



Forblad

De katastrofale flade tage

Ivar Thomsen

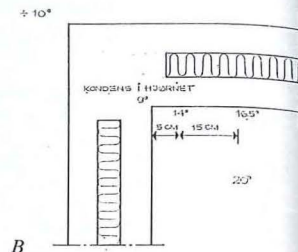
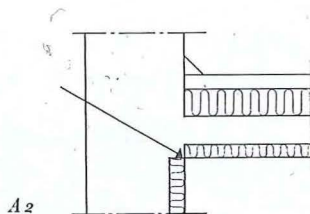
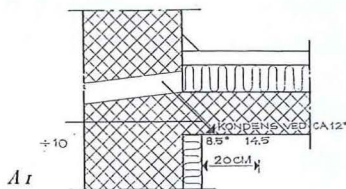
Tidsskrifter

Arkitekten 1968

1968

De katastrofale flade tage

Af civilingeniør Ivar Thomsen



A1 viser et typisk eksempel; man må have opmærksomheden henvendt på udluftningsåbninger; selv en så „lille“ kuldebro som på A2 kan få alvorlige følger.

Civilingeniør Ivar Thomsen, Teknologisk Institut, Byggeteknisk Afdeling, gennemgår nogle eksempler fra afdelingens arbejdsmark.

Det drejer sig i mange tilfælde om fugtskader, hvis udbedring koster flere 100.000 kr., og der går mange måneder, undertiden et par år, før arbejdet kan færdiggøres; det forekommer også, at en helt ny tagkonstruktion er nødvendig.

Tages drifttab i betragtning er katastrofale tage ikke en overdreven betegnelse.

- 6) Inddækninger, især på og ved murkroner.
- 7) Udluftning af eventuelt luftmelletrum, skorstensvirkning.

Ad 1

Den hyppigste årsag til alvorlige skader er fugtvandringen og kondens inde i selve konstruktionerne; dette problem vil blive behandlet i to gennemregnede tilfælde i slutningen af artiklen; ganske vist drejer det sig ofte om små fugtmængder, men disse kan ikke som overfladekondens observeres i tide og giver sig først til kende efter gennemfugtning af betydelige mængder.

De to tagkonstruktioner, der her omtales, er begge årsag til skader, hvis udbedring koster mange 100.000 kr., og der vil gå lang tid, før arbejdet kan færdiggøres.

Ad 2

Kondens på indvendige overflader er nu ret sjælden, derimod er kuldebroer almindelige (skitse A1 og A2), og virkningen kan, som det ses på foto 1, være overraskende; ved flade tage forekommer disse ulemper i hjørnerne mellem loft og vægge.

Man må altid have opmærksomheden henvendt på hjørner; dette illustreres bedst ved betragtning af et almindeligt hjørne i et muret hus (skitse B). Sådanne steder kommer overfladetemperaturen ofte til at ligge under dugpunktet, især hvis et møbel stilles tæt ind i hjørnet. Møbler, billeder o.lign. har en vis isoleringsevne, og som det ses på skitse C nedsættes ydervæggens overfladetemperatur, når møbler eller billeder anbringes tæt op ad væggen, og der forekommer kondens, selv om væggenes isoleringsevne er tilstrækkelig.

Ad 3 og 4

Illustreres under ét ved eksemplet vist på foto 2, 3, 4 og 5; endnu alvorligere skader af denne type bliver for tiden gennemgået i afdelingen og vil muligvis blive omtalt separat, når undersøgelserne er afsluttede.

Ad 5

Murkronerne er særlig udsat for slagregn og vil i lange perioder være gennemvåde (foto 6). Der må drages omsorg for, at vandet ikke som på skitse D ligefrem presses ind i murværket, og kronerne må isoleres effektivt fra bygningen (skitse E).

Fra murkroner kan fugt trænge langt ned i bygningen, såfremt sikringen mod fugtindtrængning fra murkronen ikke er effektiv (foto 7 og 8).

Det er lige så vigtigt at isolere murværk fra murkroner som fra fundamenter . . .

Ad 6

Inddækning ved murkroner må sikres særlig godt (se skitse E), ellers går det som på foto 9; det er store vandmængder, der kan trænge ned.

Ad 7

Udluftninger af luftrum må formes således, at slagregn ikke kan trænge ind som vist på skitse A, se i øvrigt skitse F. Det er fristende med ret store åbninger, men i flere tilfælde er regnvand løbet lige igennem åbningerne; ofte lukkede man disse, og da fugtvandringen nogle steder var ret kraftig, blev husene gennemvåde – ikke blot ydervægge, men også skillevæggene.

Det er efter vore erfaringer tvivlsomt, om åbninger anbragt i samme højde har en antagelig virkningsgrad for større tagflader; der må helst etableres en skorstensvirkning, såfremt udluftning skal blive effektiv.

På skitse F er vist eksempel på minimumskrav, hvis skorstensvirkning kan forventes. Det drejer sig om langt større udluftningsarealer, end vi normalt ser anvendt.

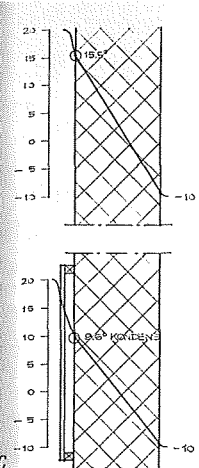
Der må tillige tages hensyn til underliggende rums relative luftfugtighed; skitse 6 kan anvendes fra 50 til 70 pct., under 50 pct. kan gennemstrømmingerne halveres; over 80 pct. er kunstig udluftning påkrævet.

Et fladt tag er ikke blot en særlig form for et traditionelt tag, men en helt speciel konstruktion; at udforme et fladt tag kræver grundigt kendskab til fugtproblemer og til materialernes formlidethed under temperatur- og fugtpåvirkninger etc.; endvidere er et meget effektivt tilsyn en absolut forudsætning for et godt resultat.

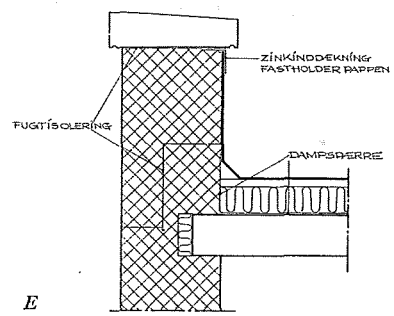
Det understreges, at skaderne meget sjældent begrænses til taget og dets materialer; det går ofte ud over store dele af bygningen; flere etager under taget kan lofter og vægge være beskadiget.

Tagkonstruktionen påvirkes af:

- 1) fugt
- 2) temperaturvariationer og skaderne opstår i forbindelse med manglende hensyntagen til:
- 1) Fugtvandring, kondens inde i selve konstruktionerne.
- 2) Varmeisolering, kondens på indvendige overflader, kuldebroer.
- 3) Placering af isoleringsmaterialer, beskyttelse af materialerne.
- 4) Materialernes udvidelse og krympning, dilatationsfuger.
- 5) Murkronernes form og isolering fra bygningen, gennemfugtning udefra.



D



E

Foto 2 og 3 viser knuste søjler under en kantbjælke uden dilatationsfuger; mellem de 3 m lange kantbjælker er udfyldt med stærk cementmørtel.

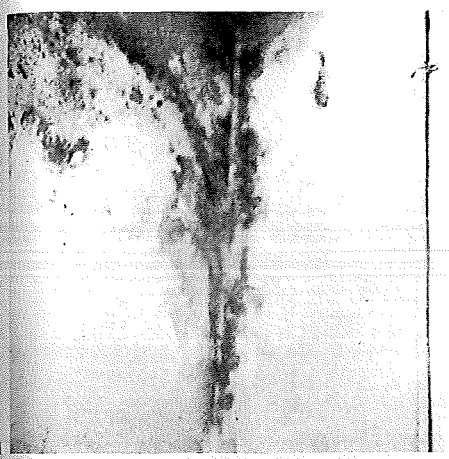
Kantbjælkerne ligger uden isolering og opvarmes på sommerdage til ca. 60°, hvilket i dette tilfælde medførte en bevægelse på 16 mm, og søjlerne, der er forankrede i bjælkerne, knustes.

Foto 4 viser et tilfælde, hvor kantbjælken har skubbet en gavlæg ca. 1 cm ud; fugematerialet slipper og muren får store revner; fugtskaderne er betydelige, foto 5.

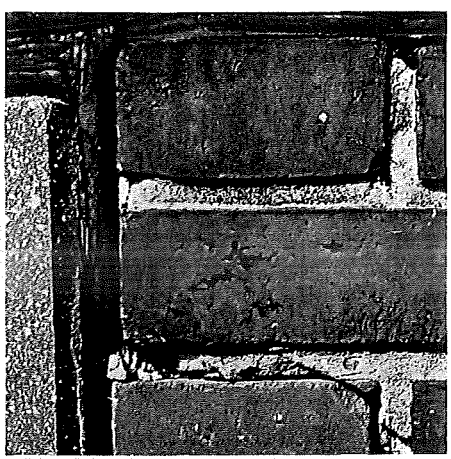
Såfremt dilatationsfuger ikke bliver monteret, vil sådanne bygninger fortsat nedbrydes, det er forståeligt at udbedringsarbejderne er vanskelige og dyre.

Foto 6, 7 og 8 er fra en moderne administrationsbygning, 4-5 år gammel. Foto 6 viser den fugtige murkrone. Foto 7, øverste etage, arkiv etc., murværket er gennemvådt og fugten på vej ned. Foto 8, etagen under arkivet også stærkt beskadiget.

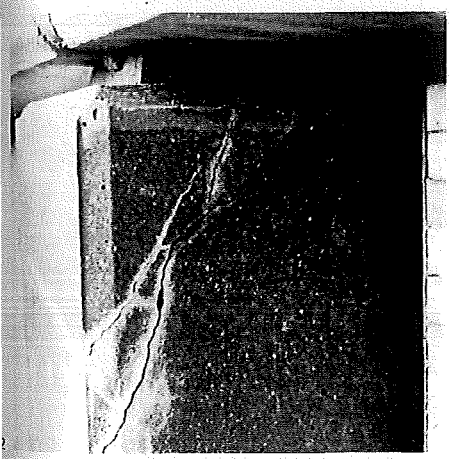
(Fotografier: Vagn Aagesen.)



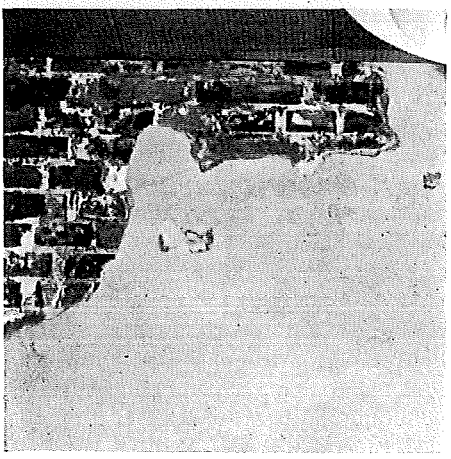
4



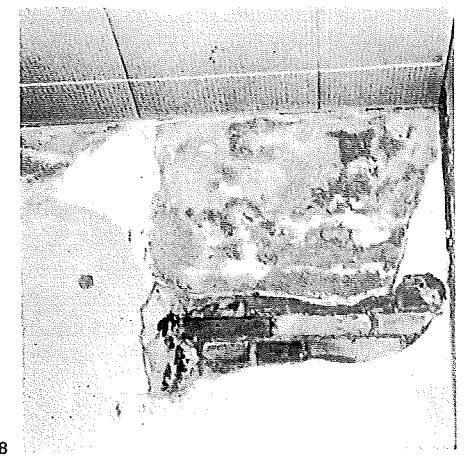
7



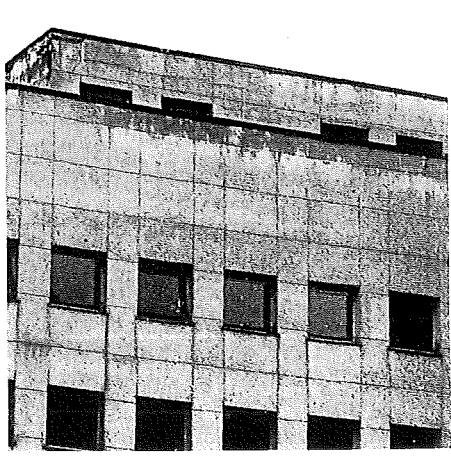
5



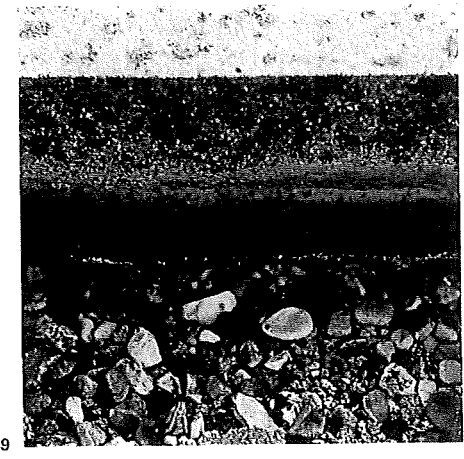
8



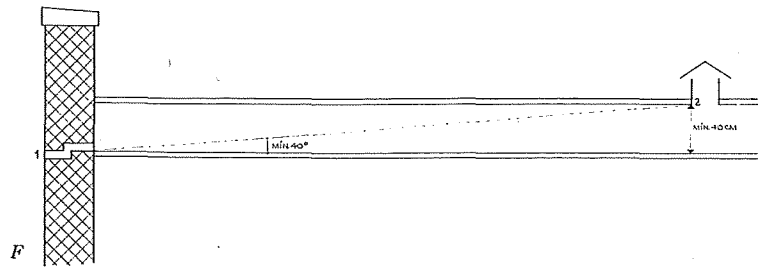
9



6

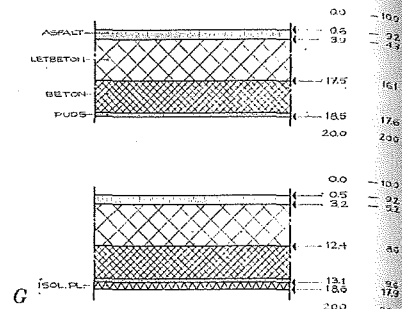


7



Gennemstrømningsareal ved (1) = $\frac{I}{600}$ af det udluftede luftrums vandrette udstrækning, ved (2) = $\frac{I}{400}$ af samme.

F. Bemærk at udluftningsåbninger er „knækket“ for at undgå, at slagregn trænger ind i tagkonstruktionen; de knækkede udluftningsåbninger tilfører murværket megen fugt, og der må isoleres under disse. Talværdierne må betragtes som vejledende, de er afhængige af det udluftede rums form og materialerne.



To eksempler på fugtvandring

I.

Vi betragter først et såkaldt massiv tag ca. 10 år gammelt, udformet som vist på skitse G. Tagkonstruktionens håndværksmæssige udførelse var af usædvanlig god kvalitet, asfaldtækningen uden revner og samtlige inddækninger helt tætte; det bærende jernbetondæk også omhyggeligt udstøbt uden „reder“ o.lign.

I løbet af opvarmningsperioden transporteres ca. 0,11 g/m² i timen gennem jernbetondækket og bliver opsamlet i letbetonisoleringsen, i alt om året 0,11 × 24 × 224 ~ 600 g pr. m²; denne fugtmængde er på ingen måde foruroligende, men på grund af asfaltens og betonens store tæthed var udtørringen i sommerperioden meget lille, størrelsesorden 0,05 g/m² i timen og fugtmængden i isoleringen forøgedes årligt med over 1/2 liter pr. m², hvortil kommer mængden af byggefugt, men i henhold til byggemødereferater har såvel beton som letbeton været tørre, da asfalten blev udlagt.

Tagets ganske svage hældning bevirkede, at fugten trak ned mod tagskægget, og efter seks års forløb begyndte loftpudsen at blive ødelagt.

Det stod ikke klart, at fugten var kondenseret under asfalten og trængt ned ovenfra; man antog, at tagkonstruktionens isoleringsevne var utilstrækkelig, og der blev derfor opløbet isoleringsplader på loftet. Herved bragte man imidlertid temperaturen mellem plader og puds ned under dugpunktet i længere perioder (se skitse G), og da isoleringspladernes fugtmodstand er meget lille, opnåede man kun at forstærke fugttransporten, idet puds og beton opslugede det opståede kondensvand; samtidig forringedes muligheden for udtørring.

Endelig blev limen ødelagt af fugt og pladerne faldt ned, hvorefter lofter fremtrådte mere medtagne end før, og fugten begyndte nu også at trænge ned i væggene (se foto 10).

Fugttrykket forøgedes stadig, og muligvis har letbetonen indeholdt små mængder nedbrydende stoffer.

Da Byggeteknisk Afdeling efter 10 års forløb blev tilkaldt, var letbetonen indtil 1 1/2 m fra tagskægget reduceret til mudder, og store dele af betonen var så rådnen, at den kunne fjernes fra jernene med hænderne (foto 11 og 12).

Der var intet andet at gøre end at hugge al dårlig beton ud og reparere med betonlim og ny udstøbning, hvorefter et såkaldt kold-tag, kraftig udluftet, blev oplagt.

Det kan tilføjes, at frostsprængninger, efterhånden som nedbrydningen skred frem, blev mere og mere virksomme.

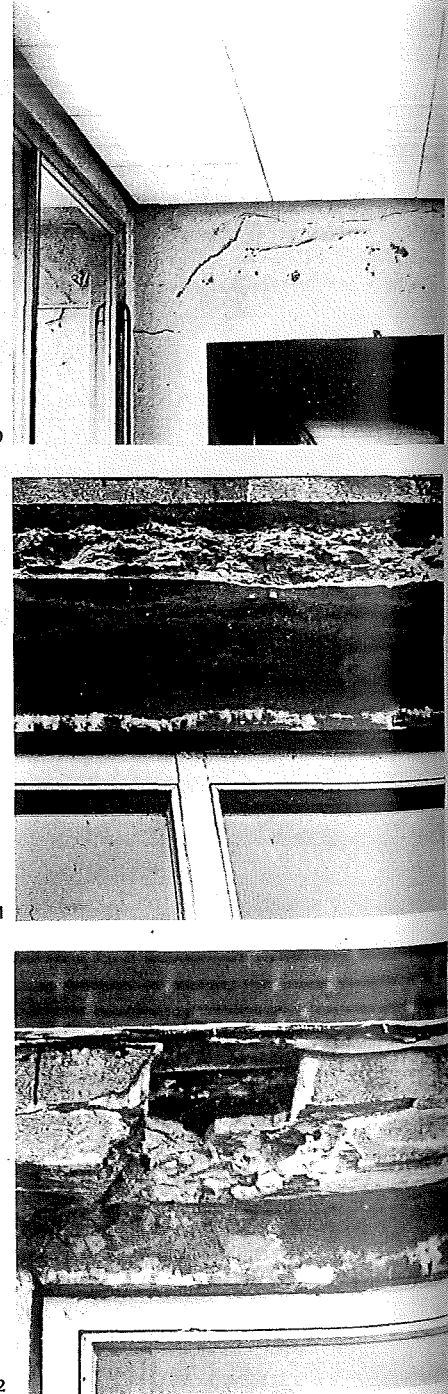
Beregningerne, der ligger til grund for de opgivne tal, findes i et tillæg til artiklen. Man vil se, at en fugtspærre – eventuelt alufolie – over betonen ville have forøget fugtmodstanden tilstrækkeligt og have sparet flere 100.000 kr. Også overfladebehandling med dampstæt maling kunne muligvis have løst problemet.

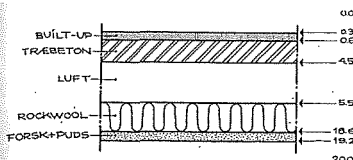
II.

Her drejer det sig om en meget kraftig isoleret tagkonstruktion med luftmellemrum under den isolerede tagdækning og udluftning af dette (se skitse H).

Det har som nævnt vist sig, at udluftning ved hjælp af en række åbninger i samme niveau har langt ringere virkningsgrad end almindelig antaget; der må etableres en skorstensvirkning med minimums-højdeforskel og -afstande som angivet på skitse F; endvidere skal der tages hensyn til den relative luftfugtighed i lokalene under tagkonstruktionen.

I det omtalte tag var oprindelig monteret ret store udluftningsåbninger (skitse 1); men da regn trængte direkte ind, lukkedes disse åbninger, og luftmellemrummet stod uden nogen som helst udluftning. Store åbninger må udføres med knæk (skitse F). Sådanne åbninger tilfører imidlertid murkronerne megen fugt, 12





H

G. Temperaturen er udregnet med og uden isoleringsplade for $t_i = 20^\circ$, $t_u = 0^\circ$ og $\div 10^\circ$.

Dugpunktet for den indvendige overflade ligger ved 12° , og der forekommer således ingen overfladekondens.

Uden isolering er der fare for kondens i letbetonen, såvel for $t_u = 0^\circ$ som for $t_u = \div 10^\circ$; med isolering er der ved $\div 10^\circ$ fare for kondens mellem beton og isoleringsplade; en nærmere undersøgelse viser, at kondens kan forekomme allerede ved $t_u = \div 4^\circ$, altså i en væsentlig del af opvarmingsperioden, således at lim sandsynligvis som nævnt vil blive ødelagt.

og det er som tidligere anført absolut nødvendigt at isolere murkronerne effektivt fra det øvrige murværk.

Denne tagkonstruktion var anvendt over et meget stort antal enfamiliehuse, der efter få års forløb var så medtagne, at de måtte betragtes som „ikke egnede til beboelse“.

Igennem forskalling og puds transporterer $0,45 \text{ g/m}^2$ i timen gennem hele opvarmingsperioden, dvs. 2400 g/m^2 $2,4$ liter/ m^2 i hele perioden 225 dage, mens kun ca. 400 g/m^2 kunne formodes fjernet ved udtørring i sommerperiodens 140 dage.

Efter to-tre års forløb begyndte fugtulemperne først ved ydervægge (foto 13 og 14), idet taget havde en svag hældning mod udluftningsåbningerne; senere blev også skillevægge midt i husene gennemvåde (foto 15), pudsen faldt ned, tapeter, tekstiler og møbler et alvorlig skade, og ubehagelig luft forekom i alle husene.

Skema II viser, at der burde være indlagt en fugtspærre som f.eks. to lag folie umiddelbart over forskallingen eller anvendt en damp tæt overfladebehandling af lofterne, f.eks. to gange alkydmalning.

Disse to eksempler er ikke de alvorligste blandt mange, og oplysninger om fugtvandring – ganske særlig ved flade tage – synes mangelfulde; det er ikke nok at kunne tegne et hus, lade udføre korrekte statiske beregninger og gode installationer, man må også kunne konstruere og få materialerne til at samarbejde osv.

Eksempler på andre byggefelt

Et moderne kontorhus har installeret et meget kostbart og fint reguleret klimaanlæg, som skulle sikre personalet de bedst mulige arbejdsvilkår med en relativ luftfugtighed på 60 pct. Efter igangsættningen viste anlægget sig at være ganske uden værdi, fordi ydervægskonstruktionen ved højere relativ luftfugtighed end ca. 40 pct. flød med kondensvand, der hurtigt ville have nedbrudt overfladebehandlinger,

Skema I og II
Denne forenkede undersøgelse af de to eksempler på fugtvandring tjener to formål. 1) Bestemme størrelsen af de opsamlede fugtmængder. 2) Bestemme de forholdsregler, der kan forhindre gentagelser.

Fremgangsmåde:

a) Konstruktionens fugtmodstande μ_e , hvor μ er diffusionsmodstandsfaktoren og e materialetykkelsen i m, afsættes som abscisse; konstruktionen er herved transformeret, således at fugtmodstanden er konstant, dvs. damptrykket falder efter en ret linie 3, såfremt der ikke forekommer kondens.

b) Temperaturkurven indtegnes.

c) Efter temperaturkurven afsættes mætningskurven; mætningsstrykkes findes på gennemarbejdede skemaer; ofte er trykkene opgivet i mmHg; ved multiplikation med $13,6$ fremkommer trykkene i kg/m^2 , hvilket er nødvendigt for anvendelse af nedenstående enkle formel til bestemmelse af fugtmængder.

d) Indvendigt og udvendigt damptryk P_i & P_u indtegnes efter de vedtagne gennemsnitsværdier, indført på skemaerne.

Såfremt de aktuelle damptryk er større end mætningsstrykkene, forekommer kondens, idet der tilføres mere vanddamp til luften i det pågældende område, end denne kan indeholde; ligger kurve 3 over kurve 1 udskilles vand og

damptrykket falder, således at den aktuelle damptrykkurve „synker“ ned under mætningskurven til kurve 2.

På skemaet kan umiddelbart indtegnes den fugtmodstand μ_{eff} , der skal tilføres konstruktionens indvendige overflade for at „presse“ kurve 3 ned under mætningskurven, således at kondens inde i konstruktionen ikke forekommer.

Kondens på den indvendige overflade, der vil finde sted, når overfladetemperaturen er mindre end ca. 12° , forekommer ikke, se skitse G og H.

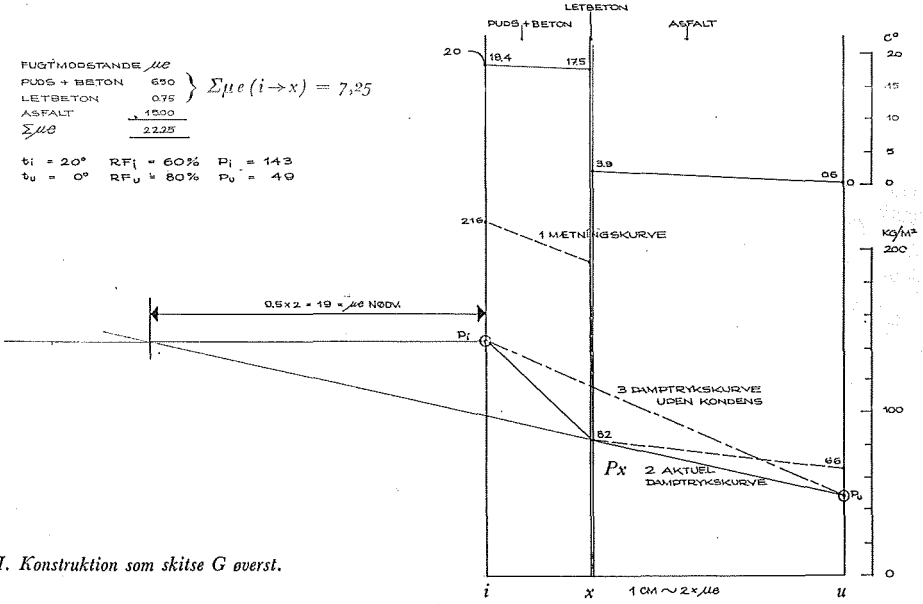
Fugtmængderne, der føres ind til de næsten damptøtte lag, asfalt og built-up, findes af formlen $\frac{P_i \div P_x}{160 \Sigma \mu_e}$, hvor

P_i & P_x er damptrykkene og $\Sigma \mu_e$ den samlede fugtmodstand mellem P_i & P_x ; Fugtmængderne, der føres til punkterne x bliver: $I, \frac{143 \div 82}{160 \cdot 7,25} \sim 0,11 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$ og $II, \frac{143 \div 69}{160 \cdot 1,02} \sim 0,45 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$.

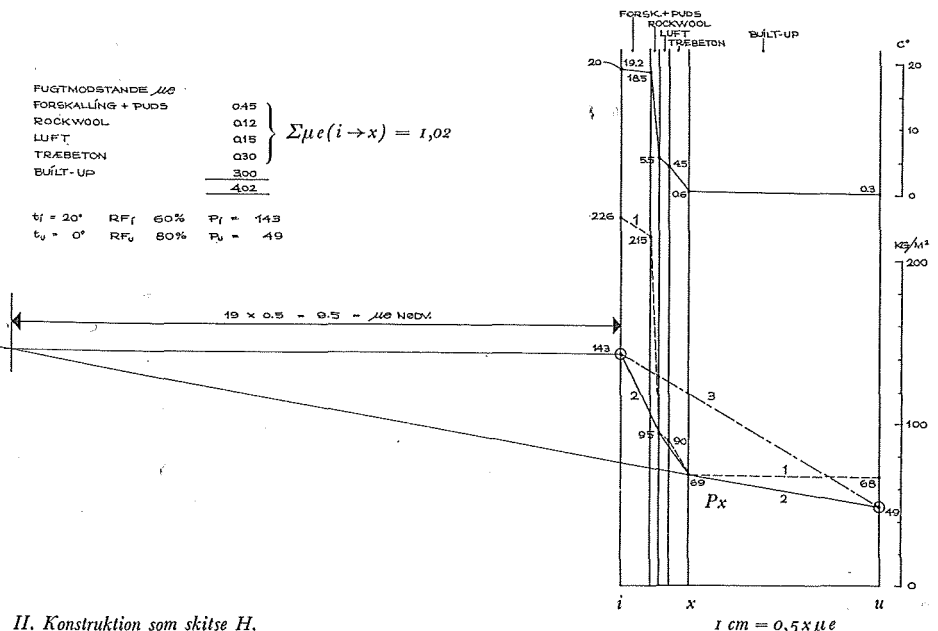
Opmærksomheden henledes på, at der i diagrammerne er regnet med lavest mulige værdier for asfalt og built-up; det må som for alle andre bygningskonstruktioner tilrådes at anvende en sikkerhedsfaktor f.eks. $2 \rightarrow 4$, eftersom der anvendes hygroscopiske isoleringsmaterialer eller ikke, f.eks. under $I \mu_e = 38$.

Under II, hvor ingen af de anvendte materialer er hygroscopiske og kan holde på fugten også $\mu_e = 38$.

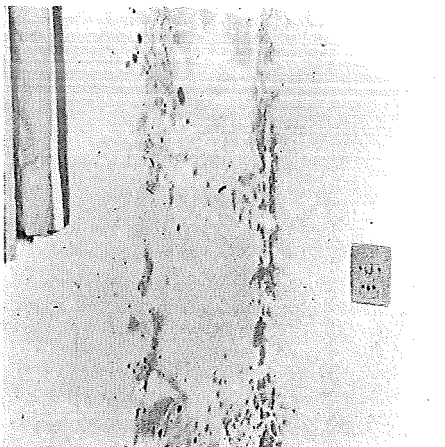
Beregning af temperatur etc. er gennemgået i ARKITEKTEN nr. 14/1967.



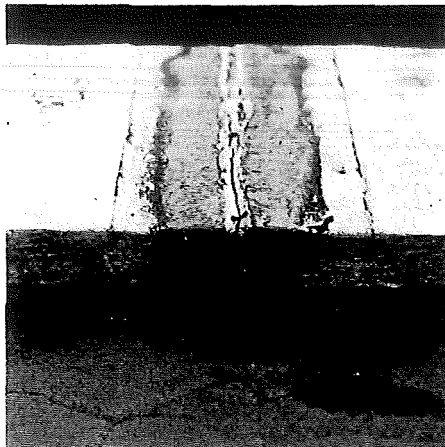
I. Konstruktion som skitse G øverst.



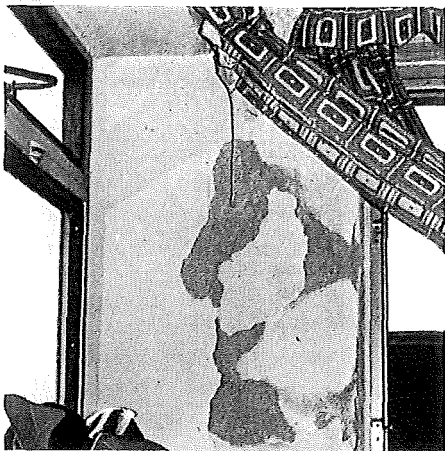
II. Konstruktion som skitse H.



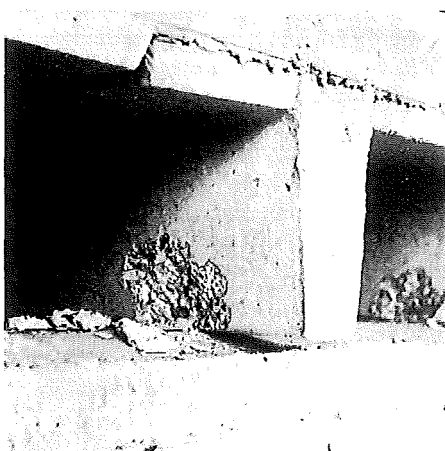
13



16



14



17



15

gulvbelægninger etc. Nogle millioner kunne have været sparet.

Foto 16 illustrerer fugeproblemer for kantbjælker, som altid er udsat for temperatursvingninger; der bør isoleres *under* bjælkerne.

Et meget stort offentligt (præmieret) projekt, der omfatter millionbyggerier over hele landet, må udskifte kostbare gulvbelægninger på grund af *kuldebroer*; omkostningerne herved anslås til 1,5 mill. kr.

Kostbare udbedringsarbejder består i udskiftning af fugematerialer ved elementbyggeri; fugematerialer er et nyt område, der har bragt mange skuffelser, og fabrikanter har undertiden måttet tilbagekalde materialer og har selv måttet forny fugerne.

Foto nr. 17 viser, hvordan det kan gå, når en trykfordelende underlagsplade er „glemt“.

Byggeteknisk Afdeling får daglig henvendelser om byggeskader, som regel i nye, kun 2-10 år gamle, højisolerede bygninger; det er uhyre vanskeligt at bedømme de samlede omkostninger ved disse skader, men det er ikke sandsynligt, at Byggeteknisk Afdelings beskedne kontor får oplysninger om mere end 2-3 pct. af skaderne fra hele landet; dvs. at vi i Danmark gennemfører udbedringsarbejder, som burde være undgået, for mere end 200 mill. kr. om året.

I betragtning af, at kendskabet til fugtproblemer er så lidt udbredt, må det hilses som et udmærket initiativ, at professor Vagn Korsgaard har offentliggjort civilingeniør Lund-Hansens licentiatafhandling; afhandlingen henvender sig imidlertid til ingeniører; med denne og den foregående artikel (ARKITEKTEN nr. 14/1967) ønsker vi at henlede opmærksomheden på problemerne, således at alle, der har med byggeri at gøre, kan være på vagt.