

# KONDENSERING PÅ GRUNN AV LUFTGJENNOMGANG I TAK

*Av arkitekt Eirik Finne*

Norges byggforskningsinstitut

OSLO 1964

---

Særtrykk av BYGG nr 5 og 6, 1963

Norges byggforskningsinstitut

# Kondensering på grunn av luftgjennomgang i tak<sup>1</sup>

Av arkitekt Eirik Finne

Norges byggforskningsinstitut

Ved utgangen av den lange, strenge kuldeperioden vinteren 1962/63, er det til Norges byggforskningsinstitutt strømmet inn en rekke meldinger om dryppende tak. Meldingene kommer fra alle kanter av landet. I enkelte tilfelle blir dryppingen sågar karakterisert som «lokale regnbyger». Felles for disse meldingene er at de så å si alle roper de umiskjennelige, karakteristiske trekk ved fuktighetsdannelser som skyldes kondensering p. gr. a. luftgjennomgang. Ved instituttet har vi hatt anledning til å besiktige en del slike tak i Oslo-området, og det har vist seg at mistanken er berettiget. Det beklagelige er at i hvert fall i disse tilfellene kunne miseren ha vært forhindret ved ganske enkle og rimelige midler. Årsaken ligger nemlig i mangelfull utførelse av dampsperrsjiktet. Det er derfor grunn til å rope et alvorlig varsko mot takkonstruksjoner hvor det ikke blir tatt tilstrekkelig hensyn til lufttettingen.

DK 697.147:69.024

## 1. Innledning.

Fuktskader i tak er et gammelt og velkjent fenomen. Som regel skyldes disse skadene vannlekkasjer gjennom tekkingen. Men det inntreffer også mange skader p. gr. a. fuktighet som enten er bygget inn i taket opprinnelig, eller som blir tilført taket ved kondensering av vanddamp fra inneluften i huset. Fuktskadene kan ytre seg på forskjellige måter alt etter hvilke materialer taket er bygget av. Utslagene avhenger dessuten av hvor sterkt og hurtig nedfuktingen foregår, samt av temperaturen i de fuktige materialene. Blant de verste fuktskadene hører angrepene av sopp og råte i tak hvor det forekommer organiske materialer. Disse skadene oppstår særlig lett dersom taket blir stående fuktig i den varme årstiden.

Ingen annen bygningsdel over grunnmuren er så utsatt for fuktskader som taket. Dette gjelder også for skader p. gr. a. fuktighet som kommer innenfra. Det skyldes hovedsakelig at vi for å hindre lekkasjer er nødt til å gjøre takhuden meget tett. Men takhuden er jo like tett den andre veien. Dermed demmer den opp for fuktighet innenfra, så denne ikke får unnsnippe til friluft.

Ett av botemidlene mot dette er å ventilere taket. Ventilasjonen sikres ved å sørge for at det mellom yttertak og den innenforliggende isolasjon er et hulrom som står i forbindelse med uteluften ved inntaks- og avtrekksåpninger i gesims og gavlvegger. For å få best mulig avtrekk blir taket gjerne også forsynt med lyrer i mønet eller gjennom selve takflaten. Ventilasjonen tar altså særlig sikte

på å få ut innebygget fuktighet samt vanddamp som blir tilført fra inneluften. Dens vesentligste oppgave er å forhindre råteangrep i eventuelle trematerialer, likeledes blæredannelser eller annen ødeleggelse av isolasjon og tekking samt å sikre at varmeisolasjonen i taket fungerer best mulig.

En annen viktig foranstaltning for å forhindre fuktskader er dampsperrsjiktet som anbringes på undersiden, dvs. på den varme siden av isolasjonen. Sperresjiktets oppgave er å hindre tilførsel av vanddamp fra inneluften til taket. Selv om sperresjiktet var absolutt tett, ville det altså i mange tak likevel være behov for en viss ventilasjon for å få ut byggfuktigheten.

## 2. Damptilførselen fra inneluften til taket.

Vanddamptilførselen til taket foregår hovedsakelig på to prinsipielt forskjellige måter. Den ene — og den mest kjente — er ved diffusjon, dvs. ved molekylær dampstrøm gjennom materialene. Dampsperrsjiktet er konsipert spesielt for å hindre eller redusere denne dampstrømmen. Den egenskap som betegner kvaliteten av sperresjiktet, blir angitt ved dets såkalte permeabilitet, (diffusjonstall for folier og tynne platematerialer) hvis inverse verdi er et mål for den motstand sperresjiktet yter mot dampdiffusjon. Det er kvaliteten av selve materialet som er bestemmende for hvor effektivt sperresjiktet klarer å bremse på dampdiffusjonen. Små utettheter i f. eks. uunngåelige spikerhull og skjøter spiller i denne henseende mindre rolle. Det totale

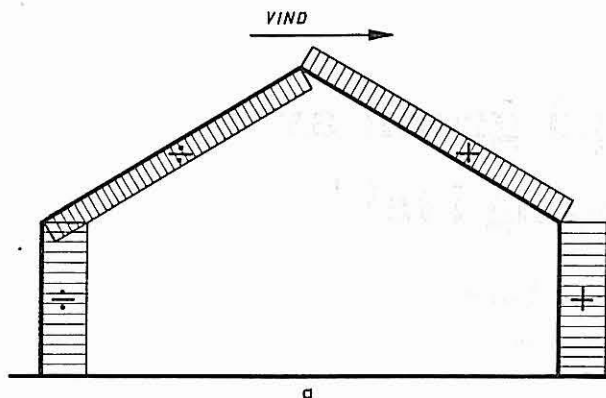


Fig. 1 a viser trykkdifferanser forårsaket av vind. På grunn av vindens avbøyning og hvirveldannelser vil de virkelige trykkforholdene — især ved hjørnene — avvike sterkt fra de skjematiske. Inne i huset vil det være normalt lufttrykk. I dette tilfelle blir det derfor overtrykk og undertrykk på utvendig side.

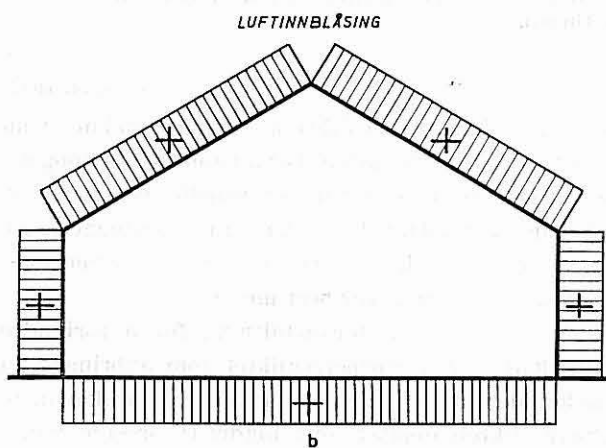


Fig. 1 b viser trykkforholdene ved mekanisk innblåsing av uteluft. Ved utsugning av inneluften blir trykkfallet omvendt. Trykkendringene oppstår i inneluften.

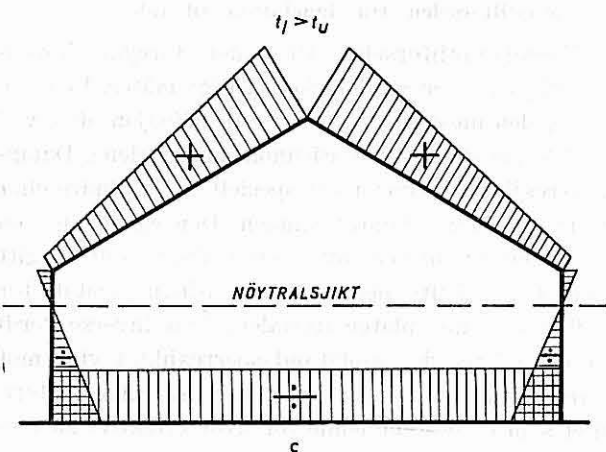


Fig. 1 c viser trykkdifferanser p. gr. a. temperaturforskjeller med høyeste temperatur inne. Trykkendringene oppstår i inneluften.

flateinnhold av disse vil være forsvinnende lite i forhold til hele sperresjiktets flate, og alle de øvrige materialer — ja, selv stillestående luft — yter en viss motstand mot dampdiffusjon. Et dampsperresjikt av et materiale som tilfredsstiller kravene til diffusjonstett papp, er derfor en god brems på diffusjonen. Den dampmengde som diffunderer gjennom sperresjiktet, vil kunne føres ut av taket med et minimum av ventilasjon.

Den andre — og mindre påkattede — måten som damptilførselen til taket foregår på, er ved luftlekkasjer gjennom himling og dampsperresjikt, dvs. ved molar strømming. Alle materialer, bortsett fra slike som er høyporøse med gjennomgående åpne porer, yter stor motstand mot luftgjennomgang av den størrelsesorden som er nødvendig for å tilføre taket skadelige mengder av vanddamp. Derfor vil særlig dampsperresjiktet være en effektiv tetting mot luftgjennomgang, idet stor diffusjonsmotstand automatisk også medfører stor luftgjennomgangsmotstand. Små brudd i sperresjiktet vil derimot — sett i relasjon til den nevnte størrelsesorden — praktisk talt ikke yte noen motstand mot luftgjennomgang. For luftgjennomgangen spiller derfor utførelsen av sperresjiktet en avgjørende rolle. Særlig stor betydning har utførelsen av skjøtene, eventuelle rifter og hull som er oppstått ved skjødesløs behandling, samt gjennomhullinger for elektriske anlegg eller andre tekniske installasjoner.

### 3. Trykkdifferanser, luftgjennomgang og kondensering.

Luftgjennomgangen gjennom taket innenfra og ut blir forårsaket ved at inneluften under taket har et lite overtrykk i forhold til uteluften. Dette kan skyldes flere årsaker som f. eks. vind, ventilasjon og temperaturforskjeller, se fig. 1.

#### 3.1. Vindtrykk.

For vindens vedkommende vil det oppstå et utvendig undertrykk på husets leside. Lufttrykkfall innenfra og ut vil derfor forekomme på takflater som faller i den samme retning som den fremherskende vindretning på stedet. På flate tak eller mønetak med liten helning vil det som regel bli utvendig undertrykk over hele takflaten. På den side av huset som vender mot vinden vil det bli et utvendig overtrykk. For flater som står loddrett på vindretningen kan dette overtrykket med god tilnærming beregnes etter formelen:

Fig. 1. Skjematisk fremstilling av lufttrykk-differanser over yttervegger og tak i hus. Trykkfall innenfra og ut har skravering merket med + tegn. Trykkfall utenfra og inn er merket med ÷ tegn.

$$P = \frac{V^2}{16}$$

hvor P mm V.S. er luft-trykket og V m/s er vindhastigheten. Undertrykket på lesiden vil være av samme størrelsesorden.

### 3.2. Mekanisk husventilasjon.

Ved mekanisk husventilasjon oppstår det et lite innvendig luftovertrykk når denne er basert på innblåsing av uteluften. Dette er et vanlig fenomen i større bygg som f. eks. kontorbygg, forsamlingshus, arbeidslokaler etc. Når innvendig overtrykk blir valgt, er det som regel fordi man vil unngå sjenerende trekk ved vinduer og dører og for å få god trekk ved peiser og andre ildsteder. Størrelsen av overtrykket vil som regel være mindre enn 1 mm. V.S.

Større ventilasjonsanlegg blir gjerne basert på samtidig innblåsing og utsugning av luften, under forutsetning av at de skal arbeide med normalt innvendig lufttrykk. Det er imidlertid ikke mulig å regulere et slikt anlegg så fint at man akkurat treffer det nøytrale nivået. Trykkforholdene vil dessuten variere innenfor en og samme bygning. Man bør være oppmerksom på at disse anleggene av de ovenfor nevnte grunner da lett kan få en tendens til å gå med et lite innvendig overtrykk. Trykkdifferansene kan være så små at de ikke er målbare med vanlig utstyr og derfor blir de gjerne oversett. Men de kan likevel være tilstrekkelige til å skape komplikasjoner i et tak med liten motstand mot luftgjennomgang.

### 3.3. Trykkdifferanser p. gr. a. temperaturforskjeller.

Den viktigste årsaken til luftovertrykket under taket er imidlertid temperaturforskjeller og dette forekommer i praktisk talt alle hus. På grunn av luftens varmeutvidelse synker dens spesifikke vekt med økende temperatur, og vektendringen er omvendt proporsjonal med temperaturendringen. En avgrenset mengde luft av en bestemt temperatur, som er innesluttet i en større luftmengde av lavere temperatur, vil derfor i forhold til omgivelsesluften få en oppdrift som bevirker at den stiger til værs. Omvendt vil en avgrenset mengde kaldluft som er innesluttet i luft av høyere temperatur synke i forhold til omgivelsene. Det er dette som gjør seg gjeldende når vi om vinteren varmer opp husene våre. Den varme inneluften som er innesluttet i kald uteluft, vil p. gr. a. oppdriften «stange» oppunder himlingen i taket. Derved oppstår det under taket et overtrykk som er tilnærmet proporsjonalt med differansen mellom temperaturene inne og ute.

Over gulvet vil man få et tilsvarende undertrykk, og det nøytrale sjiktet plasserer seg i høyde med romluftens tyngdepunkt dersom alle begrensingsflatene (vegger, gulv og tak) er like tette. Når rommet har større åpninger til friluft vil det nøytrale sjiktet ligge i tyngdepunktet for disse åpningene. Derfor vil også tettheten av taket influere på beliggenheten av nøytralsjiktet. Jo åpnere taket er desto høyere vil sjiktet ligge. Normalt vil det ligge omtrent i halve romhøyden.

I rom med ovnsfyring — særlig i slike hvor det er åpne ildsteder med høy og romslig avtrekkspipe — vil nøytralsjiktet ligge så høyt at det vanligvis kommer over taket. Derved vil undertrykket forplante seg fra gulvet til himlingen og man får hovedsakelig luftgjennomgang den motsatte veien, d.v.s. utenfra og inn. Dette virker da uttøkende på taket. Men effekten avhenger selvsagt av i hvilken utstrekning man benytter seg av avtrekksmulighetene fra ildstedene.

Omvendt kan det også forekomme at nøytralsjiktet ligger forholdsvis nær gulvet, således at det vil være overtrykk i den største delen av romhøyden. Dette er særlig tenkelig i høye rom som f. eks. forsamlingslokaler, større haller etc. Disse har vanligvis faste vinduer i høyden, mens vinduer som er til å åpne ligger nær gulvet. Sammen med dørene vil de da medvirke til å forrykke nøytralsjiktet mot gulvet. Det samme fenomen vil også kunne gjøre seg gjeldende i to etasjers boliger med meget åpen forbindelse mellom de to etasjene.

### 3.4. Størrelsen av trykkdifferansene p. gr. a. temperaturforskjeller.

Lufttrykkfallet gjennom taket er gitt ved temperaturene ute og inne samt av avstanden fra det nøytrale sjiktet til himlingen. Det kan med god tilnærming beregnes etter formelen:

$$\Delta P = 273 \cdot \gamma_0 \left( \frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_i} \right) h_0$$

hvor

$\Delta p$  mm V.S. er trykkfallet.

$\gamma_0 = 1,293 \text{ kg/m}^3$  er tørr lufts spesifikke vekt ved temperatur  $0^\circ \text{C}$  og barometertrykk 760 mmHg.

$T_u = 273 + t_u$  °K er uteluftens absolutte temperatur.

$T_i = 273 + t_i$  °K er inneluftens absolutte temperatur.

$h_0$  m er høyde fra nøytralsjiktet til himlingen.

$t_i$  og  $t_u$  °C er temperatur i henholdsvis inne- og uteluften.

Et par eksempler vil gi et bilde av størrelsesforholdene ved de luftovertrykk man kan få under himlingen på grunn av temperaturdifferanser. Ved innetemperatur + 20 °C, utetemperatur ÷ 20 °C, romhøyde 2,5 m og nøytralsjikt midt i rommet vil overtrykket under taket bli ca. 0,25 mm V.S. dvs. 0,25 kg/m<sup>2</sup>. Ved samme temperaturforhold, romhøyde 5 m og nøytralsjikt ved gulvet blir overtrykket ca. 1 mm V.S.

### 3.5. Det totale trykkfalls variasjonsområde.

Om man antar at mekanisk ventilasjon i tillegg kan skape et luftovertrykk på ca. 1 mm V.S. så får man at det totale trykkfallet gjennom taket kan variere fra 0 til ca. 2 mm V.S. Normalt vil det i boliger ligge i den nederste fjerdedel av dette området. Ved sterk vind kan trykkfallet bli meget større, men dette vil bare forekomme sporadisk og medfører derfor neppe den samme fare som de vedvarende, konstante påkjenninger som forårsakes av overtrykksventilasjon og temperaturforskjeller. I ventilerte tak vil dessuten ventilasjonseffekten gjøre seg sterkere gjeldende når det blåser.

### 3.6. Luftgjennomgangen.

Luftgjennomgangen pr. flateenhet gjennom en konstruksjon kan beregnes etter formelen:

$$Q = L \cdot (\Delta p)^n \quad L = \frac{1}{M}$$

hvor Q er gjennomstrømmende luftmengde pr. tidsenhet, L er konstruksjonens «luftgjennomgangstall»,  $\Delta p$  er totaltrykkfallet gjennom konstruksjonen, M er konstruksjonens totale motstand mot luftgjennomgang, og n er en koeffisient som avhenger av strømningsarten. Vanligvis vil n ligge i området 0,5 til 1. For turbulent strømming er dens teoretiske verdi  $n = 0,5$ . For laminær strømming er  $n = 1$ . De størrelser av  $\Delta p$  som kommer i betraktning ved luftgjennomgang i tak er innen det aktuelle variasjonsområdet så små at verdien av n alltid vil ligge nær 1. Luftgjennomgangen Q er da tilnærmet proporsjonal med trykkfallet  $\Delta p$ . Totalmotstanden M kan ansees som en konstant størrelse som er gitt ved konstruksjonen.

Den gjennomstrømmende luftmengde Q vil dessuten også være bestemt av tilsiget av uteluft inn i huset gjennom vegger, vinduer, dører, ventiler etc. Dersom alle disse delene er absolutt tette, men taket har en viss åpenhet, så får man altså  $Q = \Delta p = 0$ , dvs. nøytralsjiktet ligger i taket og det forekommer ingen luftgjennomgang.

### 3.7. Gjennomstrømmende luftmengde.

Det er vanskelig å bedømme tettheten av taket og de øvrige bygningsdelene bare ved en subjektiv vurdering av konstruksjonene. Derfor er det også vanskelig å gjøre seg noen forestilling om størrelsesordenen av den gjennomstrømmende luftmengde. Å måle disse størrelsene på stedet er heller ikke noen enkel affære. Resultatet ville bli tvilsomt. Indirekte kan man imidlertid danne seg et bilde av gjennomstrømmingen ved å betrakte de luftgjennomgangstall som er funnet ved målinger i bindingsveggselementer foretatt ved N.B.I. (2). Disse tallene kan man sammenholde med den normale luftveksling som forekommer p. gr. a. ventilasjonen i et hus, samt med den mengde fuktighet som må utfelles og akkumuleres i et tak for at det skal kunne forekomme så sterk drypping som man har konstatert. Dermed kan man peile inn de sannsynlige størrelsesforhold ved luftgjennomgang i tak.

Ved målingene fant man luftgjennomgangstall som varierte fra 1,0 til 0,05 m<sup>3</sup>/h · mm V.S. pr. m<sup>2</sup> veggflate, for de dårligste til de beste av de undersøkte veggelementene. Alle veggene hadde på hver side minst 1 lag papp pluss et kledningsmateriale. Det ene papplaget hadde klemte skjøter. Denne konstruksjonen er langt bedre enn den praktiske utførelsen av himlingene i mange eksisterende tak.

Den normale ventilasjon i hus ligger mellom 1/2 og 1 gangs luftveksling pr. time. Om man tenker seg at all ventilasjonsluften skulle strømme ut gjennom taket, og at det forekommer 1 luftveksling pr. time så ville dette med romhøyde 2,50 m gi en luftgjennomgang av 2,5 m<sup>3</sup>/h pr. m<sup>2</sup> takflate. Denne gjennomstrømmingsmengden er betraktelig større enn den man innen det aktuelle trykkfallsområdet ville få selv ved de dårligste av de undersøkte veggene. Om taket er like åpent som disse så vil altså luftgjennomgangen likevel bare utgjøre en brøkdel av den normale ventilasjonen selv i boliger.

Man kan derfor gå ut fra at et tak kan være atskillig mer utett enn de dårligste målte veggene uten at man merker dette ved generende trekk og unormalt varmetap. Det kan nemlig godt tenkes at så å si hele ventilasjonsavtrekket foregår gjennom taket, i de hus hvor det forekommer sterk kondensering. Betingelsen for dette er bare at taket relativt sett er meget åpent i forhold til de øvrige bygningsdelene. Derved vil nøytralsjiktet bli liggende meget høyt. Gjennom vegger, vinduer og dører vil det da praktisk talt bare foregå luftgjennomgang utenfra og inn. Den samme luftmengden strømmer ut gjennom taket med et trykkfall som er gitt ved:  $\Delta p = Q \cdot M$ . Det vil si at hele taket i dette tilfelle virker som en avtrekkspipe. Konklusjonen må da bli at det

såvel fra et konstruksjonsmessig som fra et ventilasjonsmessig synspunkt synes rimelig å anta at luftgjennomgangen i tak i boliger godt kan oppnå en størrelse av 2—3 m<sup>3</sup>/h pr. m<sup>2</sup> takflate. I forsamlingslokaler vil den sannsynligvis kunne bli enda større.

### 3.8. Kondenseringen.

Den mengde fuktighet som utfelles i taket er tilnærmet proporsjonal med den gjennomstrømmende luftmengde. Mekanismen i kondenseringsprosessen er enkel. Ved gjennomstrømningen i taket blir inneluften nedkjølt. Dersom dens duggpunkttemperatur er høyere enn temperaturen på de kalde flater den bstryker, kan luften ikke holde på den overskytende dampmengden som dermed kondenserer og avsetter seg på de kalde flatene. Om temperaturen på disse er lavere enn 0 °C, så vil fuktigheten avsettes i form av is og rim. Under langvarige kuldeperioder kan dette is- og rimlaget anta en betraktelig tykkelse. Når det så kommer værømslag, smelter hele laget på en gang og vannet siver ned gjennom isolasjonen og ut gjennom de tilfeldige åpningene i himlingen.

I hus som er utsatt for kondensering p. gr. a. luftgjennomgang vil inneluften normalt ikke ha noe eksepsjonelt høyt fuktighetsinnhold. Dette er en markert forskjell fra de tilfellene hvor kondenseringen skyldes diffusjon. For disse siste er den klamme innestengte luften med høy relativ fuktighet og anstrøk av mugglukt et karakteristisk kjennetegn. Forskjellen er betinget av at selve luftgjennomgangen i taket vil bidra til en god ventilering av rommene i hus med åpne himlinger. Man kan si det slik at fuktigheten i inneluften ventileres ut av rommene og inn i taket.

I den følgende beregning av kondenseringen blir det for inneluften derfor antatt følgende data: Temperatur + 20° C, relativ fuktighet 35 % og tilsvarende vandampinnhold 6,1 g/m<sup>3</sup>. Dette er et normalt klima i bra ventilerte boliger om vinteren. Inneluftens fuktighetsinnhold ligger på et nivå som blir ansett for ikke å medføre noen fare for kondensering p.gr.a. dampdiffusjon. Luftgjennomgangen gjennom taket antas til 2 m<sup>3</sup>/h pr. m<sup>2</sup>. Videre forutsettes det at temperaturen på de kaldeste flatene i kanalene hele tiden skal være mindre enn 0° C så fuktigheten avsettes i form av is og rim. For beregningene antas denne temperatur til ÷ 2° C, med tilsvarende metningsfuktighet 3,9 g/m<sup>3</sup>. Hvilken utetemperatur dette vil tilsvare avhenger av mange faktorer og hovedsakelig av isolasjonen og tykkelsen av et evt. snelag på taket. For et snebart tak kan man anta at den tilsvarende utetemperatur som regel vil ligge på ca. ÷ 5° C. Men forøvrig spiller størrelsen av ute-

temperaturen ingen rolle for resultatet av beregningene under de gitte forutsetninger. Endelig antas det at disse betingelsene har vært konstante og vedvarende i 3000 timer d.v.s. i ca 4 måneder, og at det hele tiden har vært vindstille.

Den avleirede fuktighetsmengde i taket blir da:  
 $(6,1 \div 3,9) \cdot 2 \cdot 3000 = 13\,200 \text{ g/m}^2$ .

En fuktmengde på 13,2 liter pr. m<sup>2</sup> tilsvarer et islag med tykkelse ca. 15 mm. I et normalt tak med flateinnhold 100 m<sup>2</sup> vil dette si et totalt fuktighetsinnhold på 1320 liter. Det er vel rimelig å anta at dette er mer enn tilstrekkelig til å fremkalle sjenerende drypping når alt sammen smelter på en gang. Man kan derfor gå ut fra at luftgjennomgang i tak kan medføre skadelig kondensering selv ved adskillig mer moderate størrelser av gjennomstrømmende luftmengde, relativ fuktighet i inneluften og utstrekning av kuldeperioden, enn det som er lagt til grunn for disse beregningene.

Hvorvidt beregningene kan sies å være holdbare kan man tilslutt kontrollere ved å vurdere størrelsen av den mengde vanddamp som måtte produseres i huset for å få utfelt den beregnede fuktighetsmengden. Om man for uteklimaet antar temperatur ÷ 5 °C, relativ fuktighet 90 % og tilsvarende vandampinnhold i luften 2,9 g/m<sup>3</sup> får man  $(6,1 \div 2,9) \cdot 2 \cdot 100 \cdot 24 = 15\,400 \text{ g/døgn}$ . Den nødvendige vanddampproduksjonen er altså 15,4 kg pr døgn. Det forutsettes da at hele avtrekket foregår gjennom taket. Det foreligger svært lite undersøkelsesmateriale å bygge på når man vil vurdere dette tallet. Men det kan anføres at det franske C.S.T.B. som nærmest tilsvarer vårt byggforskningsinstitutt, har funnet at vanddampproduksjonen i overbefolkede leiligheter kan komme opp i hele 25—30 kg. pr. døgn (8).

I enkelte av de besiktede tak har det vært konstatert tommetykke is- og rimlag under takbordene eller under forhudningspappen over isolasjonen. Isolasjonen har vært kliss våt og på himlingen har vannet flytt i store dammer. Dryppingen fra taket har undertiden vært så sterk at man har måttet dekke innboet med presenninger og plastduker. Det har også forekommet at man har hørt vannet renne i taket og i innvendige skillevegger. Vinteren 1962/63 var middeltemperaturen for de 4 månedene des.—mars på Blindern i Oslo ÷ 6,7 °C mot normalt ÷ 2,8 °C.

### 4. Takets motstand mot luftgjennomgang.

For luftgjennomgang gjennom en konstruksjon gjelder samme lov som for dampdiffusjon og andre strømningsfenomener. Den sier at den totale gjennomstrømningsmotstanden er lik summen av de enkelte del-motstandene for hvert sjikt i konstruksjonen. Dersom taket ikke har ventilasjon, vil det

derfor vanligvis ikke bli noen luftgjennomgang av betydning gjennom himlingen, fordi selve takhuden i de fleste tilfeller kan betegnes som et absolutt lufttett sjikt. Det forutsettes da at takhuden har minst ett papplag med klistrede skjøter. Når vi innfører ventilasjon, eliminerer vi denne ytre motstanden. Hele luft-tettingsfunksjonen i taket må dermed overtas av de materialsjikt som ligger under isolasjonen, idet isolasjonen selv som regel yter liten motstand mot luftgjennomgang. Det tenkes her på mineralullisolasjon som er det mest anvendte isolasjonsmateriale i tak.

Alle faste bygningsmaterialer har som nevnt en tilstrekkelig stor motstand mot luftgjennomgang. Derfor er det sammenføyningene, dvs. utførelsen av konstruksjonen i himlingen, som blir avgjørende for den indre luftgjennomgangs-motstanden og dermed også for totalmotstanden i et ventilert tak. Således vil det aldri oppstå slike problemer ved monolitiske utførelser av himlingen, f.eks. ved plass-støpte betongdekker. (En annen ting er at slike tak må beskyttes ved et dampsperrsjikt på platens overside p.gr.a. den store mengde byggefuktighet som betongen inneholder.)

Problemene med luftgjennomgang i ventilerte tak oppstår derfor bare i forbindelse med tørrmontasje-konstruksjoner, uansett hva slags materialer disse konstruksjonene består av. Til gjengjeld viser det seg at det er vanskelig å gjøre slike konstruksjoner tilstrekkelig lufttette. Ved disse takkonstruksjonene kan man derfor få det paradoksale forhold at ventilasjonen, hvis oppgave det er å holde taket tørt, virker stikk mot sin hensikt og forårsaker en sterkere nedfukning av taket.

##### 5. Kan ventilasjonen i taket effektivt motarbeide kondensering p. gr. a. luftgjennomgang?

Det har vist seg å være vanskelig å finne forståelse for at luftgjennomgangen overhodet skal kunne medføre kondensering i et ventilert tak, for ikke å snakke om i slike store mengder. Et vanlig og fornuftig resonnement er at den tørre, kalde uteluften ved tilstrekkelig gjennomstrømning i ventilasjonskanalene skal kunne oppta den fuktighet som tilføres med luften innenfra. Dette resonnementet fører igjen til den slutning at dersom det forekommer kondensering i et ventilert tak så kan denne motarbeides ved å øke ventilasjonen.

Feilen ved resonnementet er for det første at ved lave temperaturer er luftens evne til å oppta fuktighet forsvinnende liten. Ved  $+15^{\circ}\text{C}$  utgjør metningsfuktigheten — dvs. den maksimale dampmengde luften kan oppta — ca.  $1,4\text{ g/m}^3$ . Dessuten, om det absolutte fuktighetsinnholdet er lite, så vil uteluften ved de laveste temperaturer være prak-

tisk talt mettet, dvs. den har en høy relativ fuktighet. Dersom den relative fuktighet ligger på ca. 95 %, betyr dette at luften bare er i stand til å oppta  $1,4 \cdot 0,05 = 0,07\text{ g/m}^3$ , hvis det ikke foregår en samtidig temperaturhevning. Til sammenligning kan anføres at inneluft med temperatur  $+20^{\circ}\text{C}$  og relativ fuktighet 40 % har et absolutt vanddampinnhold på  $7\text{ g/m}^3$ , altså 100 ganger så meget. Riktignok vil ventilasjonsluftens temperatur heves en del under passasjen gjennom kanalene, samt ved blandingen med inneluften — især hvis det ligger et isolerende snølag på taket. Men denne temperaturhevningen er ubetydelig i forhold til det som ville trenge for å oppta all vanddampen fra inneluften. For øvrig vil de kaldeste flatene i ventilasjonskanalene være bestemmende for blandingsluftens fuktighetsinnhold således at ventilasjonsluften under utstrømningen fra avtrekksåpningen vil ha en relativ fuktighet som omtrent tilsvarer temperaturen på disse kalde flatene.

En annen feil ved resonnementet ligger i at kuldeperiodene som regel er rolige med hensyn til vind. Derved blir luftpresset på undersiden av taket dominerende i forhold til presset på munningene av ventilasjonskanalene. Som følge av dette vil man derfor ofte ikke få noen ventilering av taket. Inneluften strømmer gjennom kanalene og ut av både inntaks- og avtrekksåpninger som vist på *fig. 2*, dersom taket ikke er forholdsvis bratt. Ved å øke tverrsnittet i ventilasjonskanalene vil man altså samtidig øke denne gjennomstrømningen.

Endelig vil det også være slik at dersom ventilasjonen forårsakes av et sug, så medfører dette samtidig en sterkere luftgjennomgang gjennom himlingen innenfra.

##### 6. Hvordan kan man forebygge skadelig luftgjennomgang i tak?

Luftgjennomgangen i taket innenfra og ut kan prinsipielt motvirkes på 3 forskjellige måter:

- 1) Ved å gjøre taket lufttett.
- 2) Ved å sørge for et innvendig luftundertrykk i huset — dvs. ved mekanisk utsugning av inneluften.
- 3) Ved å sørge for et luftovertrykk inne i taket — dvs. ved mekanisk innblåsing av uteluft i ventilasjonskanalene.

Av disse metodene er den første den mest pålitelige og derfor den som først og fremst bør komme på tale ved nybygg.

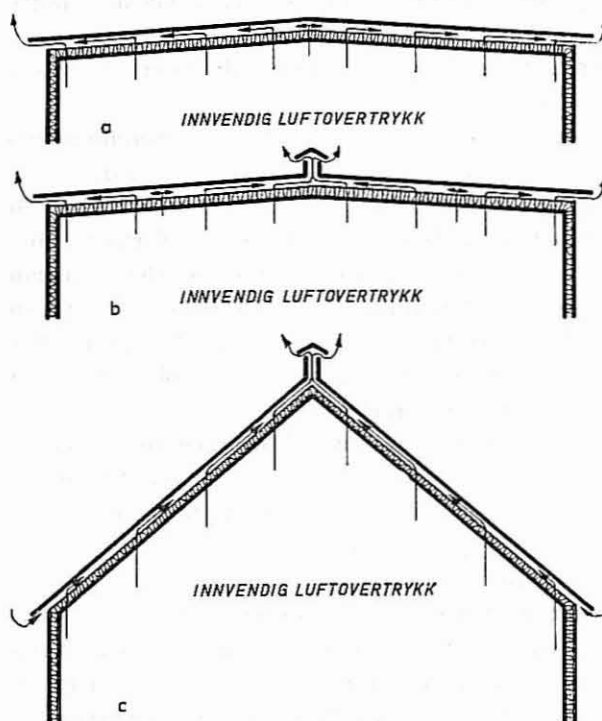
Da dampsperrsjiktet for å forhindre diffusjonen skal danne en sammenhengende flate under isolasjonen, er det naturlig at man også lar det

Fig. 2 a viser forholdene ved tak som mangler lyrer. Den luftmengde som strømmer ut av kanalåpningene er lik den mengde som strømmer gjennom himlingen.

Fig 2 b viser forholdene ved mønetak med liten helningsvinkel forsynt med lyrer. Summen av de luftmengder som strømmer ut av kanalåpningene og lyrene er lik den luftmengde som strømmer gjennom himlingen. Fordelingen av de utstrømmende luftmengder vil være bestemt av åpningenes beliggenhet, form og tverrsnitt.

Fig. 2 c viser forholdene ved bratte mønetak med lyrer. Den luftmengde som strømmer ut av lyrene er lik summen av de luftmengder som strømmer gjennom himlingen, samt inn gjennom kanalåpningene i raftet. Når taket er meget luftåpent, vil nøytralsjiktet kunne ligge så høyt at det forekommer luftstrømming utenfra og inn gjennom himlingen i takpartiet under dette. Kondensering vil da bare forekomme i takpartiet over nøytralsjiktet. Til gjengjeld vil denne kunne bli meget sterk.

Fig. 2. Luftgjennomgang i ventilerte tak ved stillestående uteluft. Luftgjennomgangen er forårsaket av innvendig luftovertrykk. Luftens strømningshastighet i kanalene vil ikke være konstant, men øke mot utstrømningsåpningene. Dette er antydning ved pilenes lengde i kanalene.



overta lufttettingsfunksjonen. Men til dette er det ikke tilstrekkelig bare å legge sperresjiktet over himlingen og håpe på at isolasjonens tyngde gir god nok klemming av skjøtene. Dette er nemlig en vanlig utførelse og det er den største forsyndelsen mot sperresjiktet. *Alle skjøtene i sperresjiktet må absolutt klemmes mellom to faste materialer og spikeravstanden må være minst mulig.* Det er sågar spørsmål om selv dette er tilstrekkelig under slike forhold som vi har hatt i vinter. Utførte forsøk både ved NBI (13) og ved Norges landbrukshøgskole (11) (12) viser at luftgjennomgangen i skjøtene i sperresjiktet selv ved moderate trykkforskjeller kan medføre sterk kondensering i vegger som holder seg tørre når de bare blir påkjent av dampdiffusjonen alene. Og dette skjer i skjøter som har 10 cm omlegg, og som er klemt mellom stenderverk og porøse trefiberplater med god spikring og 10 cm spikeravstand. Det bør derfor bli vanlig praksis at man både limer og klemmer alle skjøtene i dampsperrsjiktet i isolerte tørrmontasjetak. Dette må man gjøre i skjøtenes hele utstrekning. Man må også påse at sperresjiktet blir rullet ut i størst mulige flak, så man unngår oppstykning i smålapper. Tverrskjøter som ikke er til å unngå, må utføres like omhyggelig som hovedskjøtene. En god ting er å anbringe sperresjiktet mellom to faste materialsjikt i himlingen, f.eks. mellom et underpanel og en eventuell platekledning. Ellers er det en fordel om dampsperrsjiktet kan anbringes i to eller flere lag (det er jo et rimelig bygningsmateriale) på en slik måte

at skjøtene i de forskjellige lag blir innbyrdes forskjøvet, så de ikke overdekker hverandre. I alle tak hvor man har anledning til det må sperresjiktet føres sammenhengende over de innvendige skilleveggene.

En annen synd er at sperresjiktet blir skjodesløst behandlet både før og under monteringen, så det får hull og rifter. Det er liten vits i å utføre førsteklases skjøter i en sil.

Den tredje synden er gjennomhullingene for tekniske installasjoner. Til alt overmål blir disse gjerne flerret opp så store at man kunne føre gjennom et batteri av de ledninger de skal gi passasje for. Det burde være påbudt at alle installasjoner som ikke må føres gjennom taket, skal anbringes under sperresjiktet og uten å beskadige dette. Ved gjennomføringer som ikke kan unngås, må hullene ikke gjøres større enn tilstrekkelig, og man må etter installeringen sørge for at sperresjiktet får en tett tilslutning til gjennomføringen.

Ellers bør man nok sørge for at sammenføyningene av de øvrige materialer i himlingen gjøres best mulig lufttette. Sperresjiktet er som regel nokså skjørt, og man kan aldri være sikker på at det ikke kan få skader etter anbringelsen, f. eks. ved setninger i huset eller ved andre mekaniske eller kjemiske påvirkninger.

## 7. Hva kan man gjøre når det drypper fra taket?

Det er vanskeligere å finne botemidler mot kondenseringen enn det er å forebygge den. Sikkerhet for et godt resultat kan man bare få ved gjennom-



gripende endringer av konstruksjonene. Dette betyr kostbare reparasjoner hvor forebyggingen kunne vært sikret praktisk talt uten ekstraomkostninger.

Det er selvsagt ikke mulig å gi generelle anvisninger på utbedringer som kan dekke alle de tilfelle som måtte forekomme i praksis. De følgende råd har derfor til hensikt å henlede oppmerksomheten på en del prinsipielt forskjellige metoder som kan komme i betraktning. Den praktiske anvendelsen av disse må tilpasses i hvert enkelt tilfelle. For noen vanlige tak-konstruksjoner blir det gitt eksempler på utførelser.

Man bør ikke foreta utbedringer før taket er grundig undersøkt og man er sikker på at man har funnet den riktige årsaken til dryppingen. Det er kjedelig å oppdage at taket lekker etter at man har anbrakt et nytt sperresjikt.

Har man fastslått at fuktigheten skyldes kondensering p. g. a. luftgjennomgang, er det ingen hjelp i å forsøke å forbedre ventilasjonen i taket. Dette kan tverimot medføre sterkere kondensering.

#### 7.1. Nytt sperresjikt

Det beste — og det vanskeligste — er å forsøke å gjøre himlingen lufttett ved å anbringe et nytt og feilfritt sperresjikt. I tretak får man den beste

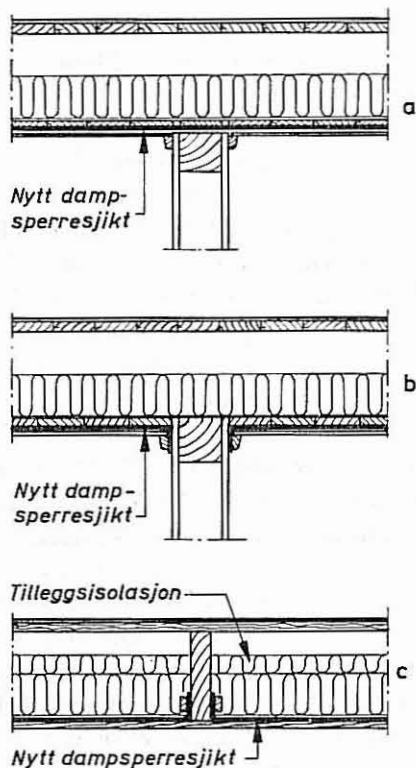


Fig. 3. Eksempler på anbringelse av nytt damsperr-sjikt: a) Taket stemples opp. Sperresjiktet føres gjennomgående over skilleveggene. b) Sperresjiktet brettes ned på skilleveggene. Det limes og klemmes til disse. c) Sperresjiktet anbringes ovenfra. Det brettes opp på bjelkesidene og limes og klemmes til disse. Evt. tilleggisolasjon kan anbringes samtidig.

utførelsen om dette anbringes under den eksisterende himlingen og dekkes med en ny kledning. Om det er mulig bør taket stemples opp så sperresjiktet kan føres gjennomgående over innvendige skillevegger så det danner en sammenhengende flate over hele huset. Er dette ikke mulig bør sperresjiktet brettes ned på disse veggene og limes og klemmes mot dem med lister. Man risikerer da at det strømmer luft opp i taket gjennom skilleveggene. Derfor kan det i dette tilfelle være bedre å utføre arbeidet fra oversiden ved å ta av bordtak og isolasjon og legge sperresjiktet på den eksisterende himlingen mellom bjelkene. Det må da brettes opp og limes og klemmes med lekter til bjelkesidene. Fig. 3.

På markedet finnes det spesielle plastmalinger som er fremstilt med henblikk på å anvendes til dampsperrsjikt. De sprøytes direkte på himlingen og danner etter tørkingen en seig og forholdsvis tykk hinne som kan flerres av som et tapet. Disse kan også komme i betraktning. Da arbeidet krever spesialutstyr og dessuten medfører eksplosjonsfare, bør det bare utføres av leverandørens spesialister. Arbeidet medfører dessuten andre ulemper som f.eks. fare for tilsmussing. Også ved denne utførelsen vil man risikere lekkasjer gjennom skilleveggene. Det er mulig at metoden kan være godt egnet når arbeidet utføres fra oversiden. Da kan hele himlingen og tilslutningen til bjelkene dekkes med et sammenhengende plastsjikt. Man må påse at sjiktet bare føres et stykke opp på bjelkesidene f.eks. til halve bjelkehøyden. Det er ikke heldig at bjelkene blir innelukket i et damptett hylster. Man må være oppmerksom på at materialet er meget brennbart og konsultere bygnings- og brannmyndighetene på stedet før man evt. velger en slik utførelse.

Hvor himlingen består av betongelementer eller metallplater vil plastpåsprøyting på undersiden sannsynligvis være det best egnede hjelpemiddel. Alle fuger bør da først tettes med fugekitt og sparkles. Å anbringe sperresjikt av et fast materiale under himlingen i slike tak er vanskelig og resultatet kan være tvilsomt. Vil man legge sperresjikt av fast materiale bør bordtaket og isolasjonen taes av. Sjiktet legges oppå platene som ovenfor beskrevet.

I mange tilfelle hvor himlingen er tilstrekkelig robust, f.eks. i fabrikklokaler, vil man kunne få et bra sperresjikt ved fra oversiden å sause himlingen og tilslutningene til bærekonstruksjonene inn med varmasfalt. Alt etter hvilke materialer disse består av, vil det eventuelt være nødvendig med en forbehandling for at asfalten skal få best mulig heft. Asfalten bør helst anbringes i flere sjikt.

Dersom det ikke eksisterer noe gammelt dampsperrsjikt i himlingen, bør man først legge et lag diffusjonstett papp. Fugetettingsvirkningen vil bli best når asfalten har et forholdsvis lavt mykningspunkt. På den annen side må den ikke være så myk at den renner ut av fugene og gjennom himlingen. Det er temperaturen i himlingen som er bestemmende for hvilken asfalt som er best egnet. Dersom isolasjonen over sperresjiktet er god kan man regne med at temperaturen i himlingen vil være temmelig stabil. Den vil ikke være utsatt for særlig sterke variasjoner fra sommer til vinter p.g.a. svingninger i utetemperatur og solbestrålingen på taket. Sperresjiktets temperatur vil da hovedsakelig bli bestemt av temperaturen i inneluften i rommene under taket.

De ovenfor skisserte metoder for forbedring av sperresjiktet tar sikte på den teknisk sett beste løsning. Man kan imidlertid med god grunn stille spørsmålet om det i alle tilfelle er nødvendig å gå så drastisk til verks for å få et tilstrekkelig godt dampsperrsjikt. Dette spørsmålet er vanskelig å besvare, da man har lite erfaringsmateriale å bygge på. Man må sannsynligvis skille mellom forskjellige hustyper, forskjellige konstruksjoner og forskjellige påkjenninger. I betraktning av at det neppe finnes mange hus hvor dampsperrsjiktet har limte skjøter, kan man formode at en god klemming av skjøtene som regel vil være tilstrekkelig. De hus hvor det har forekommet drypping, utgjør tross alt bare en liten del av hele husmassen. På den annen side kan man gå ut fra at det forekommer mange hus som har et betydelig fuktighetsinnhold i taket uten at dette forårsaker drypping.

Det synes imidlertid rimelig å anta at det i mange tilfelle — og særlig i boliger — vil være tilstrekkelig å trekke himlingen med strie og ett lag sterkt papir eller papp, som så forsynes med et par strøk av en god type innvendig maling med stor motstand mot dampdiffusjon. Pappen bør brettet ned på veggene og helst både limes og klemmes til disse. Dersom en slik utførelse skulle vise seg å være for dårlig, har man alltid anledning til senere å ty til de metoder som er nevnt under de følgende punkter.

## 7.2. Tilleggisolasjon

En annen god metode er å tilleggisolere taket på oversiden. Dette kan komme på tale ved alle tak hvor det forekommer kondensering, men metoden er spesielt tilrådelig for tak hvor bærekonstruksjonene er synlige i himlingen. For ventilerte betongtak med nedforet himling og isolasjon på innvendig side er dette sikkert den beste metoden.

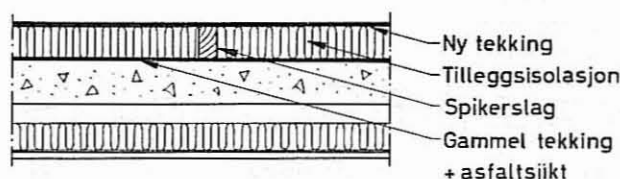


Fig. 4. Eksempel på tilleggisolasjon med polystyrenskumplast. Ved større takvinkler er det nødvendig med spikerslag for å hindre at tekkingen siger.

Den enkleste utførelsen får man ved å legge isolasjon av polystyrenskumplast i varmasfalt direkte på en eventuelt eksisterende papptekking, eller på underlagspappen under annen tekking som da må fjernes. Alt etter tilstanden av den eksisterende pappen kan det være aktuelt å legge asfalten i flere lag for å få et best mulig dampsperrsjikt. Ny tekking utføres enklest ved å legge papp i varmasfalt direkte på isolasjonen. Fig. 4.

Når takfallet overskrider en viss helningsvinkel må man sikre seg mot at tekkingen siger. Dette kan gjøres ved å feste spikerslag med samme tykkelse som isolasjonsplatene på underlaget mellom platene. Til spikerslagene bør man helst bruke trykk-impregnerte materialer, og da trematerialene blir lukket inne mellom to damprette sjikt, må man påse at de er godt tørre ved leggingen.

Blant produsentene av takpapp og andre som utfører tekking hersker det tvil om ved hvilken takvinkel man skal sette grensen for nødvendigheten av ekstra sikring mot at pappen siger. Noen mener at for takvinkler opp til  $20^\circ$  er det ikke nødvendig. Andre mener at ekstra sikring undertiden kan komme på tale allerede ved takvinkler mindre enn  $15^\circ$ . For meget bratte tak må man foruten spikerslag også benytte asfalt med høyere mykningspunkt enn den som vanligvis brukes til tekking.

Størrelsen av tilleggisolasjonen må avpasses etter den gamle isolasjonen i taket. Generelt kan det sies at resultatet blir desto bedre jo tykkere tilleggisolasjonen er. Om det er mulig bør man tilstrebe å gi tilleggisolasjonen minst samme isolasjonsverdi som den det eksisterende taket har.

Tilleggisolasjonen skal bevirke at temperaturen på undersiden av yttertaket heves, så den helst blir høyere enn inneluftens duggpunkt-temperatur. Er f. eks. inneluftens temperatur  $+ 20^\circ \text{C}$  og dens relative fuktighet 52,5 %, så har luften en duggpunkt-temperatur på  $+ 10^\circ \text{C}$ . Ved stillestående luft i ventilasjonskanalene, vil det da for å få temperatur  $+ 10^\circ \text{C}$  på undersiden av yttertaket ved utetemperatur  $+ 20^\circ \text{C}$  kreves en tilleggisolasjon som er ca. 3 ganger bedre enn den gamle isolasjonen. Ved utetemperatur  $+ 10^\circ \text{C}$  må tilleggisolasjonen være omtrent dobbelt så god som

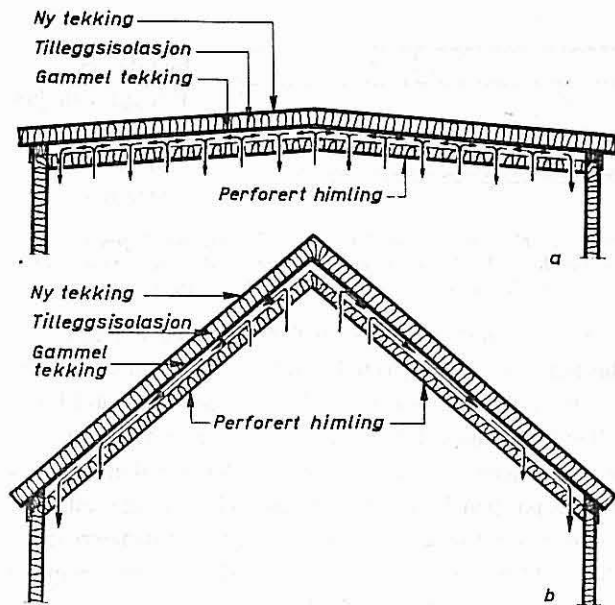


Fig. 5. Perforering av himlingen i tak hvor tilleggsisolasjonen er meget god. P. gr. a. at luften avkjøles i kanalene vil det bli ustabil luftsjiktning som bevirker sirkulasjon gjennom himlingen. Dette bidrar til å heve temperaturen på undersiden av yttertaket. Alle kanalmunninger til uteluften må stenges. a) I flate tak vil luftvekslingen foregå jevnt fordelt over hele himlingen. b) I bratte tak vil luften strømme inn i taket gjennom de øverste partier av himlingen. Den kjøles av, synker ned i kanalene og strømmer ut gjennom himlingens nedre partier.

den gamle. Ved innetemperatur + 20 °C, rel. fukt. 26 % og duggpunkt-temperatur 0 °C blir de tilsvarende forholdstall for samme utetemperaturer ca. 1 gang og ½ gang nødvendig styrke av tilleggsisolasjonen for helt å unngå kondensering under yttertaket. I tak som allerede er godt isolerte, kan det derfor være vanskelig å oppnå dette. Men enhver tilleggsisolasjon på oversiden vil alltid bidra til en sterk reduksjon av kondenseringen, uansett hvor god den er.

Hva man skal gjøre med den eksisterende ventilasjonen i taket vil avhenge av forholdet mellom de to isolasjonslag. I alle tilfelle må ventilasjonen strupes kraftig ned. Ved god tilleggsisolasjon kan det komme på tale å lukke både inntaks- og avtrekksåpningene, så det ikke forekommer noen gjennomstrømning i taket. I så fall bør himlingen helst perforeres så inneluften kan sirkulere i hulrommet mellom de to isolasjonslagene, d.v.s. i de gamle ventilasjonskanalene. Fig. 5. Men som regel vil det nok være tilrådelig å sørge for at det er en liten mulighet for avdunsting fra den ene kanal-munningen, og helst fra den som ligger lavest. I dette tilfelle må himlingen selvsagt ikke perforeres.

### 7.3. Luftstrømmen snues.

Når man ikke ser seg i stand til å foreta så omfattende utbedringsarbeider som de foran beskrevne, kan man som et provisorisk hjelpemiddel

forsøke metodene med luftundertrykk i rommene eller luftovertrykk i taket. Erfaringene vil da vise om man kan la dette bli en permanent foranstaltning.

Begge de to metodene tar sikte på å snu luftstrømmen gjennom himlingen så man får luftgjennomgang i taket utenfra og inn. For å oppnå dette må man bygge inn vifter. I begge tilfelle bør inntaks- og avtrekksåpningene for ventilasjonskanalene forsynes med regulerbare skåter eller klaffer. Disse må være slik at kanalmunningene kan stenges helt, så luftgjennomgangen om nødvendig kan strupes ned til et minimum.

For begge metodene gjelder det at anleggene må settes i drift så snart utetemperaturen synker under 0° C om høsten, og at de må gå kontinuerlig så lenge kulden varer. Hensikten med begge er nemlig å forhindre is- og rimavleiringer i taket. Når isen og rimet først har satt seg, vil de være lite effektive til å få fjernet fuktigheten før smeltingen inntreffer. Om det da er større ismengder i taket, vil man ikke kunne unngå drypping. Så snart det blir varmegrader i uteluften om våren må alle skåtene åpnes, så taket kan bli godt ventilert i sommervarmen. De bør stå fullt åpne helt til kulden igjen kommer.

Begge metodene forutsetter at det er dampsperresjikt av et godt materiale i taket, men at dette har en dårlig utførelse. Når sperresjiktet mangler vil de være mindre virksomme, idet dampdiffusjonen da kommer inn i bildet. For begge gjelder også at man i den første tiden vil måtte prøve seg frem inntil man finner den riktige driftsinnstillingen. Det vil være bra å ha et par kontrollsteder i taket hvor man fra tid til annen kan ta en titt og få konstatert tilstanden over himlingen, i isolasjonen og under forhudningspapp og bordtak. Viser det seg tegn til begynnende fuktighetsdannelse, bør man regulere opp luftgjennomstrømningen og kompensere det økende varmetapet med sterkere fyring.

### 7.4 Luftundertrykk i rommene.

Dersom man velger mekanisk ventilasjon med innvendig luftundertrykk, må vinduer og dører forsynes med tettelisten og alle luftventiler stenges, så mest mulig av lufttilførselen utenfra foregår gjennom taket. Alt etter størrelse og form av huset samt tettheten av himlingen kan man benytte en eller flere vifter som suger inneluften ut av huset. Viftene må plasseres slik at luftgjennomgangen blir mest mulig jevn gjennom hele takflaten. Ved regulering med skåtene kan man motvirke sterk avkjøling av inneluften samt ubehagelige trekkvirkninger.

I hus hvor det er peiser kan man forsøke å motvirke kondenseringen i taket ved å la spjeldene stå åpne. Dersom dette ikke er tilstrekkelig, så man må ty til mekanisk utsugning av inne-luften, må spjeldene holdes lukkede. Man må være oppmerksom på at om man velger denne metoden i hus med peiser og ovnsfyring så kan man få vanskeligheter med trekken i pipene.

#### 7.5. Luftovertrykk i taket.

Om man velger å gi taket et innvendig luftovertrykk ved mekanisk innblåsing av uteluft, må alle skåtene ved kanalmunningene stenges helt. I dette tilfelle bør man ha best mulig ventilering av rommene under taket. Særlig vil det være en fordel å ha høytliggende ventiler i veggene og slike bør bygges inn dersom de mangler. Sterk avkjøling og ubehagelig trekk kan da motvirkes ved regulering av disse ventilene.

Denne metoden vil være godt egnet i hus med ovnsfyring og peiser, idet den ikke reduserer, men snarere øker trekken i pipene.

Den medfører imidlertid en viss risiko for veggene i huset dersom man ikke benytter lufteventilene. Man vil nemlig få et lite overtrykk i rommene som bevirker luftgjennomgang innenfra og ut gjennom veggene. Dette kan da føre til at man får kondensering i disse i stedet for i taket.

Forøvrig vil metoden være begrenset til tak med sammenhengende ventilasjonshulrom. Om den skulle anvendes i sperretak av vanlig utførelse måtte disse forsynes med samlekanaler, eller man måtte ha en egen vifte for hver kanal.

#### 8. Karakteristiske kjennetegn ved kondensering p. g. a. luftgjennomgang.

Som regel er det vanskelig å bedømme hvorvidt fuktighetsdannelse i et tak skyldes lekkasjer, kondensering p. g. a. dampdiffusjon, luftgjennomgang eller byggfuktighet. Her kan det innskytes at lekkasjer ofte gjør seg sterkere gjeldende når taket om vinteren er dekket med et snelag, enn når det i varmere årstider bare blir påkjent av regnvær.

Hver av de nevnte fuktighetsårsakene har sine bestemte karakteristiske kjennetegn. Noen av disse kjennetegnene kan være felles for flere årsaker. Men dersom man kjenner dem, har man gode muligheter til å finne frem til den riktige, når de blir sammenholdt med hverandre. Man må være oppmerksom på at det ofte kan forekomme flere sammenvirkende årsaker og da er det verre å stille riktig diagnose.

I det følgende blir det gitt en oversikt over karakteristiske trekk ved kondensering p. g. a. luftgjennomgang. Den omfatter også de momenter som er nevnt i det forangående. Det er selvsagt underforstått at ikke alle disse trekkene nødvendigvis

må forekomme. Men dersom noen av dem er tilstede vil hvert enkelt være en indikasjon.

1. Fuktigheten viser seg i himlingen ca.  $\frac{1}{2}$  til 1 døgn etter omslag fra en lengre kuldeperiode til mildvær.
2. Sneen har lett for å smelte på taket.
3. Fuktigheten i inneluften kan være helt normal.
4. Det er gjerne stor høyde under taket i huset.
5. Huset har mekanisk ventilasjon basert på innvendig luftovertrykk.
6. Huset har mekanisk ventilasjon basert på innvendig «normaltrykk». I praksis vil dette si innvendig overtrykk.
7. Hvis man gjennomhuller yttertaket strømmer det varm luft opp med stor hastighet. Dette kan kontrolleres ved røken fra en sigarett som holdes ned i hullet.
8. Taket har god ventilasjon.
- 8a. Det er is- og rimlag under forhudningspappen over isolasjonen. Dersom forhudningspappen mangler sitter isen og rimet på undersiden av yttertaket.
- 8b. Is- og rimlaget kan ha en ujevn fordeling med sterk konsentrasjon like over skjøter og hull i dampsperrsjiktet. I høye kanaler blir fordelingen jevnere.
- 8c. Det kan være islag under hettene over eventuelle lyrer i taket.
- 8d. Det kan forekomme riming ved munningene av ventilasjonskanalene.
9. Taket har ingen ventilasjon. Tekking og yttertak har fuger. Underlagspappen har ikke klistrede skjøter.
- 9a. Det er is- og rimlag under yttertaket og innover i isolasjonen.
- 9b. Det henger gjerne istapper fra takbeslag med smale spalteåpninger inn til isolasjonen i taket. Man ser tydelig at fuktigheten kommer innenfra.
- 9c. Når taket er snebart kan det undertiden vise seg kondensvann eller rim ved fugene i tekkingen.
- 9d. Når det ligger et tynt lag nyfallen sne på taket, kan det forekomme smelting ved fugene i tekkingen.
10. Himlingen i taket er ikke monolitisk.
11. Taket har dampsperrsjikt av et utmerket materiale, men skjøtene er ikke klemte og ligger gjerne på tvers av bjelker eller sperrer. Sperrsjiktet har huller, rifter eller mange gjennomføringer.
12. Bærekonstruksjonene i taket er synlige innenfra.
13. Taket har en komplisert og uregelmessig form og utførelse.

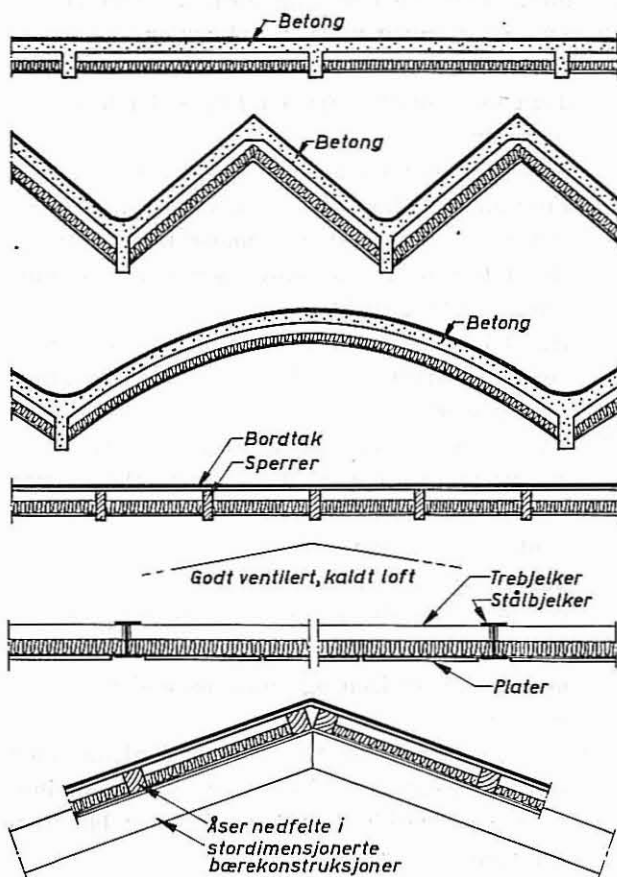


Fig. 6. Eksempler på takkonstruksjoner hvor det er vanskelig å få tilstrekkelig lufttett himling. Sperrsjiktet må utføres ekstra omhyggelig. Slike konstruksjoner har vanligvis også sterke kuldebroer.

Til enkelte av de ovenstående punkter kan det knyttes noen bemerkninger.

*Punkt 2:* Dette skyldes snelagets varmeisolerende evne (14). Undersiden av yttertaket blir varmet opp både p. g. a. inneluftens høye temperatur og den varme som frigjøres ved kondenseringen. Så lenge snelaget har en høy isolasjonseffekt vil temperaturen i grensesjiktet mellom dette og takets overflate derfor holdes på  $0^{\circ}\text{C}$  og det forekommer snesmelting.

*Punkt 8b:* Dette fenomenet kan selv i vegger være så markert at det virker som om de kalde flatene utøver en magnetisk tiltrekningskraft på vanddampen i luften. Årsaken er nok at luften strømmer inn i konstruksjonen gjennom smale spalteåpninger og små hull, som bare utgjør en liten del av hele takflaten. Den virkelige, lokale strømningshastigheten vil derfor være mange ganger større enn hva luftgjennomgangstallene gir inntrykk av. Derfor vil det oppstå fullstendig luftblanding med sterk dampkonsentrasjon i områdene nær utettethetene. Luften må gi fra seg størstedelen av fuktigheten til de kalde flatene innen den strømmer videre gjennom ventilasjonskanalene. Men det er interessant å merke seg at vanddampen også i meget

høye og åpne kanaler fortrinnsvis slår seg ned på kanalenes kalde vegger, i stedet for å søke ut til fri luft.

*Punkt 12 og 13:* Det viser seg at luftgjennomgang gjerne forekommer i ventilerte tak hvor himlingen har en komplisert form og utførelse. Fig. 6. F. eks. i isolerte tretak med innvendig synlige sperrer eller i innvendig isolerte betongtak med synlige dragere. I slike tak blir sperrsjiktet oppstykket og gjennombrutt av bærekonstruksjonene. Det er vanskelig å gi det en tett tilslutning til disse. Man bør derfor helst unngå slike konstruksjoner, eller også sørge for at taket får en annen oppbygning med gjennomgående dampsperrsjikt og isolasjon utvendig over bærekonstruksjonene, når man ønsker at disse skal være synlige. Dersom man absolutt vil ha isolasjonen mellom sperrer eller dragere, så må sperrsjiktet limes og klemmes med lekter til disse.

Det er nødvendig å understreke at de ovenfor anførte kjennetegn ikke bygger på systematiske undersøkelser, men på spredte iakttagelser og erfaringer fra praksis.

## 9. Sluttbemerkninger.

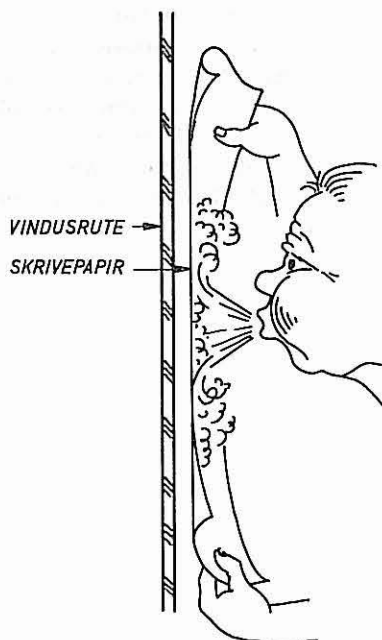
Kondensering p. g. a. luftgjennomgang kan komme plutselig i tak som har stått i årevis uten at man har merket at det er noe galt fatt med dem. Årsaken til dette er at taket aldri har vært utsatt for tilstrekkelig store påkjenninger til å avsløre seg. Til gjengjeld kommer avsløringen ganske ettertrykkelig under ekstreme vinterforhold.

Man kan gå ut fra at det i slike tak om vinteren alltid vil danne seg et lite rimlag under takbordene eller under en eventuell forhudningspapp over isolasjonen. Men som regel vil dette rimlaget ved smeltingen ikke danne så store vannmengder at fuktigheten trenger gjennom himlingen. P. g. a. den gode ventilasjonen, som de fleste slike tak har, vil den lille fuktighetsmengden snart føres ut av taket når utetemperaturen stiger om våren. I den varme årstiden vil taket derfor sannsynligvis være tørt og faren for råteangrep er neppe stor.

Annerledes stiller det seg når taket — som i vinter — nærmest blir å ligne med et vannbasseng. Da må man regne med at fuktigheten kan holdes så lenge tilbake i taket at det også kan være fare for råteangrep. Erfaringene viser at impregnert mineralull nødig gir slipp på fuktigheten når den først er blitt gjennomvåt. I hus hvor det har forekommet drypping bør man derfor alltid åpne taket og undersøke hvorledes det ser ut innvendig. Samtidig kan man da få konstatert hvorledes sperrsjiktet er utført.

Problemene med fuktighetsdannelse p. g. a. kon-

densering i ytterkonstruksjonene, har etterhånden vakt stor interesse og blir livlig diskutert blant bygningsfolk. Diskusjonen har imidlertid fått en slagside idet den hovedsakelig dreier seg om dampdiffusjon og ventilering. Luftgjennomgangen blir omtrent ikke nevnt. Det er imidlertid meget som tyder på at den viktigste årsaken til kondensering nettopp er luftgjennomgangen. Dette gjelder særlig for takene. Årsaken er at når det foreligger muligheter for luftgjennomgang i konstruksjonene, så blir den utfelte fuktighetsmengden av en helt annen størrelsesorden enn den som forårsakes av diffusjon. At dette er riktig kan enhver forvisse seg om ved et enkelt eksperiment. Man kan holde et stykke alminnelig skrivepapir — som er meget diffusjonsåpent — opp mot en kald glassrute i en avstand av et par millimeter. Så skal man blåse så lenge og sterkt som man orker mot papiret. Man skal ha kraftige lunger dersom det skal vise seg antydning av fuktighetsdannelse på glassruten når man er utkjørt. Og det lille som måtte oppstå har man sannsynligvis blåst tvers gjennom papiret. Så skal man ta papiret vekk og blåse en eneste gang direkte på ruten. Da vil man få et begrep om at konstant luftgjennomgang vil kunne forårsake sterk fuktighetsdannelse i konstruksjonene, og at den er langt mer virksom enn diffusjonen. I det første forsøket blir glassruten påkjent ved diffusjon. I det andre ved luftbetrykning. Damptrykkfallet er ved begge forsøk like stort. *Fig. 7*



*Fig. 7. Et enkelt forsøk som viser forskjellen på diffusjonens og luftbetrykningens virkning. Når man holder papir foran glassruten, er det vanskelig å få dugg på denne. Tar man papiret bort, dugges det med en gang.*

### 9.1 Forskriftenes krav til dampsperrsjiktet.

I de gjeldende byggeforskriftene stilles det ingen krav til dampsperrsjiktet som konstruksjonsdel. De eneste krav som sperresjiktet er underlagt er desom i NS 830 er gjort gjeldende for at papptyper skal kunne markedsføres under betegnelsen diffusjonstett papp. Disse kravene refererer seg bare til kvaliteten av selve materialet. De forlanger hovedsakelig ikke annet enn at materialets permeabilitet ikke skal overstige et visst, fastlagt maksimum når den blir målt etter en bestemt, foreskrevet prøve-metode. I tillegg omfatter de også en del alminnelige krav som standarden stiller til alle typer av bygningspapp, som f. eks. krav til dimensjoner, frihet for feil og skader, ensartethet, luktfrihet etc. Kravene i NS 830 er tilstrekkelige til å sikre at dampsperrsjiktet oppfyller sin tilsiktede funksjon som brems på dampdiffusjonen.

Når luftgjennomgangen kommer inn i bildet, er imidlertid disse kravene ikke lenger tilstrekkelig egnet som kriterium for hvorvidt sperresjiktet er istand til å oppfylle sin funksjon som sikring mot kondensering. Det kan være gjenstand for diskusjon hvorvidt det er hensiktsmessig å la sperresjiktet overta lufttettingsfunksjonen. Dette synes imidlertid å være det mest naturlige, såvel av tekniske hensyn som av den grunn at sjiktet da i egentligste forstand vil tilfredsstille betingelsene for å bære navnet dampsperrsjikt. Slik dette sjiktet nå blir utført burde det bare betegnes som diffusjonssperresjikt.

Dersom sperresjiktet også skal overta lufttettingsfunksjonen må imidlertid kravene til sjiktet utvides. De må deles i konstruksjonsmessige krav som foreskriver bestemte regler for utførelsen, og materialkrav som i tillegg til de allerede eksisterende, også setter bestemte krav til styrkeegenskaper, motstand mot kjemiske påvirkninger og mulige andre ting som måtte bli gjenstand for vurdering. Det er særlig styrkekravene som trenger å bli belyst. Disse bør være slik at de først og fremst tar hensyn til de påkjenninger materialet kan bli utsatt for under transport og montasje.

Man kan saktens gi formaninger om at sperresjiktetsmateriale må behandles med forsiktighet. En annen ting er i hvilken utstrekning slike formaninger blir fulgt i praksis.

### 9.2 Noen ord om flate tak.

Isolerte, flate tak har alltid vært forbundet med store problemer i vårt harde klima. De har derfor fått et dårlig ord på seg. Sannsynligvis utgjør de også en stor prosent av de tak som er blitt rammet av uhellet denne siste vinteren. Det ville være synd om dette skulle bidra til at de får dødsdommen. Når det har gått så galt med slike tak skyldes det

ikke at de er flate, men at man har hatt for lite kjennskap til hvordan et flatt tak må utføres. Det er en forholdsvis ny konstruksjon. Den krever at det blir tatt hensyn til særegne forhold som man tidligere ikke har vært tilstrekkelig oppmerksom på. I dag er det ingenting i veien for at flate tak kan bygges like gode som andre tak uten at de må forsynes med reklamepregede «snurrepiperier». Med moderne isolasjonsmaterialer, som er spesielt godt egnet for flate tak, kan de sågar utføres meget enkelt. Den tørre isolasjonen kan lukkes inne mel-

lom et godt dampsperrsjikt og en god tekking etter prinsippet: Når det ikke kan trenge noen fuktighet inn, behøver det heller ikke føres noen fuktighet ut. Når det gjelder flate massivtak, som særlig har bidratt til å diskriminere det flate taket, så er det nedlagt meget arbeid i å avlure dem hemmeligheten. Om dette beretter publikasjonene (1) (5) (6) (9) i den følgende listen over litteratur som behandler tak- og kondenseringsproblemer. De kan gi mange nyttige råd og vink.

#### Litteraturliste:

1. Prestrud, Kristian K.: *Massive tak; noen foreløpige undersøkelser og anvisninger*. Oslo 1951. (Norges byggforskningsinstitut. Rapport, 4.)
2. Granum, Hans: *Lette treveggers vindtetthet*. Av ... , Sven D. Svendsen og Annanias Tveit. Oslo 1954. (Norges byggforskningsinstitut. Rapport, 7.)
3. Suenson, E.: *Vanddamps diffusjon i vægge og rørkapper*. Kbh. 1946. (Ingeniørvidenskabelige skrifter 1946, 2.)
4. Hanson, Rune: *Hur har våra plana tak fungerat?* Byggmästaren b. 31, nr. B 6, 1952, s. 118—128.
5. Holmgren, J.: *Flate, massive tak*. Av ... og T. Isaksen. Bygg b. 5, nr. 3, 1957, s. 45—51.
6. Holmgren, J.: *Ventilated and unventilated flat, compact roofs*. By ... and T. Isaksen. Oslo 1959. (Norges byggforskningsinstitut. Rapport, 27.)
7. Becher, Poul: *Fugt og isolering*. Af ... og Vagn Korsgaard. Kbh. 1951. (Statens Byggeforskningsinstitut. Anvisning, 7.)
8. *L'eau dans les murs*. Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. Cahier, nr. 237, 1957.
9. Hanson, Rune: *Takterasser. Tätskikt och skyddsbeläggning*. Sthm. 1960. (Statens nämnd för byggnadsforskning. Rapport, 62.)
10. Finne, Eirik: *Kondensteknisk uheldige konstruksjoner*. Bygg b. 7, nr. 9, 1959, s. 211—215.
11. Torp, Asbjørn: *Luftstrømnings betydning for fuktighetsvandring og kondensasjon i bindingsverkskonstruksjoner*. Av ... og Trygve Græe. Bygg b 9, nr. 1, 1961, s. 1—10.
12. Torp, Asbjørn: *Luftstrømnings betydning for fuktighetsvandring og kondensasjon i bindingsverkskonstruksjoner*. Av ... og Trygve Græe. Vollebekk 1961. (Norges landbrukshøgskole. Institutt for bygningsteknikk. Melding, 15.)
13. *Moderne husbyggingsteknikk*. (Norges byggforskningsinstitut. Særtrykk, 71.)  
NBI Særtrykk 71 omfatter bl. a. følgende artikler:  
Tveit, Annanias: *Hva vet vi idag om fuktighetstransport i byggematerialer?*  
Finne, Eirik: *Nyere erfaringer med kondensasjon i vegger*.  
Isaksen, Trygve: *Konstruksjon av massive tak*.
14. Finne, Eirik: *Det kalde taks funksjon*. Oslo 1963. (Norges byggforskningsinstitut. Særtrykk, 77.)
15. Hanson, Rune: *Fukt i ytterväggar och yttertak*. Sthm. 1958. Særtrykk fra Byggmästaren b. 36, nr. B 10 og 12, 1957, s. 223—226, 259—265 og b. 37, nr. B 1 og 3, 1958, s. 7—11, 64—68.
16. Granum, Hans: *Trehus 1961*. Av ... og Sven Erik Lundby. Oslo 1961. (Norges byggforskningsinstitut. Håndbok, 12.)