttillstånd. Åtgärden syftade till att höja temperaturen i takens luftspalt och därmed sänka luftens relativa fuktighet, vilket skulle ge förutsättningar för uttorkning av virket i takkonstruktionen.

Försöken kom till slut att omfatta tio grupper, vardera 2-8 hus, Korsgaard et. al. (1981). De mest intressanta redovisas här med följande beteckningar:

- III. Utvändig tilläggsisolering 100 mm med bibehållen ventilation.
- IV. Dito men med stängd ventilation.
- V. Tilläggsisolering 100 mm på befintlig takyta, därefter påbyggt ventilerat yttertak.

Som referenshus användes en grupp (I), för vilka inga åtgärder vidtagits, och en grupp (II), som försetts med mekanisk frånluftsventilation.

Fuktkvoten i takens yttertakskiva, som utgjordes av plywoodskivor med ovanpå liggande tätskikt, bestämdes genom resistensmätning mellan två metallstift, inmonterade i en plywoodrondell. Denna fälldes in i plywoodskivan i samband med arbetsutförandet. Trådar från mät-rondellen och från ett påmonterat termoelement drogs ut genom nya tätskiktet och "förvarades" mellan mätningarna i plasthuvar.

Resultaten från fuktmätningarna, som innefattar 4 - 23 mätpunkter per tak, redovisas med kurvor i FIG. 4.18.

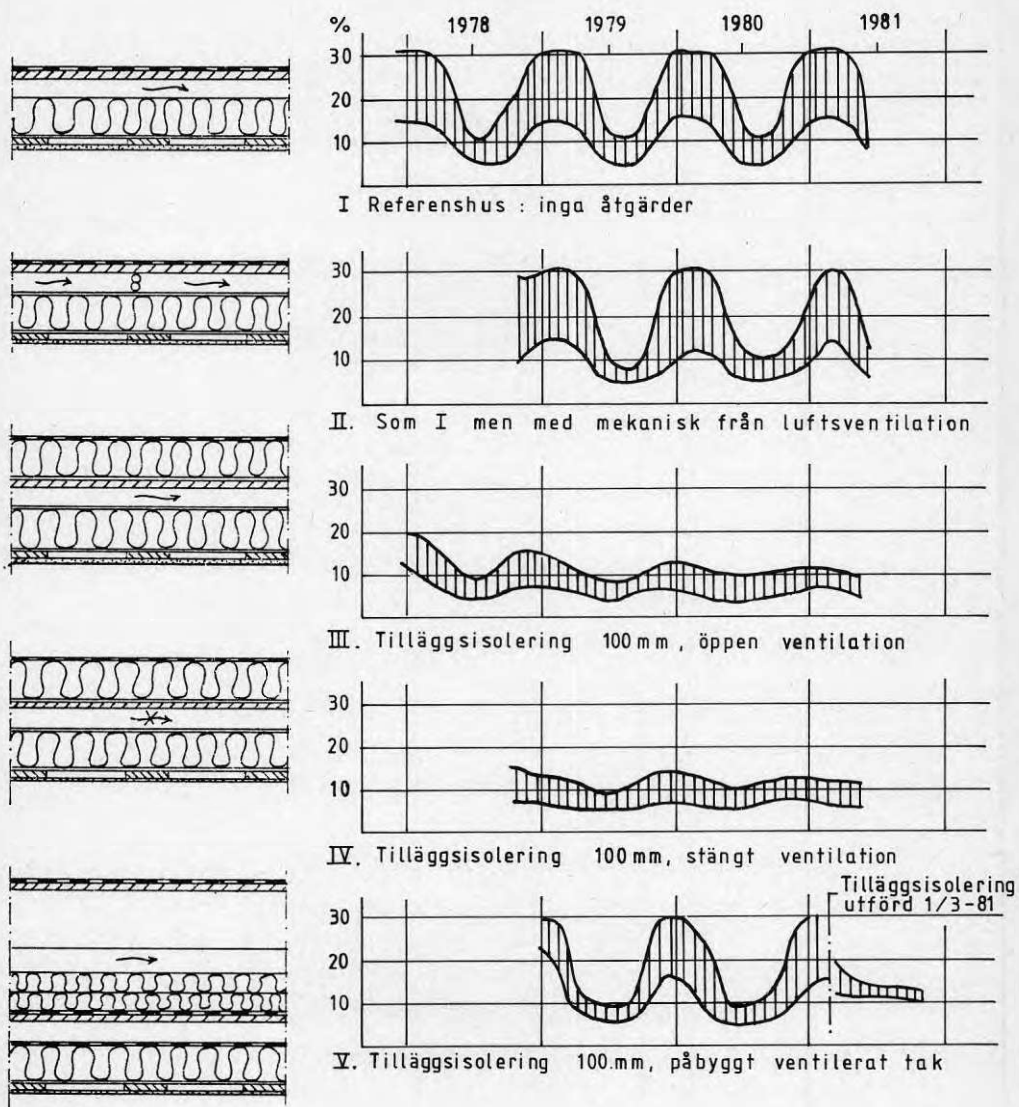


FIG. 4.18 Albertslund. Fuktmätningar i takkonstruktioner. Kurvorna anger högsta och lägsta fuktkvot i ytter-taket, plywood. Enligt Korsgaard et. al. (1981).

Som synes har den förbättrade mekaniska ventilationen, som sattes in på en del av referenshusen (II), inte förbättrat fukttillståndet i dessa tak.

Man konstaterar också att stängning av ventilationen, som utfördes efter tilläggsisolering av grupp IV, inte negativt påverkat det goda fukttillstånd som erhöles efter isoleringen (jfr III).

Temperaturen på plywoodskivan steg under vintermånaderna ca 5 och 10^o C för grupp III respektive IV jämfört med referenshusen.

Det konventionella systemet, som representeras av grupp V, aktualiserades av att det för flertalet hus inom Albertslundsområdet var det enda praktiskt genomförbara. Befintliga konstruktioner var så angripna av röta att de bedömdes inte kunna bära snölaster varför ny fribärande ytterkonstruktion fick byggas. Man konstaterar hur snabbt fuktkvoten sjönk i "gamla" yttertaket sedan tilläggsisoleringen utförts, vilket är en direkt följd av temperaturhöjningen.

Taken på husen inom bostadsområdet Lundegården - också utanför Köpenhamn - hade, trots hög fuktkvot, endast ringa rötskador. Man har därför här tillämpat det på försöksgrupp IV provade systemet, något modifierat. För att förbättra vattenavledningen har tilläggsisoleringen byggts med kilformade skivor, så att den ursprungliga lutningen 1:100 ökats till 1:25. Mätningarna, som fortfarande pågår inom detta område, bekräftar de ovan redovisade goda erfarenheterna från Albertslund.

Hedvägen, Emmaboda

Inom ett mindre bostadsområde i Emmaboda med ca 20 år gamla villabyggnader hade fastighetsägarna år 1980 funnit att papptäckningen på taken var i behov av reno-

vering. En av fastighetsägarna var dessutom intresserad av att förbättra takets värmeisolering. De då kända resultaten från Albertslund gjorde att entreprenören vågade föreslå utvändig isolering på parallelltaket, FIG. 4.19.

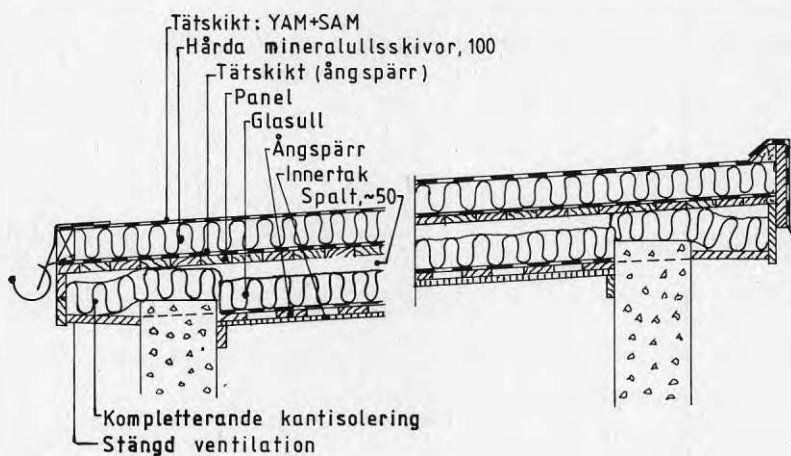


FIG. 4.19 Hedvägen, Emmaboda. Tilläggsisolering av parallelltak.

Vid kontroll av takkonstruktionen i september 1980 fann man att takpanelen på lokala områden över våtutrymmen var rötskadad och att det fanns brister i takisoleringen intill ytterväggar. I oskadad panel var fuktkvoten låg, ca 11%.

Sedan skadad panel ersatts och försetts med ångspärr av skarvklistrad YAM-papp utfördes i oktober 1980 tilläggsisolering med asfaltklistrade styva mineralullsskivor, som på konventionellt sätt täcktes med papp. Vid takfoten runt huset kompletterades den invändiga isoleringen, vilket reducerade ventilationen. Springorna mellan takfotspanelen under utskjutande takstolar behölls dock tills vidare öppna.

Efter fuktkvotsmätning i mars 1981 (enligt ovan beskriven dansk metod), då endast 8% registrerades över badrum,

stängdes ventilationen. Därefter har ytterligare mätningar utförts i slutet av april 1982 och i februari 1983, då 10% fuktkvot uppmättes, FIG. 4.20.

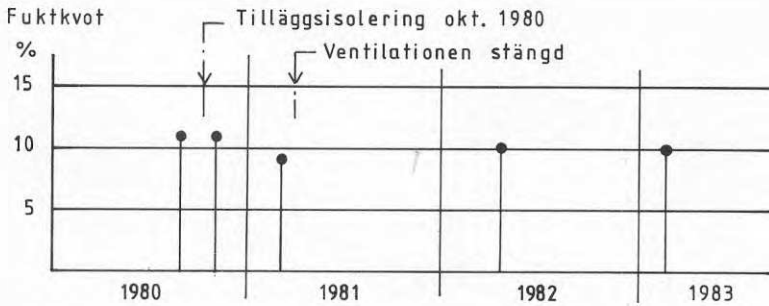


FIG. 4.20 Hedvägen, Emmaboda. Fuktmätningar i tak.

Majviksgatan, Norrköping

En ägare till en 20 år gammal villa hade konstaterat att takets k-värde troligen var högre än 0,5. Taket, som är en uppstolpad fribärande träkonstruktion, FIG. 4.21, fungerade i övrigt bra. Det visade sig vid kontroll av takets papptäckning att även denna var i god kondition.

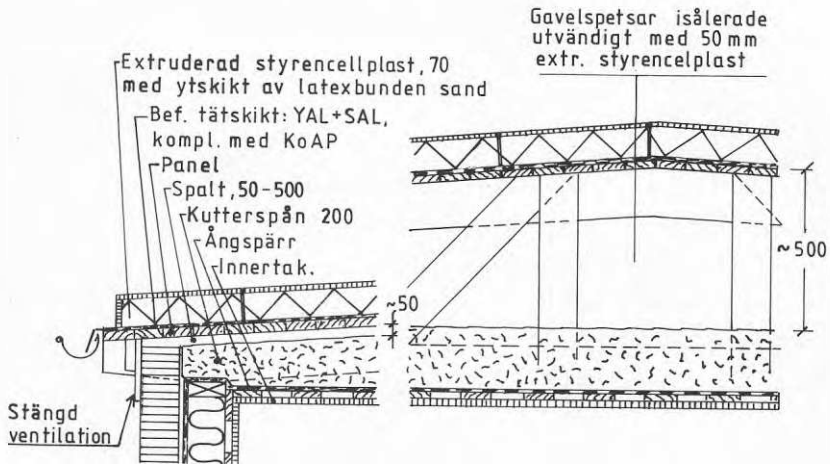


FIG. 4.21 Majviksgatan, Norrköping. Tilläggsisolering av "uppstolpat" tak.

Tilläggsisoleringen föreslogs att utföras enligt omvända-tak metoden. Med hänsyn till takkonstruktionens begränsade bärighet kunde man dock inte lägga på det traditionella 70-80 kg tunga singelskiktet utan försåg istället de extruderade styrencellplastskivorna med ett skyddsskikt av latexbunden sand.

I juni 1981, ett halvår efter arbetets färdigställande, uppmättes i takpanelen över badrum en fuktkvot på 9%. Omedelbart därefter stängdes ventilationen. I slutet av april 1982 och i februari 1983 gjordes nya fuktmätningar med samma resultat, FIG. 4.22.

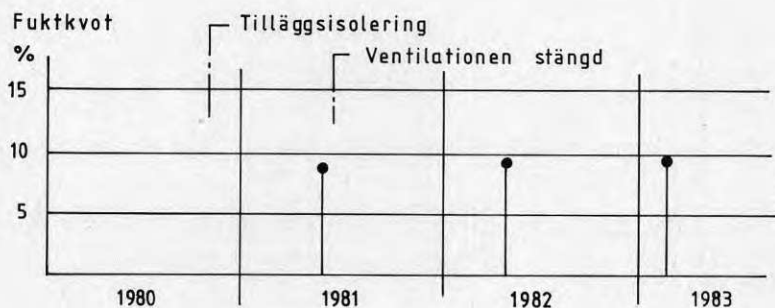


FIG. 4.22 Majviksgatan, Norrköping. Fuktmätningar i tak.

Praktiska erfarenheter av försöken

Under och efter arbetet med ovan beskrivna tilläggsisoleringar har gjorts följande noteringar, som kan vara av betydelse för att nå ett bra resultat.

- Arbetsbeskrivningen bör innehålla föreskrift om åtgärder för att hindra nederbörd att komma in i isoleringen under arbetsutförandet. En sådan viktig åtgärd är att vid avbrott i arbetet utföra provisorisk vattentät förslutning mellan nya och gamla tätskiktet.

- Gamla tätskiktet bör förses med någon form av avlopp som indikerar om läckage skulle uppstå genom nya tätskiktet.
- Gamla tätskiktet måste särskilt kontrolleras med avseende på tätheten, eftersom det skall fungera som ångspärr i den nya konstruktionen.

4.3 Byggnadstekniska erfarenheter från utförda tilläggsisoleringar

Då den tekniska funktionen för en byggnad eller byggnadsdel är det samlade resultatet av en serie insatser i form av planering, projektering med materialval och konstruktionsprinciper, hantering av material och det praktiska utförandet på arbetsplatsen, är det ytterligt väsentligt att åt varje moment ägna tillräckligt kvalificerat arbete, så att en fungerande lösning erhålles. Påståendet är enkelt och synes självklart, men trots det förekommer i praktiken fel och brister i de olika leden, som är hämmande och i en del fall till och med förödande för den färdiga konstruktionens funktion. Därför är det angeläget att ta upp sådana synpunkter och krav, som formulerats utgående från praktiska erfarenheter man hittills vunnit vid tilläggsisoleringar av tak, samt beskriva typiska utförandefel och brister vid tilläggsisoleringar, vilka är möjliga att undvika.

En allmän synpunkt är, att vid all tilläggsisolering, oavsett om det avser hela eller endast delar, exempelvis ett tak, av en byggnad, måste de fukt- och värmetekniska förhållandena studeras för hela byggnaden. Detta skall sedan utgöra underlag för lösning av den aktuella delens konstruktion. Annars löper man risk att förändra klimatbalansen i konstruktionsdelen på sådant sätt att kritiska marginaler passeras med skador som följd.

Konstruktion

Konstruktionslösningen måste utformas så att den är möjlig att genomföra i byggnaden på platsen, med hänsyn till tillgänglig arbetskraft och aktuella arbetsmetoder. Konstruktören borde för varje tilläggsisoleringsobjekt på byggnadsplatsen besiktiga befintlig konstruktion med avseende på värmeisolerings- och täthetsstandard, ventilationsförhållanden, tillgänglighet för utförande samt övriga förhållanden som påverkar isoleringsåtgärden. I vissa fall kan mätning av fukt och temperatur, termografering eller dylikt, vara vägledande för val av åtgärd, och efter utförd åtgärd som kontroll av funktionen. Speciellt svåra konstruktionsdelar bör uppmärksammas, såsom takfot, stödbensväggars anslutning mot bjälklag och snedtak, och snedtaket anslutning mot hanbjälklag. Detta skall sedan utgöra underlag för konstruktionslösningen och beskrivning av det arbetstekniska genomförandet. En allmän regel är att väl beprövade lösningar ger naturligtvis stora förutsättningar för ett gott resultat.

Material

Material och kombinationer av material bör väljas med hänsyn till arbetsteknik och funktion i byggnaden. I praktiken råder naturligtvis skilda uppfattningar om vilka material som ger bäst resultat. Egenskaper hos mineralull som påtalats är att mineralullsisolering av högre kvalitet (A-kvalitet) ger en bättre funktion än vid användning av lägre kvaliteter. Material av A-kvalitet tycks nämligen ge en bättre utfyllnad i konstruktionen än lägre kvaliteter, sannolikt på grund av att den är något styvare som följd av dess högre densitet. Vid lägre materialkvaliteter (B-kvalitet) fordras därför i allmänhet ett noggrannare arbetsutförande. Likaså anses skivor ge bättre anliggning mot underlaget än mattor, eftersom skivorna är styvare. Användes skivor utesluts också det felaktiga förfarandet med att lägga en mjuk matta på ojämnt underlag, exempelvis tvärs bjälk-

lagsreglar med sjunken mellanliggande isolering, utan att först jämna ut underlaget, vilket annars ger luftkanaler mellan isoleringsskikten. Lösa fyllningar, såsom lösull eller cellulosafiber, är relativt lätt att applicera i konstruktionen och fyller ut väl kring konstruktionsdelar. Materialet är också lämpligt att använda som kompletteringsisolering, och i otätheter och andra svåråtkomliga delar. Andra isoleringsmaterial är olika cellplaster i form av skivor, lösa kulor eller insitu-sprutning. Till ett gott isoleringsmaterial hör också en god hantering av materialet på arbetsplatsen. Det skall skyddas mot fukt och mekanisk åverkan under hela lagringstiden.

Arbetsutförande

Arbetsutförandet på byggarbetsplatsen är mycket beroende av personalens insikt om den byggnadstekniska funktionen vid tilläggsisolering. Bristande kunskaper om de olika materialens funktion och egenskaper ger ofta upphov till bristfälligheter i utförandet. Därför är det nödvändigt att tillföra personalen kännedom om dels konstruktionens känsliga partier, dels de olika materialens egenskaper och funktion i konstruktionen. Utbildning och information bidrar alltså i hög grad till det färdiga arbetets kvalitet.

Kontroll av det egna arbetets effekt på konstruktionens förbättrade värmeisolering med t ex termografering, har också visat sig leda till kvalitetsförbättring på arbetsutförandet och resultatet.

Före all tilläggsisolering måste tillses att ångspärren är funktionsduglig, oavsett var i den färdiga konstruktionen den skall finnas, på takets insida eller inuti taket. Vidare måste befintlig värmeisolering justeras och eventuellt kompletteras. Först åtgärdas takfoten. Värmeisoleringen justeras och skyddas mot inblåsning och tryckdifferenser, som ger upphov till konvektionsströmmar. Ventilationen säkerställs. Därefter åtgärdas övrig isole-

ring. Springor och spalter fylls igen med exempelvis lösull, sågspån, eller elimineras på annat sätt. Eventuell sjunken eller otillräcklig isolering mellan regler kompletteras upp till regelnivå, så att utrymmet inte bildar luftkanaler, se FIG. 4.4. Speciellt svårupptäckt är detta om vindsutrymmet är täckt med golv, vilket måste brytas upp för kontroll. Först när befintlig isolering är intakt och utgör ett jämnt underlag för det nya materialet, genomförs en dimensionerad tilläggsisolering. Därmed undanröjs risker med konvektiva luftströmmar i isoleringen som mer eller mindre skulle omintetgöra tilläggsisoleringens effekt. Tilläggsisoleringen måste fylla ut väl mot sitt underlag, regler och andra hinder. Vid behov kompletteras med exempelvis lösull eller sågspån. Svåra partier såsom takfotsanslutning mot yttervägg, som är känsliga ur isoleroch täthetssynpunkt, ägnas särskild uppmärksamhet med utfyllning och vindtätning. Exempel på ett bristfälligt isoleringsutförande vid takfot som åtgärdats och tilläggsisolerats med kutterspån visas i FIG. 4.23.

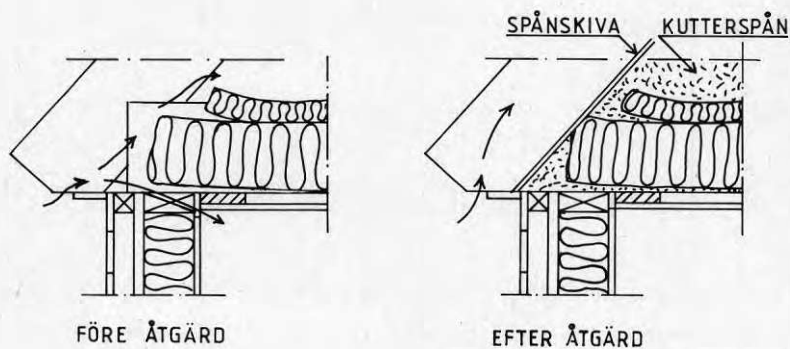


FIG. 4.23 Bristfällig isolering och täthet vid takfot. Åtgärdas och tilläggsisolerats genom fyllning med kutterspån mot monterad spånskiva. Axen & Pettersson (1979).

Under arbete med isolering undviks söndertrampning och sammanpressning av isoleringsmaterialet.

Ventilationsöppningar och kanaler får ej sättas igen.
Dessa bör kontrolleras när arbetet är slutfört. Känsliga
delar visas i FIG. 4.24.

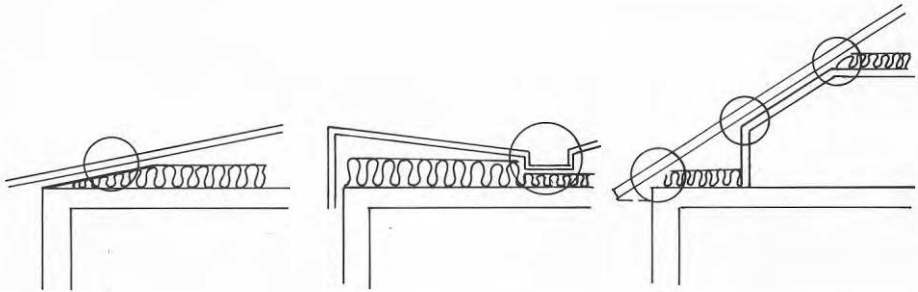


FIG. 4.24 Delar av takets ventilationsspalter (markerade) som lätt sätts igen vid tilläggsisolering, speciellt om denna utgöres av någon lös fyllning som blåses in med lufttryck.

Tillsyn och underhåll

En tilläggsisolering i en byggnad uppfattas ofta av fastighetsägaren som en statisk åtgärd, genomförd en gång och som därmed förväntas fungera problemfritt för lång tid framåt. Isoleringsåtgärden påverkar dock klimatet i byggnadskonstruktionen, vilket inte borde lämnas utan avseende. Sannolikt skulle någon form av "instruktionsbok" i anslutning till tilläggsisoleringsåtgärden stimulera till att regelbundet inspektera vindsutrymmet, exempelvis

vår och höst, och därmed underlätta för upptäckt av eventuella fuktproblem, som då kan åtgärdas innan någon större skada skett. Som exempel på sekundära skador i konstruktionen på grund av tilläggsisolering av vindsbjälklag, kan nämnas mögelangrepp på träkonstruktionen beroende på luftläckning genom vindsbjälklaget i förening med otillräcklig eller felaktig ventilation på vinden, sönderfrusen vattenledning beroende på att denna tidigare hållits varm av läckande värme inifrån.

Fel och brister i utförande

I en undersökning om hur statligt stödda energisparåtgärder utförts, redovisas tekniska fel och brister i utförandet vid tilläggsisolering av vindar, Tolstoy & Persson (1980). Urvalet omfattar de hus, som fått energisparstöd budgetåret 1977/78 och som vindsisolerats. Uppgifter om husen samlades in genom ritningsgranskning, besiktningar och intervjuer. Fel och brister som uppdagades är sammanfattade nedan, uttryckta i % av de vindsisolerade husen:

Lufttillförsel i takfot hindras eller luftspalt saknas	40%
Lufttransport mellan snedtak och yttertak hindras eller luftspalt saknas	18%
Ventilation i gavelspetsar saknas	33%
Ventilation i taknock fungerar ej	25%

Undersökningen visade även att i 7% av de väggisolerade husen hade väggisoleringen spolierat ventilationen vid takfoten enligt FIG. 4.25.

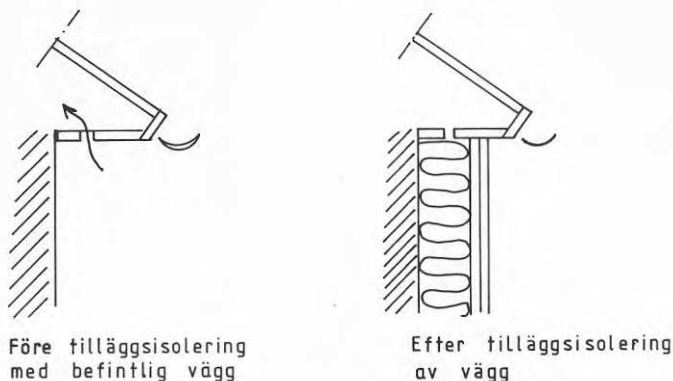


FIG. 4.25 Ventilationen i takfot kan spolieras av tilläggsisolering av fasad.

Förvaringen av isoleringsmaterialet på arbetsplatsen hade i sammanlagt 10% av husen varit bristfällig, dvs man hade slarvat med täckning och uppallning.

Nedtrampad isolering på vindar förekom i drygt 5% av husen vid besiktningstillfället.

För stort övermått, som kan ge luftkanaler i isoleringen genom att den veckar sig och ej fyller ut mot underlaget, förekom i 14% av husen. Där hade isoleringen tryckts in med övermått som var åtminstone 2 cm.

Befintlig isolering som inte fyllde upp utrymmet i nivå med takstolsbjälkarna, och som inte kompletterades före tilläggsisolering, uppdagades i 20% av husen. Jämför FIG. 4.4.

Dessutom förekom att isoleringen ej fyllde ut utrymmet mellan takstolar och regler, eller att isoleringsskivorna eller mattorna var så slarvigt utlagda, att springor och luftspalter uppstod mellan dessa. Detta är sammanfattat nedan i % av de vindsisolerade husen.

Springor och luftspalter mellan isolering och regler (takstolar)	17%
Springor och luftspalter mellan isolerings-skivor, mattor	17%

Tillskärning av isoleringsmaterialet och isoleringsutförandet i konstruktionen beskrivs av följande:

Ej skurit isolering med hjälp av riktbräda eller liknande	30%
Småbitar av isolering där hela skivor kunnat användas	9%
Ej måttskuren isolering vid t ex takstolar och stödbensanslutningar	40%

För vindskyddet som skall finnas på isoleringens utsida framkom följande:

Vindskydd saknas	10%
Vindskydd skadat	5%
Glipor förekommer i materialskarvar	30%

Jämförelse mellan grupperna småhus och flerbostadshus visar bl a att bristande ventilation vid takfot, småbitar av isoleringsmaterial istället för hela skivor, och springor och spalter mellan isoleringsskivor eller mattor är mer frekventa för småhusens än för flerbostadshusens tilläggsisolerade vindar, Hammarsten & Persson (1980).

Övriga erfarenheter

Utvändigt tilläggsisolerade flacka tak har genom det kallare och mer jämntempererade ytskiktet, medfört bättre snösmältnings- och isförhållanden på taket.

Vattenavledningen har i en del utvändigt tilläggsisolerade tak förbättrats med snedskurna cellplastskivor, för att säkra reell lutning och avrinning mot avloppsbrunn eller ränna.

Allmänt gäller för allt arbete, som till exempel genom redovisning av erfarenheter från praktiskt genomförda åtgärder, att det skall leda till bättre kunskap om de verkliga förhållandena och därmed ge underlag för mer realistiska och funktionella konstruktionsanvisningar. Därmed får inte den erfarenhet, som väl fungerande konstruktionslösningar medfört, komma i skymundan. Under inventeringsarbetet har det framkommit att åtskilliga tilläggsisolerade tak fungerar tillfredsställande. I undersökningen ovan bedömdes att flertalet av de vindsisolerade husen med energisparstöd var till synes utan fel och brister, enligt Hammarsten & Pettersson (1980). Många väl fungerande tilläggsisolerade konstruktioner visar alltså, att det är möjligt att genom att angripa förekommande problem, skapa förutsättningar för sådana tilläggsisoleringslösningar, som tillsammans med tillräckligt gott arbetsutförande på platsen kommer att motsvara kraven på funktion och energibesparing.

5 SAMMANFATTNING

Behovet av energibesparing i befintlig bebyggelse har tvingat fram mer eller mindre omfattande program för byggnadstekniska åtgärder, som tillsammans med övriga förvaltningstekniska åtgärder syftar till att minska energiförbrukningen. En sådan byggnadsteknisk åtgärd, som i de flesta fall visat sig vara en lönsam investering, är tilläggsisolering av vindsbjälklag och tak. Åtgärden som lämpligen kombineras med samtidig inreglering av värme-systemet har visat sig resultera i god energibesparing. Lönsamheten är främst en följd av det relativt enkla arbetsutförandet vid appliceringen av tilläggsisolering på en

plan, lättillgänglig och i det närmaste horisontell yta med goda förutsättningar för ett noggrant utförande, sammantaget med den i allmänhet högre temperaturgradienten över vindsbjälklag och tak än över övriga omslutningsytor, samt inregleringsmöjligheter för att undvika övertemperaturer.

Tilläggsisoleringar av vindsbjälklag och tak har kommit till utförande, om än i viss begränsad omfattning. Man har dock i en del fall funnit att resultaten i form av energibesparing ej svarat mot uppställda förväntningar. Åtgärden har i vissa fall dessutom förorsakat sekundära skador i form av fuktskador, mögel- och rötangrepp, sönderfrysning av vattenledningar etc. Dessa erfarenheter av otillfredsställande funktion tyder på brister i konstruktionslösning eller utförande.

Därför är det angeläget att ingående studera vad som händer i olika konstruktioner vid tilläggsisoleringar, för att därmed skapa en samlad bild av åtgärders effekt på konstruktioners värme- och fuktförhållanden. Denna kunskap nyttiggörs sedan genom att utgöra underlag för projekterings- och konstruktionsanvisningar.

Denna studie, som är en inventering av tilläggsisoleringar av takkonstruktioner, beskriver översiktligt taks funktion och inverkan av tilläggsisolering, med avseende på värme- och fuktförhållanden, möjlig energibesparing i befintligt takbestånd, samt exempel på utförda tilläggsisoleringar och därmed sammanhängande problem. Med detta som underlag redovisas aktuellt forskningsbehov inom tilläggsisoleringstekniken.

Kalla tak, varma tak och mellanformen parallelltak, skiljer sig från varandra genom ventilationsprincipen, FIG. 5.1. Kalla tak ventileras under yttertaket, vilket därigenom blir kallt. Detta minskar förutsättningarna för snösmältning på taket. Ventilationsluften för med



FIG. 5.1 Principiell skillnad mellan kalltak och varmtak samt mellanformen parallelltak.

sig eventuellt inläckande fukt ut ur takkonstruktionen. Varma tak saknar ventilation. Därmed påverkas snösmältningen av all transmitterad värme genom taket. Frånvaron av ventilation förutsätter fullständig ångtätning på insidan, såvida inte förekommande fukt kan magasineras i konstruktionen. Parallelltaket är en mellanform mellan dessa två principer med begränsad ventilation, vilken i praktiken kan vara mycket liten.

Vid all tilläggsisolering förändras takets klimatiska förhållanden. Sker isoleringen på insidan blir ursprunglig konstruktion kallare. Sker den inuti taket, exempelvis på vindsbjälklaget, blir yttertaket kallare medan bjälklaget varmare. Sker den på utsidan blir hela konstruktionen varmare. Då tilläggsisoleringen sker invändigt eller i takkonstruktionen, och fukt från underliggande rum fortfar att läcka genom taket även efter tilläggsisoleringen, vilket den ofta gör om inga särskilda åtgärder vidtages, kommer denna fukt att svara mot en högre relativ ånghalt i den nu kallare delen av taket. Det ökar risken för fuktskador, såsom svamp- och rötangrepp, kondens, frostsador etc. Utvändigt tilläggsisolering leder till motsatt förhållande med varmare konstruktion än tidigare, vilket är gynnsamt och i vissa fall

dessutom uttorkande, samtidigt som det minskar effekten av köldbryggor etc. Valet av tilläggsalternativ beror dock på flera faktorer, såsom tillgänglighet för isoleeringsarbete, arkitektoniska och stadsplanetekniska begränsningar, materialval etc.

Teoretiskt kan man ställa upp ekvationer för takens fukt- och värmebalans före och efter tilläggsisoleringar. Osäkerhet i styrande parametrar, som är beroende av byggnadskonstruktionens praktiska utförande, material, boendevanor, varierande yttre klimatbetingelser och till viss del obestämda ventilationsfaktorer, beskriver dock inte verkligheten med tillfredsställande noggrannhet. Därför hänvisas man till kompletterande fält- och laboratorie-försök.

Befintligt takbestånds värmeisolering, byggnadsår 1900-1975, svarar mot ett k-värde på mellan $0,8-0,25 \text{ W/m}^2\text{C}$, med någon förskjutning mot bättre för småhus. För 40-50% av alla hus är bjälklagens k-värde större än $0,3 \text{ W/m}^2\text{C}$. Detta indikerar en ganska stor besparingspotential genom relativt enkla byggnadstekniska åtgärder i form av tilläggsisolering av vindsbjälklag och tak.

Tilläggsisolering av kalla tak har företrädesvis skett på vindsbjälklagets ovansida, då tillgängligheten medgivit detta. I något tak har isoleringen placerats på undersidan. Varma tak har tilläggsisolerats företrädesvis på utsidan, och då ofta i samband med renovering eller omläggning av befintligt tätskikt. En del horisontella varmtak har vid utvändigt tilläggsisolering byggt upp ett nytt kalltak med lutningen minst 1:16 med motiveringen att skapa ett rejält takfall för vattenavledningen. I enstaka fall har parallelltak eller kalltak med otillgängligt ventilationsutrymme isolerats genom att ventilationsspalten helt eller delvis fyllts genom inblåsning av isolerfyllning. Ett mindre antal försökstak av typen parallelltak och tak med litet otillgängligt ventila-

tionsutrymme är tilläggsisolerade på utsidan. Efter att försökstakens befintliga ventilation medfört viss uttorkning av takkonstruktionen stängdes ventilationsöppningarna, varefter full effekt av tilläggsisoleringen väntas ske. Som referens är resultat från ett danskt forskningsprojekt med motsvarande lösning.

Som material vid tilläggsisoleringar i tak har lösa fyllningar vunnit en allt större andel. Med en god utrustning är den relativt enkel att applicera, samtidigt som den fyller ut väl kring strävor och andra hinder. Mineralullsskivor och mattor är andra vanliga material. Expanderad styrencellplast i form av skivor eller lösa cellplastkolor, extruderad styrencellplastskivor i omvända-tak system samt uretancellplast som skivor eller som insituprutning är andra material som använts. Som utfyllnads-material i springor mellan skivor och andra material användes exempelvis sågspån eller annan lös fyllning.

Tilläggsisoleringens effekt på minskad värmetransmission genom takkonstruktionen är beroende av såväl konstruktionslösning och materialval som arbetsutförandet på platsen. För att en tilläggsisoleringslösning skall grundas på verkliga förutsättningar, borde konstruktören på plats besiktiga varje enskild takkonstruktion som skall åtgärdas. Därmed vore det även möjligt att i arbetsbeskrivningen ange speciella åtgärder som är nödvändiga för fullgott resultat.

En svår detalj i taket är takfoten, som ofta är otillfredsställande isolerad och tätad mot vindpåverkan. Utgående från denna bör all tilläggsisolering i tak börja med kontroll av ångspärr och justering av ursprunglig värmeisolering, utfyllnad av eventuella springor, svackor mellan reglar etc., vilka med den nya isoleringen kan bilda luftspalter, som kommunicerande med kall uteluft mer eller mindre omintetgör tilläggsisoleringens syfte.

Problem som ofta förekommit i samband med tilläggsisoleringar är främst ventilationsproblem med igensättning eller begränsning av lufttillförsel vid takfot, i luftspalt mellan snedtak och yttertak, eller otillfredsställande ventilation i gavelspetsar och i taknock. Otillräcklig ventilation har i flera fall lett till fuktskador. För stort övermått på isoleringen eller för litet mått eller otillräcklig utfyllnad mellan takstolsbjälkar är andra problem, som ger springor och luftspalter enligt FIG. 5.2, vilket försämrar isoleringsförmågan avsevärt.

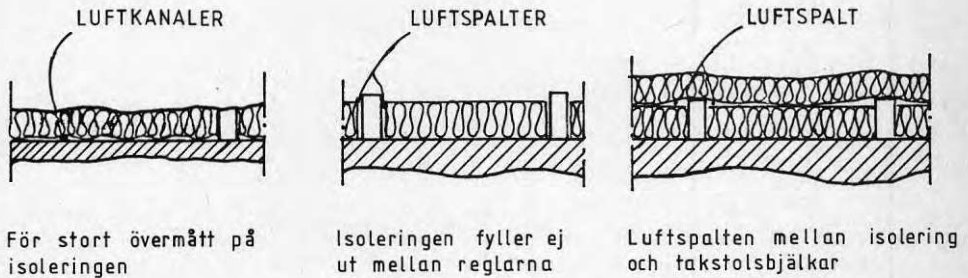


FIG. 5.2 Fel och brister vid tilläggsisoleringens utförande.

Dessa problem kan ofta härledas till arbetsutförandet, och bero på personalens bristande kännedom om de olika materialens funktion och egenskaper. Genom effektiv utbildning och information vore det sannolikt möjligt att väsentligt höja arbetets kvalitet. Kontrollåtgärder i form av termografering ger ytterligare förståelse för arbetsutförandets betydelse för resultatet.

Utgående från ovan redovisade inventering sammanställs i det följande typiska takkonstruktioner med tilläggsisoleringens alternativ. Mot bakgrund av funktionssätt och erfarenheter kommenteras lösningarna med hänsyn till utförandeteknik, fukt- och värmeteknisk funktion samt forsknings- och utvecklingsbehov.

Följande principlösningar redovisas:

A. Kalltak med tillgängligt vindsutrymme

- Ex. brant sadeltak över inredd vind (betong resp
träbjälklag)
uppstolpat sadeltak på betongbjälklag
inåtlutande uppstolpat tak på betongbjälklag

B. Varmtak

- Ex. varmtak med spårade, ventilerade isolerings-
skivor på betongbjälklag
varmtak av lättbetongelement

C. Tak med luftspalt eller med otillgängligt ventila-
tionsutrymme

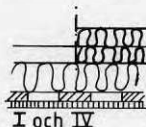
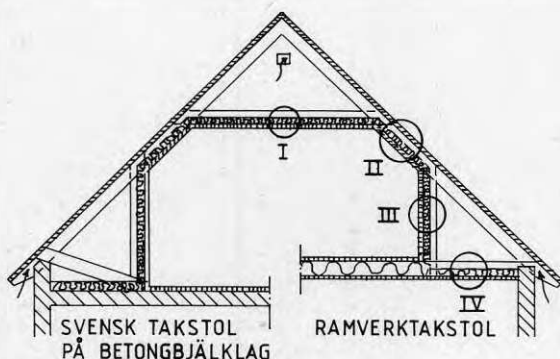
- Ex. parallelltak (träbjälklag)
uppstolpat sadeltak på betongbjälklag, och
sadeltak på låg ramverkstakstol
inåtlutande uppstolpat tak på betongbjälklag

A KALLTAK MED TILLGÄNGLIGT VINDSUTRYMME
(inkl parallelltak-del)

A1 Brant sadeltak över inredd vind.

Motsvarande förhållanden gäller för brant sadeltak över oinredd vind.

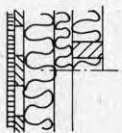
Om vinden är inredd till förråd, vindskontor etc. tillkommer kravet på tillräcklig tryckhållfasthet på isolering och yttäckning.



I och IV



II



III

Tilläggsisolering på befintlig isolering
Ventilationen bibehålls

Fördelar:

Arbetstekniskt enkelt vid I och IV.

Nackdelar:

Vindsutrymmet blir kallare efter tilläggsisolering. Om fuktig inneluft läcker upp på vinden finns risk för kondensutfällning på undertaket. (Fuktsvällning i panelen etc).

Kritiska punkter:

Parallelltaksdelen II är svår att tilläggsisolera med bibehållen ventilationsspalt.

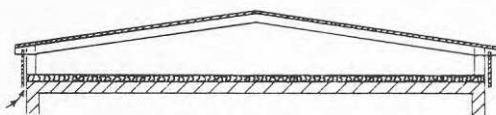
Erfarenhet:

Ett stort antal villatak har tilläggsisolerats med i stort sett goda resultat.

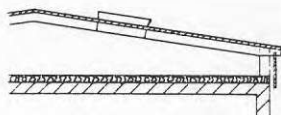
FoU-behov:

Mätning av temperatur, ev. värmefflöde, och fukt samt kontroll av ventilationen före och efter åtgärd.

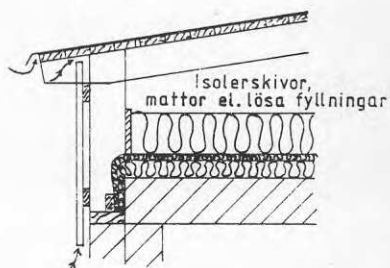
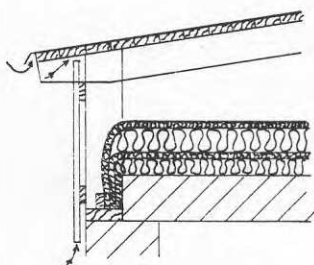
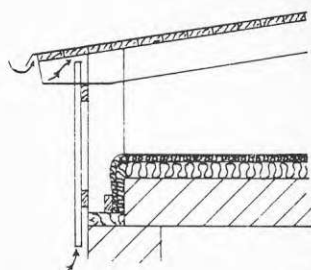
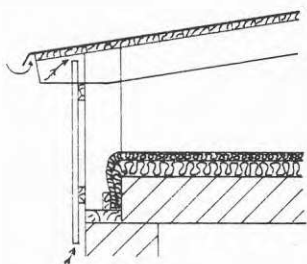
A2 Uppstolpat sadeltak på t ex betongbjälklag.
Hög takfot. Demonterbar takfasad resp taklucka.



DEMONTÉRBAR TAKFASAD



TAKLUCKA



Tilläggsisolering på befintlig isolering

Bibehållen ventilation

Fördelar:

Arbetstekniskt enkelt, speciellt om bjälklaget även är åtkomligt från fasaden.

Nackdelar:

Vindsutrymmet blir kallare efter tilläggsisolering. Om fuktig inneluft läcker upp på vinden finns risk för kondensutfällning på yttertakens insida. Risken finns i första hand över element- eller kasettbjälklag.

Kritiska punkter:

Ventilationsspalten vid takfoten kan tilltäppas av tilläggsisoleringen.

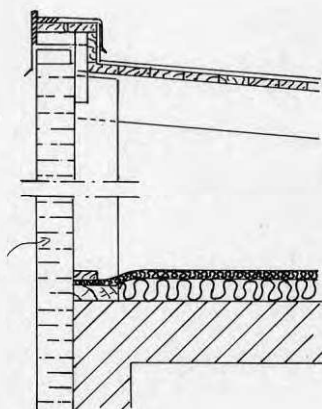
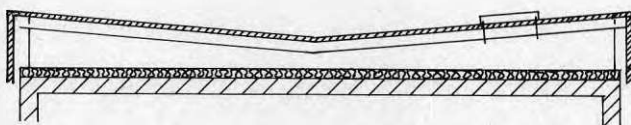
Erfarenheter:

Godä.

FoU-behov:

Mätning av temperatur, ev. värmefflöde, och fukt samt kontroll av ventilationen före och efter åtgärd. Mätobjekt: tak över elementbjälklag, tak med genomföringar.

A3 Inåtlutande uppstolpat tak på t ex betongbjälklag
Taklucka



Tilläggsisolering på befintlig isolering
Bibehållen ventilation

Fördelar:

Arbetstekniskt enkelt.

Nackdelar:

Vindsutrymmet blir kallare efter tilläggsisolering. Om fuktig inneluft läcker upp på vinden finns risk för kondensutfällning på yttertakens insida. Risken finns i första hand över element- eller kasettbjälklag.

Kritiska punkter:

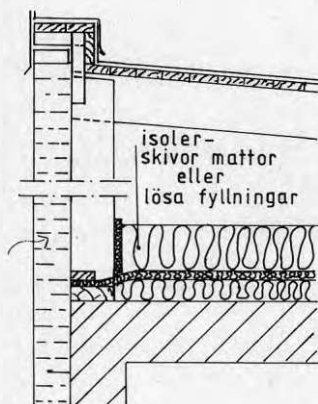
Ventilationsspalten vid takfoten kan tilltäppas av tilläggsisoleringen. Ventilationspassagen i takets mitt kan sättas igen.

Erfarenheter:

Goda

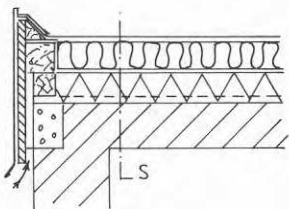
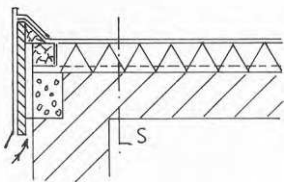
FoU-behov:

Mätning av temperatur, ev. värmefflöde, och fukt samt kontroll av ventilationen före och efter åtgärd. Mätobjekt: tak över elementbjälklag, tak med genomföringar.



B VARMTAK

B1 Varmtak med spårade, ventilerade isoleringsskivor på betongbjälklag



Utvändig tilläggsisolering
(konventionellt eller omvänt tak)
Gamla tätskiktet intakt
Ventilationen bibehålles eller stängs

Fördelar:

Arbetstekniska

Nackdelar:

Om ventilationen bibehålles kan man lokalt få lägre temperatur på takets insida, vilket även gäller före tilläggsisolering.

Kritiska punkter:

Genomföringar

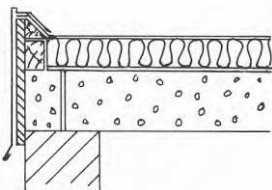
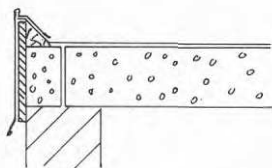
Erfarenheter:

Goda

FoU-behov:

Temperaturmätningar i snitt S med öppen och stängd ventilation.

B2 Varmtak av lättbetongelement



Utvändig tilläggsisolering
(konventionellt eller omvänt tak)
Gamla tätskiktet intakt

Fördelar:

Arbetstekniska

Nackdelar:

Inga

Kritiska punkter:

Genomföringar, fogar.

Erfarenheter:

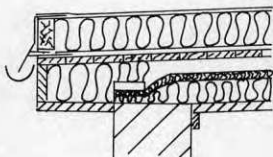
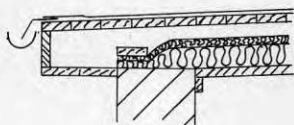
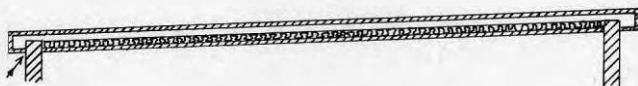
Goda

FoU-behov:

Nej

C TAK MED LUFTSPALT ELLER MED OTILLGÄNGLIGT
VENTILATIONSUTRYMME

C1 Parallelltak



Utvändig tilläggsisolering
(konventionellt eller omvänt tak)

Gamla tätskiktet intakt

Ventilationen stängs

Fördelar:

Gamla taket blir varmare än tidigare.
Arbetstekniska fördelar.

Nackdelar:

Inga

Kritiska punkter:

Tätning och värmeisolering vid takfot.
Isolering på vertikala ytor. Genomföringar.

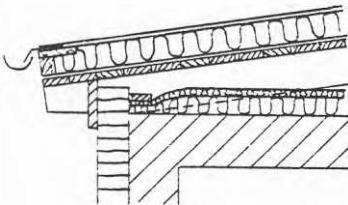
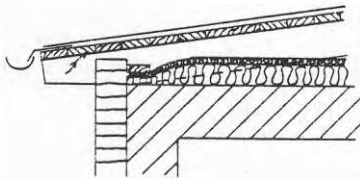
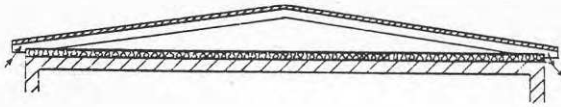
Erfarenheter:

Goda från såväl Albertslund och
Lundegården, Danmark, som från hit-
tills uppföljda fallet i Sverige,
Emmaboda.

FOU-behov:

Nej

C2 Uppstolpat sadeltak på t ex betongbjälklag
Sadeltak på låg ramverkstakstol



Utvändig tilläggsisolering
(konventionellt eller omvänt tak)
Gamla tätskiktet intakt
Ventilationen stängs

Fördelar:

Gamla taket blir varmare än tidigare.
Arbetstekniska fördelar.

Nackdelar:

Inga

Kritiska punkter:

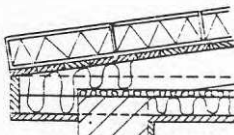
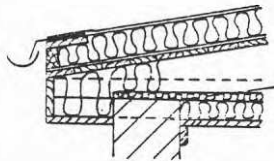
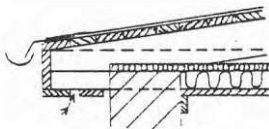
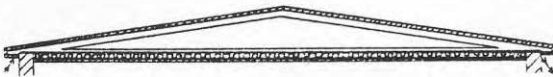
Tätning av ventilationsspalten.
Isolering på vertikala ytor.
Isolering vid takfot.

Erfarenheter:

Saknas

FoU-behov:

Mätning av temperatur, värme-
flöde och fukt före och efter
åtgärd.



Utvändig tilläggsisolering
(konventionellt eller omvänt tak)
Gamla tätskiktet intakt
Ventilationen stängs

Fördelar:

Gamla taket blir varmare än tidigare.
Arbetstekniska fördelar.

Nackdelar:

Inga

Kritiska punkter:

Tätning och isolering vid takfot
och takets vertikala ytor.
Genomföringar.

Erfarenheter:

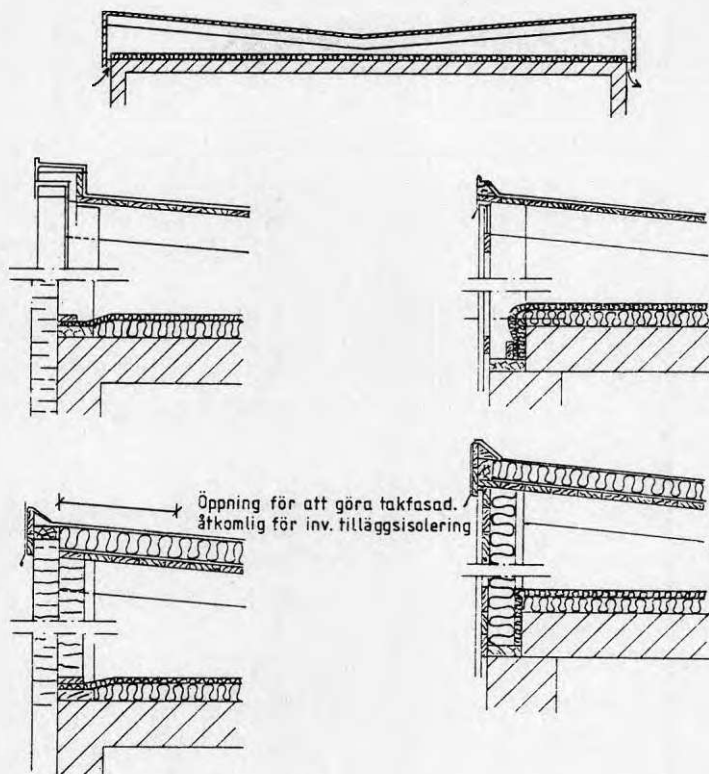
Goda från det hittills uppföljda
fallet, Norrköping (omvänt tak).

FoU-behov:

Mätning av temperatur, värme-
flöde och fukt före och efter
åtgärd.

EX. OMVÄNT TAK (NORRKÖPING)

C3 Inåtlutande uppstolpat tak på t ex betongbjälklag
Ej demonterbar resp demonterbar takfasad



Utvändig tilläggsisolering
(konventionellt eller omvänt tak)

Gamla tätskiktet intakt

Ventilationen stängs

Fördelar:

Gamla taket blir varmare än tidigare.
Arbetstekniska fördelar. (Undantag: takets vertikala ytor, då dessa ej är demonterbara).

Nackdelar:

Inga

Kritiska punkter:

Isolering och tätning av takets vertikala ytor. Genomföringar.

Erfarenheter:

Saknas

FoU-behov:

Mätning av temperatur, värme flöde och fukt före och efter åtgärd.

6 FÖRSLAG TILL FORSKNINGSSINSATSER

Mot bakgrund av genomförd inventering om tilläggsisolerings funktion i praktiken samt studium av taks fukt- och värmeströmningsförlopp och dess förändring vid tilläggsisolering, framstår det ett behov av att särskilt studera förekommande klimatiska belastningar, konstruktionsegenskaper med hänsyn till dessa belastningar (materialegenskaper ej medtagna här), samt hur takkonstruktionen fungerar i praktiken genom studium av provtak i fält.

Följande uppställning formulerar områden som nu är aktuella för forskningsinsatser, vilka gemensamt bör kunna ge bättre kunskap om takens funktion än vad man nu vet, så att ingrepp i takkonstruktioner av olika slag, såsom tilläggsisolering i olika utförande, teoretiskt kan studeras och därefter genomföras utan överraskande resultat. Vunnet kunnande ger naturligtvis säkrare förutsättningar även för dimensionering vid nybyggnation.

Sist i kapitlet redovisas schematiskt påbörjade forskningsprojekt.

Forskningsinsatser

1. Studera klimatet i byggnaders bostadsutrymmen, i takkonstruktionen och utomhus. Detta ger fukt-, temperatur- och lufttrycksgradienter över takkonstruktionen (dvs aktuella förutsättningar för en åtgärd).

Det genomföres genom att mäta i ett stort antal befintliga byggnader av olika typ. Litteraturstudium.

2. Studera ventilationen i takkonstruktioner. Detta ger luftomsättningen i taket och därmed kvantifiering av borttransporterad inläckt fukt i taket.

Det genomföres genom teoretiska studier, ev. labora-

torieförsök och fältförsök. Mätning i befintliga takkonstruktioner. Litteraturstudium.

3. Studera problemet med snöindrivning i tak. Detta ger förutsättningar för att undvika snö och därmed sammanhängande fuktproblem i tak och väggar.

Det genomförs lämpligen i anslutning till punkt 2 ovan, eller på liknande sätt.

4. Studera konstruktioners lufttäthet. Denna tillsammans med tryckgradienten över taket kvantifierar det konvektiva fuktflödet genom taket.

Det genomföres genom teoretiska studier, laboratorieförsök och fältförsök. Litteraturstudium.

5. Ta fram mätmetoder för bestämning av luftomsättning i tak med litet resp. stort ventilationsutrymme.
6. Ta fram mätmetoder för bestämning av konstruktionsdelars lufttäthet, såsom tak.
7. Studera typiska takkonstruktioners funktion i fält, före tilläggsisolering och efter tilläggsisolering. Olika principlösningar studeras. Detta ger tilläggsisoleringens förändring av klimatet i byggnaden och i taket, minskat värmefflöde genom taket, tillfälle till studium av olika tilläggsisoleringsalternativs specifika oförutsedda problem, fuktproblem etc. Detta genomförs genom mätning av temperatur, fuktighet och värmefflöden i tillgängliga befintliga tak, före och efter tilläggsisolering, med ute och inneklimate som referens.

Allmänt om forskning kring tilläggsisolering i takkonstruktioner framhålles nyttan av möjlighet till att upprätthålla aktuella kontakter, och att samla information genom nya kontakter. Detta för att

- ta nytta av praktiska erfarenheter
- vara underrättad om förekommande problem och lösningar
- samverka med andra forskningsinstitutioner i Sverige och utomlands.

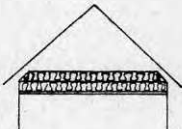
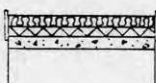
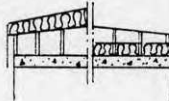
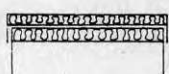
Påbörjade projekt

Under denna förstudie har följande forskningsprojekt påbörjats

1. Utvändig tilläggsisolering av låglutande tak
(Statens Provningsanstalt, Borås)
2. Utvändig tilläggsisolering av låglutande tak
(KTH, Byggnadsteknik, Stockholm)
3. Ventilation i tak. Litteraturstudium
(CTH, Husbyggnadsteknik, Göteborg)
4. Fuktbelastning på tak före och efter tilläggs-
isolering
(CTH, Husbyggnadsteknik, Göteborg)

vilka sammanfattas i följande tablå

ÖVERSIKT ÖVER PÅBÖRJJADE PROJEKT

	KALLTAK	VARMTAK	UPPSTOLPAT TAK	PARALLELL TAK
				
TYPISKA TAK- KONSTRUKT, ¹⁾		KTH	SP	KTH, SP
<u>VENTILATION</u>	CTH (invent)	""	""-, CTH (invent)	""-, ""-, CTH (invent)
<u>SNÖINDRIVN.</u>				
<u>LUFTTÄTHET</u>				
<u>KLIMAT</u>	CTH	""	""- CTH	""-, ""-
<u>MÄTMETODER LUFTOMSÄTTN.</u>	(viss erfarenhet vid CTH Byggnads- konstruktion)			SP
<u>MÄTMETODER LUFTTÄTHET</u>				(viss erfarenhet av mätning av lokala läckage vid SP)

1) Innebär studium av takets fukt- och värmeförhållanden.

REFERENSER

Ahlgren, L, 1972, Fuktfixering i porösa byggnadsmaterial. (Tekniska Högskolan i Lund, Inst för byggnadsteknik.) Rapport 36. Lund.

Anderlind, G, 1974, Instationär endimensionell värme- och fukttransport inom byggnadstekniken. (Chalmers Tekniska Högskola, Inst för byggnadsteknik.) Publ 74:6. Göteborg.

Anderlind, G, 1972, Inverkan av springor och spalter på värmeisoleringen hos väggar isolerade med skivor av styrencellplast. (Chalmers Tekniska Högskola, Inst för byggnadsteknik.) Nr 199. Göteborg.

Andersson, A-C, 1979, Invändig tilläggsisolering. Köldbryggor, fukt, rörelser och beständighet. (Tekniska Högskolan i Lund, Inst för byggnadsteknik.) Rapport TVBH-1001. Lund.

Axén, B & Pettersson, B, 1979, Termografering. Kontroll av byggnaders värmeisolering och täthet. (Statens råd för byggnadsforskning.) T1:1979. Stockholm.

BABS 60, (Statens Planverk). Stockholm

BABS 50, (- " -). -"-

BABS 46. (- " -). -"-

Bankvall, C G, 1977, Påtvingad konvektion. Praktisk värmeisoleringsförmåga under inverkan av vind och arbetsutförande. (Statens Provningsanstalt.) Teknisk Rapport nr 21. Borås.

Bergström, S & Hammarsten, S, 1978, Undersökning av husbeståndet från energisynpunkt. Delrapport 3: steg 2, preliminära resultat, (Statens institut för byggnadsforskning.) Meddelande M78:1. Gävle.

Bjerking, S-E, 1974, Ombyggnad. Hur bostadshusen byggdes 1880-1940. (Statens institut för byggnadsforskning.) R32:1974. Stockholm.

Brown, G, 1956, Värmeövergång vid byggnaders yttertor (Statens nämnd för byggnadsforskning.) Handlingar nr 27. Stockholm.

BYGG 1A, 1971, (AB Byggmästarens förlag.) Stockholm.

Byggnadstekniska möjligheter att spara energi i befintlig bebyggelse. (Industrigruppen för Lätt Byggeri), 1980.

Byggnadstekniska åtgärder för energibesparing i befintlig bebyggelse, 1974. (Statens Institut för byggnadsforskning, Institutionen för byggnadsteknik, KTH.) Stockholm.

Carlsson, B, Elmroth, A & Engwall, P-Å, 1979, Lufttätet och värmeisolering. Byggnadstekniska lösningar. (Statens råd för byggnadsforskning.) T24, 1979. Stockholm.

Carlsson, A & Hansson, T, 1967, Isolering av vindsbjälklag. (Statens institut för byggnadsforskning.) Byggnadsforskningen informerar nr 7/67. Stockholm.

Cederwall, K & Larsen, P, 1976, Hydraulik för väg- och vattenbyggare. (Liber Läromedel, Lund.) Lund.

Christensen, G, 1981, Additional insulation of flat roofs (Society of Chemical Industry, Road & Building Materials Group and Agrément Board. Second international symposium on roofs and roofing in Brighton.) Proceedings, vol. 1. London.

Cornish, J P & Sanders, C H, 1981, Parameters affecting condensation in pitched roofs. (Society of Chemical Industry, Road & Building Materials Group and Agrément Board. Second international symposium on roofs and roofing in Brighton.) Proceedings, vol. 2. London.

Det lönar sig att isolera mera!, 1978. (Swedisol), Huskvarna.

Dick, J B, 1950, The Fundamentals of Natural Ventilation of Houses. (IHVE, 49 Cardigan Square, London SW1). Journal of the Institution of Heating and Ventilation Engineers, 18, p. 123-134, London.

Energibehov för bebyggelse, hushållningsmöjligheter. Sektorrapport från Expertgruppen för energihushållning. (Industridepartementet, Energikommissionen.) Ds I 1977:13. Stockholm.

Energisparande hos befintligt byggnadsbestånd. Remissyttrande, 1977, (Industrigruppen för Lätt Byggeri.) Västerås.

Energispareffekter i bostadshus där åtgärder genomförts med statligt energisparstöd. Expertbilaga 5 till SOU 1980:43 "Program för energihushållning i befintlig bebyggelse". (Bostadsdepartementet.) Ds Bo 1980:8. Stockholm.

Fahlström, K-E, 1978, Isproblem vid yttertak i övre Norrland. (Västerbottens-kommunernas Arkitekt- och Byggnadskontor (VAB), Husbyggnadsavdelningen.) Umeå.

Geirbo, E, 1977, Tilleggsisolering av bygningar. (Norges byggforskningsinstitut.) Arbetsrapport 9. Blindern.

Hammarsten, S, 1980, Undersökning av husbeståndet från energisynpunkt. Delrapport 10: En sammanfattning. (Statens institut för byggnadsforskning.) Meddelande M80:7. Gävle.

Hammarsten, S & Persson, A, 1980, Undersökning av hur statligt stödda energisparåtgärder utförts. Delrapport 1: Resultat från besiktningar. (Statens institut för byggnadsforskning.) Meddelande M80:2. Gävle.

Hammarsten, S & Pettersson, B, 1980, Undersökning av hur statligt stödda energisparåtgärder utförts. (Statens institut för byggnadsforskning.) M80:18. Gävle.

- Hammarsten, S, 1977, Undersökning av husbeståndet från energisynpunkt. Delrapport 1: Steg 1, provundersökning. (Statens institut för byggnadsforskning.) Meddelande M77:15. Gävle.
- Handa, K, Kärrholm, G & Lindquist, T, 1979, Mikroklimat och luftväxling. (Statens råd för byggnadsforskning.) T3:1979. Stockholm.
- Henningsson, B, 1976, Rötsvamp av olika slag. (Träindustrin.) Träindustrin Nr 7, årgång 1976, p. 617-629. Stockholm.
- Henriksson, K, Lindkvist, S, Sjögren, P & Thand, S, 1982, Ombyggnad av vindar till bostäder i hus byggda 1880-1930. (Statens råd för byggnadsforskning.) R17:1982. Stockholm.
- Höglund, I, 1963, Högisolerade ytterväggars värmemotstånd. (Statens råd för byggnadsforskning.) Handling nr 41. Stockholm.
- Höglund, I, 1973, Metod för beräkning av extrema yttemperaturer hos isolerade ytterkonstruktioner. (Statens institut för byggnadsforskning.) R6:1973. Stockholm.
- Höglund, I, Johnsson, B & Lagerström, J, 1981, Ulvsunda-projektet. Effektivare energianvändning i äldre byggnader. Etapp 1. (Statens råd för byggnadsforskning.) T5:1981. Stockholm.
- Höglund, I & Nilsson, S, 1981, Takteknik. (Byggförlaget AB.) Stockholm.
- Koob, F, 1981, Belüftung von wärmegeädämmten geneigten Dächern. (Society of Chemical Industry, Road & Building Materials Group and Agrément Board. Second international symposium on roofs and roofing in Brighton.) Proceedings, vol. 1. London.
- Korsgaard, V, Christensen, G, Lohse, U, Prebensen, K & Brandt, J, 1981, Merisolering af flade tage. (COWI consult, Rådgivande Ingeniörer AS.) Publ nr 418. Köpenhamn.

- Kronvall, J, 1980, Air flows in building components. (Lund Institut of Technology, Div of Building Technology.) Report TVBH-1002. Lund.
- Larsson, L-E, 1982, Fuktvandring och fuktproblem vid byggnader. (Chalmers Tekniska Högskola, Avd. för husbyggnadsteknik.) Kompendium Publ. 82:1. Göteborg.
- Larsson, L-E, 1981, Sandwich Panels with Foamed Polyurethane Insulation. (Chalmers University of Technology, Div. of Building Technology.) Publ. 81:9. Göteborg.
- Larsson, L-E, 1975, Taktäckning. (Svenska Väg- och Vattenbyggares Riksförbund.) Väg- och vattenbyggaren, Nr 6-7, p. 33-36. Stockholm.
- Levin, P, 1981, Klimatprovning av konstruktionsdetaljer. Bidrag till Nordtest symposium Energihushållning i byggnad, provning, utvärdering. (Statens Provningsanstalt.) Borås.
- Nevander, L-E & Elmarsson, B, 1981, Fukthandbok, Teori, dimensionering, konstruktion. (AB Svensk Byggtjänst.) Stockholm.
- Newberry, C W & Eaton, K J, 1974, Wind Loading Handbok. (Building Research Establishment.) London
- Nilsson, S, 1981, Tilläggsisolering av parallelltak kan också lösa fuktproblem. (Tidskriften Byggmästaren AB.) Byggmästaren nr 12, p. 49-50. Stockholm.
- Nilsson, M & Pinter, G, 1981, Tilläggsisolering med cellplastkuler - ett fuktproblem? (Tekniska Högskolan i Lund, Inst för byggnadsteknik.) Examensarbete TVBH-5011. Lund.
- Nordin, K, 1982, Tätskikt på låglutande tak. En inventering av material och deras beständighet. (Statens Provningsanstalt.) Borås.

Nylund, P-O, 1980, Infiltration and ventilation. (Swedish Council for Building Research.) D22:1980. Stockholm.

Petersson, B-Å, 1980, The Upside-Down Roof. Field and Laboratory Studies of Thermal Insulation, Moisture Conditions and Performance. (Chalmers University of Technology, Division of Building Technology.) Publ 80:6. Göteborg.

Regeringens proposition 1977/78:76, 1977, Energisparplan för befintlig bebyggelse. Stockholm.

Rätt åtgärdspaket i rätt byggnad vid rätt tidpunkt. Energisparande i form av åtgärdspaket på husnivå. (Statens råd för byggnadsforskning.) T17:1981. Stockholm.

Röta. Orsaker, förebyggande åtgärder, sanering, 1982, (Svenska Träskyddsinstitutet.) Träskydd, Information 1982:1. Stockholm.

Sandberg, M, 1979, Undersökning av husbeståndet från energisynpunkt. Delrapport 8: Uppskattning av besparingsmöjligheter genom byggnadstekniska åtgärder, (Statens institut för byggnadsforskning.) Meddelande M79:21. Gävle.

Sandberg, P-I, 1973, Byggnadsdelars fuktbalans i naturligt klimat. (Lunds Tekniska Högskola, Inst för byggnadsteknik.) Lund.

Sandberg, P-I & Erlandsson, B, 1982, Computer calculation of internally insulated areated concrete roofs. (Swiss Federal Institute of Technology.) Proceedings of Rilem International Symposium on Autoclaved Areated Concrete, Lausanne.

Samuelsson, I, 1976, Fukt i utvändigt isolerade plåttak. (Tekniska Högskolan i Lund, Inst för byggnadsteknik.) Rapport 67. Lund.

Samuelsson, I, 1981, Fukt- och temperaturförhållanden i tilläggsisolerade parallelltak. (Statens Provningsanstalt.) Utlåtande 7912,422. Borås.

SBN 80, (Statens Planverk.) Stockholm

SBN 75, - " - -"-

SBN 67, - " - -"-

Statens institut för byggnadsforskning. Meddelande M82:7. Fältundersökningar Fukt i byggnader. (Statens institut för byggnadsforskning.) Gävle.

Statens Planverk, 1977, Energihushållning i befintlig bebyggelse, (Statens Planverk), rapport 41. Stockholm.

Taesler, R, 1972, Klimatdata för Sverige. (Statens råd för byggnadsforskning.) Stockholm.

Tolstoy, N & Persson, A, 1980, Fel och brister vid tilläggsisolering. (Svenska Väg- och vattenbyggares Riksförbund.) Väg- och vattenbyggaren, nr 9, p. 3-7. Stockholm.

Träskydd, 1979, (Träinformation.) Stockholm.

Turenne, R G, 1977, The Effect of Increased Insulation on Exposed Bituminous Roofing Membranes. (National Research Council of Canada, Division of Building Research.) Building Practice Note, No 4. Ottawa.

VVS Handboken, 1974. (Förlag AB VVS.) Stockholm.

BILAGA 1

Sammanställning av befintliga
bjälklags och yttertaks k-värden,
enligt Industrigruppen för Lätt
Byggeri, 1980

Befintliga bjälklags och yttertaks k-värden, enligt Industrigruppen för Lätt Byggeri.

BJÄLKLAGSKONSTRUKTION	BYGG.ÅR	k-VÄRDE (W/m ² °C)
Oisolerad bjälklagskonstruktion		1,0
Bjälklag med tung fyllning t ex sand eller koksaska	-1920	0,8
Gasbetongbjälklag	1945-	0,6
Betongbjälklag med gasbetongkross eller granulerat masugnsslagg	1935-1960	0,6
Betongbjälklag med kutter-spån och koksaska	1935-1960	0,6
Enkelt trähusbjälklag med ca 150 mm sågspån eller kutter-spån	1940-1960	0,6
Träbjälklag med golvträ blindbotten och underpanel samt 150-200 mm lätt fyllning av kalkblandat sågspån eller torvmull	1900-1945	0,4
Träbjälklag med brandbotten och 200 mm halvtung fyllning (granulerad masugnsslagg) samt putsad underpanel	1910-1945	0,4
Träbjälklag med ca 250 mm sågspån eller kutterspån	1940-1960	0,4
Träbjälklag med mineralullsmattor	1955-	0,4
Mineralullsisolerat lättbetongbjälklag	1945	0,4
Mineralullsisolerat betongbjälklag	1950	0,4

forts.

BJÄLKLAGSKONSTRUKTION	BYGG.ÅR	k-VÄRDE (W/m ² °C)
100 mm gasbetong, kval 500 +papptäckning	1945-	1,0
150 mm gasbetong, kval 500 +papptäckning		0,8
200 mm gasbetong, kval 500 +papptäckning		0,6
160 mm betong+40 mm iso- lering+papptäckning		0,8
Trapetsprofilerad plåt+50 mm isolering+papptäckning	1965-	0,6
Trapetsprofilerad plåt+70 mm isolering+papptäckning		0,5
Trapetsprofilerad plåt+100 mm isolering+papptäckning		0,4
25 mm träpanel+50 mm hel- täckande isolering+papptäck- ning	1940-	0,6
25 mm träpanel+95 mm mi- neralullisolering mellan reg- lar 1200 mm+vent.luftspalt +25 mm träpanel med papp alt.korrugerad plåt		0,4

BILAGA 2

Bjälklagskonstruktioner i befintligt
bostadsbestånd, enligt Swedisols skrift
"Det lönar sig att isolera mera", 1978.

Bjälklagskonstruktioner i befintligt bostadsbestånd

B1 VINDSBJÄLKLAG VID TRÄHUSSTOMME –1910

11/2-21/2" golvträ

Påsalning

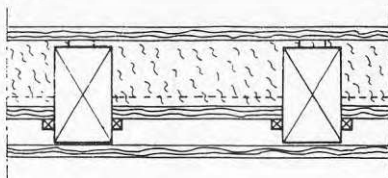
6" x 10" bjälkar c/c 60 cm

15-20 cm kalkblandad sågspån

1" blindbotten av utskottsbräder

1" underpanel

Pappspänning

k-värde: 0,42-0,34 W/m² KTilläggsisolering: På undersidan, mellan bjälkar,
(på ovsidan)

B2 VINDSBJÄLKLAG VID TRÄHUSSTOMME 1900–1945

11/2" golvträ

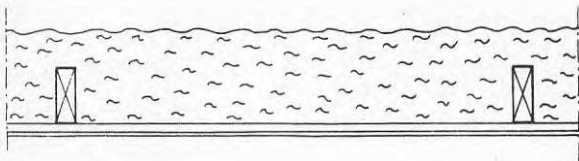
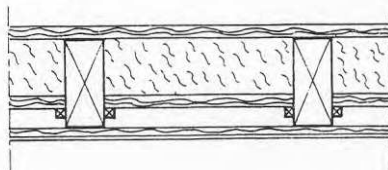
4" x 9" bjälkar c/c 60 cm

15 cm lätt fyllning (kalkbl. sågspån, torvmull)

1" blindbotten av bräder

1" underpanel

Pappspänning

k-värde: 0,42-0,39 W/m² KTilläggsisolering: På undersidan, mellan bjälkar,
(på ovsidan)

B3 VINDSBJÄLKLAG VID TRÄHUSSTOMME 1940–1960

15-25 cm sågspån eller kutterspån

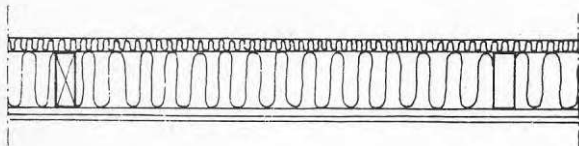
2" x 6" regler c/c 120 cm

3/4" spontad träpanel

0,3-1,3 cm träfiberskiva

k-värde: 0,67-0,36 W/m² K

Tilläggsisolering: På ovsidan, (på undersidan)



B4 VINDSBJÄLKLAG VID TRÄHUSSTOMME 1955–

10-18 cm mineralull

2" x 6" träreglar c/c 120 cm

3/4" glespanel

1/2" träfiberskiva eller gipsskiva

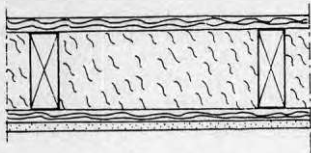
k-värde: 0,37-0,21 W/m² K

Tilläggsisolering: På ovsidan, (på undersidan)

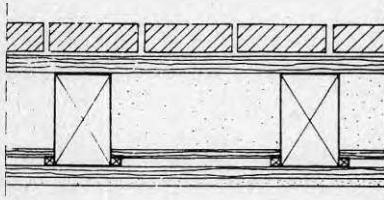
forts

B5 VINDSBJÄLKLAG VID STEN/TRÄHUSSTOMME 1880–1940

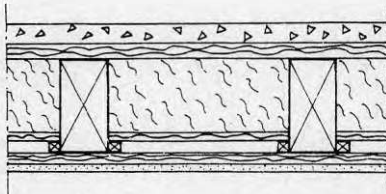
1 1/2"-1 1/4" golvträ
 3" x 8" bjälkar c/c 60 cm
 20 cm lätt fyllning (kalkbl. sågspån)
 1" spräckpanel
 2 cm puts med dubbelrörning
 k-värde: 0,42 W/m² K
 Tilläggsisolering: På undersidan, mellan bjälkar,
 (på ovsidan)

**B6 VINDSBJÄLKLAG VID STENHUSSTOMME – 1920**

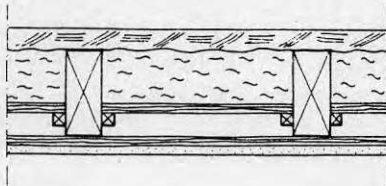
0-7,5 cm tegel (brandbotten)
 2" golvträ
 6-7" x 10" bjälkar c/c 60 cm
 15-20 cm tung fyllning (Kalkgrus,
 koksaska, sand)
 1" blindbotten
 1" spräckpanel
 2 cm puts med rörning
 k-värde: 0,72-0,45 W/m² K
 Tilläggsisolering: På undersidan, (på ovsidan)

**B7 VINDSBJÄLKLAG VID STENHUSSTOMME 1910–1945**

0-6 cm betong (brandbotten)
 1 1/2" golvträ
 5" x 10" bjälkar c/c 60 cm
 20 cm halvtung fyllning (granulerad masugnslagg)
 Tjärpapp
 1" blindbotten
 Luftspalt
 1" spräckpanel
 2 cm puts med rörmatta
 k-värde: 0,30 W/m² K
 Tilläggsisolering: På undersidan, mellan bjälkar,
 (på ovsidan)

**B8 VINDSBJÄLKLAG VID GASBETONGSTOMME 1935–1945**

0-5 cm koksaska
 4" x 9" bjälkar c/c 60 cm
 15 cm lätt fyllning (sågspån, kutterspån)
 1" blindbotten
 5 cm luftspalt
 1" underpanel
 2 cm puts
 k-värde: 0,52-0,42 W/m² K
 Tilläggsisolering: På ovsidan, (på undersidan)



forts

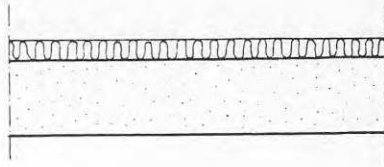
B9 VINDSBJÄLKLAG VID GASBETONGSTOMME 1945-

0-5 cm mineralull

20-25 cm gasbetong

k-värde : 0,63-0,32 W/m² K

Tilläggsisolering: På ovsidan, (på undersidan)

**B10 VINDSBJÄLKLAG VID STENHUSSTOMME 1935-1960**

0-8 cm betong

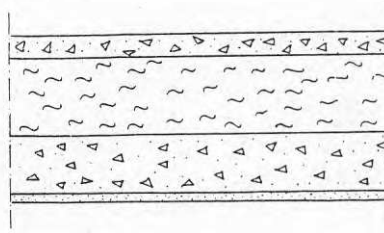
15-25 cm lättbetongkross

16 cm betong

2 cm puts

k-värde: 0,69-0,45 W/m² K

Tilläggsisolering: På undersidan, på ovsidan

**B11 VINDSBJÄLKLAG VID STENHUSSTOMME 1935-1960**

0-6 cm betong

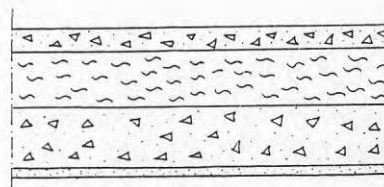
15 cm granulerad masugnsslagg

16 cm betong

2 cm puts

k-värde: 0,50 W/m² K

Tilläggsisolering: På undersidan, på ovsidan

**B12 VINDSBJÄLKLAG VID STENHUSSTOMME 1935-1960**

0-5 cm koksaska

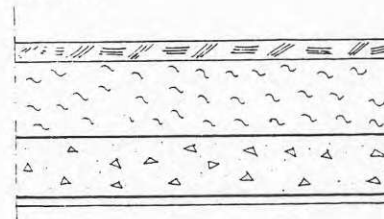
15-22 cm kutterspån

16 cm betong

2 cm puts

k-värde: 0,69-0,46 W/m² K

Tilläggsisolering: På ovsidan, (på undersidan)

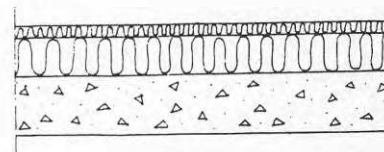
**B13 VINDSBJÄLKLAG VID STENHUSSTOMME 1950-**

7-15 cm mineralull

16 cm betong

k-värde: 0,48-0,25 W/m² K

Tilläggsisolering: På ovsidan, (på undersidan)



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
811780-7 från Statens råd för bygnadsforskning
till CTH, avd för Husbyggnadsteknik, Göteborg.**

R81: 1983

ISBN 91-540-3976-2

Statens råd för bygnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700781

**Abonnemangsgrupp:
Z. Konstruktioner och material**

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

Cirkapris: 40 kr exkl moms