

MODERNE HUSBYGGINGSTEKNIKK

Kurs arrangert 6.—10. november 1961

AV

DEN NORSKE INGENIØRFORENING

OG

NORGES BYGGFORSKNINGSINSTITUTT

OSLO 1962

Særtrykk av «Bygg», «Byggmesteren» og «Norsk VVS»

Norges byggforskningsinstitutt

FORORD

Kurset «*Moderne husbyggingsteknikk*» ble arrangert av Den Norske Ingeniørforening og Norges byggforskningsinstitutt i Oslo, 6.—10. november, 1961. Kursleder var sivilingeniør Henry Hansen, NBI.

Kurset samlet stor interesse blant byggefagfolk fra alle kanter av landet. Deltakerantallet var 93.

Kurset tok sikte på å gi en orientering om den senere tids utvikling innenfor moderne husbyggingsteknikk, med tanke på dem som prosjekterer og tegner hus i dag. Spesielt ville man forsøke å gi en ajourført orientering om de prinsipper og konstruksjonsmåter som må nyttes for at huset skal bli vindtett, tett mot slagregn og tilstrekkelig varmeisolerende, uten at man får ulemper med kondens, kuldebroer etc.

De fleste foredragene på kurset er trykt som tidsskriftartikler i «Bygg», «Byggmesteren» og «Norsk VVS». Alle disse artiklene er nå samlet og foreligger som NBI Særtrykk 71.

De foredragene som ikke er med i dette Særtrykk, baserte seg på materiale som allerede foreligger trykt i NBI's faste publikasjonsserier. Det gjelder følgende foredrag (i klammer er henvist til de NBI-publikasjoner som behandler emnet):

Papptekking. Av arkitekt Harald Kristiansen. [Byggdetaljbladene NBI (47). 201 og NBI (47). 301]

Ytterveggkonstruksjoner. Erfaringer fra prøvehus, laboratorium og praksis. Av sivilingeniør A. Tveit. [NBI Særtrykk 38 og NBI Særtrykk 52.]

NBI's prøvehus av tre på Vestlandet. Av arkitekt Sven Erik Lundby. [NBI Særtrykk 16.]

Praktisk utførelse av skallmur i tegl og betong. Av arkitekt Harald Kristiansen. [Byggdetaljbladene NBI (21). 201 og NBI (21). 608.]

Ikke-bærende yttervegger. Av sivilingeniør Øivind Birkeland. [NBI Håndbok 11.]

Elementvegger av betong. Av sivilingeniør Olav Flo. [NBI Rapport 34.] (under trykking).

Aluminiumvinduer. Av arkitekt Trygve Isaksen, [NBI Særtrykk 45.]

Prøving av vinduers og beslags styrke-egenskaper. Av sivilingeniør Petter Lossius. [NBI Særtrykk 65.]

NBI vil gjerne takke Den Norske Ingeniørforening for at den tok initiativet til kurset og for det gode samarbeid ved gjennomføringen, og alle andre som i forskjellige egenskaper bidro til et vellykket resultat.

OSLO, juni 1962.

ØIVIND BIRKELAND

INNHOOLD

Forord	3
<i>Prinsipper for tetting mot vind og slagregn.</i> Av sivilingeniør Sven D. Svendsen ¹	7
<i>Fugematerialer.</i> Av sivilingeniør Tore Gjelsvik ¹	16
<i>Fuger og fugeløsninger.</i> Av arkitekt Trygve Isaksen ¹	21
<i>Hva vet vi i dag om fuktighetstransport i byggematerialer?</i> Av sivilingeniør Annanias Tveit ¹	33
<i>Nyere erfaringer med kondensasjon i vegger.</i> Av arkitekt Eirik Finne	40
<i>Konstruksjon av massive tak.</i> Av arkitekt Trygve Isaksen ¹	48
<i>Undersøkelser av vegger i prøvehus (betonghulstein, lettbetong, skallmur).</i> Av sivilingeniør Annanias Tveit ²	58
<i>Beskyttelse av lettbetongvegger.</i> Av sivilingeniør Sven D. Svendsen ¹	62
<i>Trevegger.</i> Av arkitekt Sven Erik Lundby ²	68
<i>Kuldebroer.</i> Av professor Hans Granum ³	71
<i>Sprekkdannelse i murte og støpte hus.</i> Diskusjon med innledninger av sivilingeniør Øivind Birkeland, overingeniør Sverre Fjeldstad, sivilingeniør Sven D. Svendsen og sivilingeniør Johannes Moe ²	84
<i>Tetthetskrav til vinduer.</i> Av arkitekt Sven Erik Lundby	90
<i>Vanlige vinduer eller forseglede ruter?</i> Av sivilingeniør Tore Gjelsvik ²	92
<i>Innsetting av isolerglass.</i> Av sivilingeniør Tore Gjelsvik ²	97

Foredraget har vært publisert i:

¹ «Bygg»

² «Byggmesteren»

³ «Norsk VVS»

Prinsipper for tetting mot vind og slagregn

Av laboratoriesjef *Sven D. Svendsen*,

Norges byggforskningsinstitutt

DK 69.022.32

I Innledning

Da den første norske steinaldermannen rømte den lune hulen sin og ga seg til å bygge en koje på åpen mark, fikk han merke at husbyggeren her i landet har et lumskt og farlig klima å slåss med. Denne erfaringen deler han med atskillige husbyggere og huseiere anno 1961. Materialer, byggemetoder og krav til boligkomfort har nok endret seg, men klimaet er stort sett det samme nå som da. Og gjennomgangsproblemet er fremdeles: hvordan kan jeg få huset mitt varmt nok og tett nok mot vind og regn?

Det er derfor naturlig at Norges byggforskningsinstitutt alltid har lagt særlig stor vekt på klimapåkjenningene i sitt arbeid. Når det gjelder vind og slagregn, er det i årenes løp gjort mange og omfattende undersøkelser med ulike materialer og konstruksjoner. Platematerialer og puss, trevegger og skallmur, vinduer og elementfuger er bare noen eksempler på dette arbeidet. Etter hvert som mengden av resultater fra slike forsøk har vokst, har det vist seg at det er enkelte karakteristiske faktorer som stadig går igjen. Uansett materialtype eller konstruksjonsform er det visse prinsipper som må følges for at bygningen skal kunne holde seg tett mot vind og regn.

Det er disse prinsippene som skal legges frem her, og det vil bli gjort et forsøk på å lage en slags universell oppskrift for hvordan en vegg må bygges opp for å være tett. Fremstillingen må nødvendigvis bli strengt skjematisk, og for å kunne nyttes fullt ut i praksis, må den fylles ut med kjøtt og blod i form av detaljløsninger. Mange av disse detaljene vil gi seg selv, en god del vil bli vist i andre foredrag under dette kurset, mens andre igjen krever fortsatte undersøkelser for å bli helt klarlagte.

Ved en systematisering av vind- og slagregnproblemer er det en fordel å dele veggkonstruksjonene opp i to hovedgrupper, *massive vegger* og *oppløste vegger*. Med en massiv vegg forstår vi en vegg som fra ytterside til innerside virker som en enhet, selv

om den godt kan bestå av flere forskjellige materialer. De ulike materialsjikt ligger da i full kontakt med hverandre og er gjerne intimt forbundet. Betongveggen med inn- eller utvendig isolasjon av lettbetong er et typisk eksempel på en massiv vegg, og det samme gjelder vegger murt av blokkmaterialer med puss på begge sider (*fig. 1 a og b*). Den oppløste veggen består *alltid* av flere materialsjikt som er mere løst forbundet med hverandre, og den har gjerne ett eller flere gjennomgående luftsjikt parallelt med veggflaten. Typiske eksempler på oppløst vegg har vi i bindingsverksveggen og i den ventilerte skallmuren av tegl eller annen stein (*fig. 1 c og d*). Dersom vi erstatter betongveggens lettbetong-isolasjon, utvendig eller innvendig, med mineralull, papp og kledning, forandrer vi veggtypen fra massiv til oppløst. Det samme hender hvis lettbetongen ikke settes i forskalingen, men mures som en separat vange fritt fra betongveggen.

Det finnes selvsagt en del veggtyper som ved første øyekast kan være vanskelige å plasere innenfor disse to kategoriene av vegger. Som vi senere skal se, går det imidlertid an å utvide og klargjøre definisjonene for massiv og oppløst vegg slik at valget blir entydig praktisk talt i alle tilfelle.

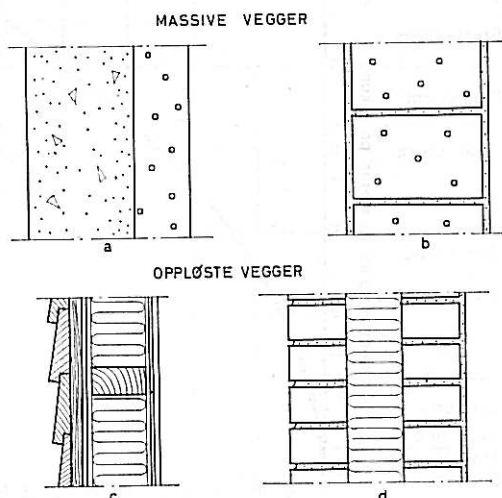


Fig. 1. De to hovedgrupper av veggkonstruksjoner.

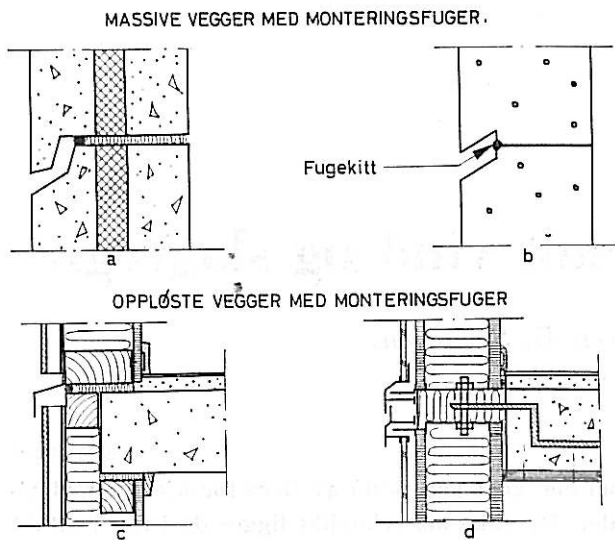


Fig. 2. Monteringsfuger i vegger.

Både den massive og den oppløste veggen kan enten være *kontinuerlig* eller ha såkalte *monteringsfuger*. En monteringsfuge er egentlig en fuge mellom prefabrikerte veggelementer som henges opp i byggets bærende konstruksjoner, og som selv ikke bærer annet enn sin egen vekt. Fig. 2 a viser f. eks. en monteringsfuge i en massiv vegg, — i dette tilfelle er elementene laget av betong med et innstøpt isolasjonsmateriale av fast type (f. eks. styropor). Fig. 2 c og d viser tilsvarende fuger i oppløste vegger, to påhengsvegger av henholdsvis tre og aluminium. Vanlige murverksfuger er altså ikke monteringsfuger. I de spesialtilfeller hvor en slik murt eller limt fuge formes og utføres etter de prinsipper som skal legges frem her, kan den imidlertid betraktes som om den var en monteringsfuge. Fig. 2 b viser en slik fuge mellom liggende, limte elementer av gassbetong. Fuger mellom karm og vegg og mel-

lom ramme og karm ved vinduer og dører er imidlertid ekte monteringsfuger uansett om veggen ellers er massiv eller oppløst, kontinuerlig eller sammensatt av prefabrikerte elementer.

For enkelhets skyld vil ordet «fuge» bli brukt i stedet for «monteringsfuge» i resten av denne redegjørelsen.

II Påkjenninger fra vind og regn

Når vinden treffer en bygning, stuves luften opp på forsiden av den mens det dannes hvirvler på baksiden. Dette fører til at det blir et forholdsvis stort overtrykk over luvart vegg og et mindre undertrykk over le vegg, sett i forhold til lufttrykket inne i huset. Teoretisk kan størrelsen på overtrykket bestemmes av formelen:

$$p = \frac{v^2}{16}$$

hvor p er overtrykket i mm VS (eller kg/m^2) og v er vindhastigheten i m/sek. Hvis formelen settes opp i kurveform, gir den et forhold mellom overtrykk og Beauforts vindskala som er vist med den heltrukne linjen i fig. 3.

Når Meteorologisk Institutt registrerer en vindstyrke, regnes det med den midlere hastighet over en 10-minutters periode. Innenfor denne perioden varierer imidlertid vindstyrken meget sterkt, anslagsvis med $\pm 50\%$. Variasjonene i overtrykk vil da svare til det skraverte området på figuren. Ved en registrert vindstyrke på f. eks. 25 m/sek (grensen mellom full og sterk storm) vil det kunne forekomme overtrykk innenfor 10-minutters perioden fra 10 mm VS til 90 mm VS. Når det gjelder en konstruksjonsdels styrke, er det uten videre klart

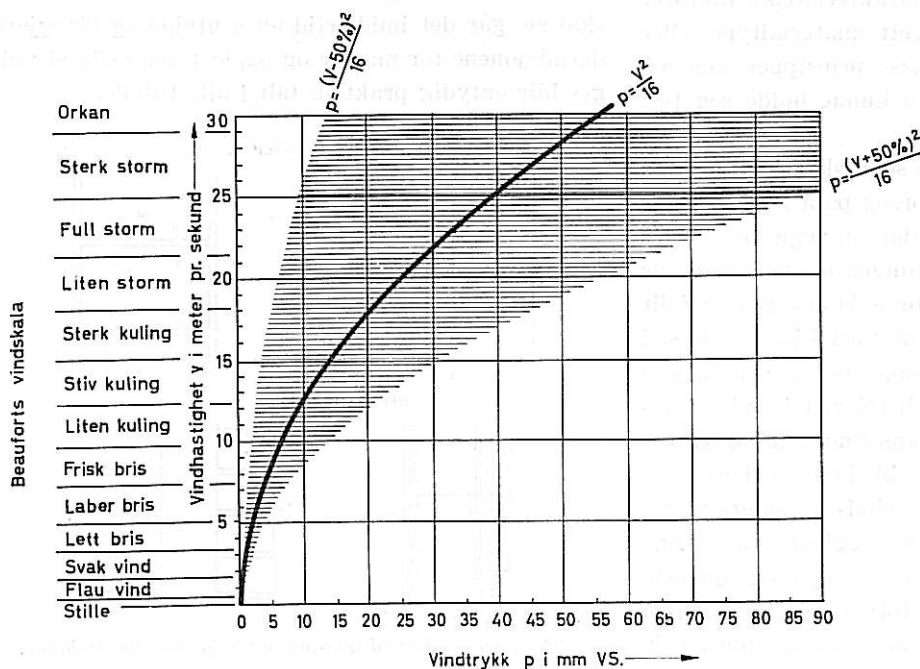


Fig. 3. Diagram for vindtrykket mot en yttervegg som funksjon av vindhastigheten.

at det er de kraftigste vindstøtene som en må regne med, — i dette tilfelle altså 90 mm VS eller kg/m^2 . Ved vind- og slagregnelekkasjer spiller derimot disse toppverdiene mindre rolle, og da er det riktigere å regne med middelveidene. I eksemplet med vind av 25 sekundmeters styrke får vi da et teoretisk overtrykk på 40 mm VS.

Når NBI foretar vind- og slagregnforsøk med sin apparatur for kunstige klimapåkjenninger, blir det brukt et topptrykk på 70 eller 75 mm VS. Det kan virke som om dette er i hardeste laget, fordi det etter kurven svarer til vindhastigheter langt oppe i orkanområdet. Selv her i landet hører orkan tross alt med til sjeldenhetene. Det er imidlertid flere grunner for å bruke så høye verdier. For det første er vindtrykksformelen som nevnt bygget på teoretiske betraktninger. I virkeligheten vil vindtrykket over luvart vegg variere ganske sterkt fra sted til sted på veggen, avhengig av bygningens form og av terrenget rundt den. På lokale partier kan de maksimale overtrykk bli langt større enn det formelen tilsier. For det annet gjelder de meteorologiske vindtallene for en bestemt høyde over bakken, vanligvis 10 m. Høyere oppe øker vindhastigheten ganske sterkt, noe som særlig går ut over toppetasjene i høye bygg. For det tredje kan trykkfallet over luvart vegg bli langt høyere enn beregnet hvis vinduene på lesiden står åpne. I et slikt tilfelle vil nemlig luvart overtrykk og le undertrykk kunne summere seg opp som trykkfall over værveggen. Alt i alt skulle derfor påkjennningene ved laboratorieforsøkene være vel begrunnet, selv om de svarer til at veggen lå horisontalt og at det sto 7—7½ cm vann over den.

En regndråpe som faller, vil bli påvirket av tyngdekraft, av luftmotstand og av vind (*fig. 4 a*). Disse kreftene setter seg sammen til en resultant som bestemmer dråpenes hastighet og dens innfallsvinkel mot veggen. Det er den regnmengden som treffer en flateenhet av veggen pr. tidsenhet, som vi kaller slagregn, og slagregnet kan måles på helt tilsvarende måte som vertikal nedbør (*fig. 4 b*). Slagregnmengden kan også beregnes tilnærmet om vi har nok av data om vindstyrke, vindretning og nedbørmengde. *Fig. 5* viser et slagregnkart over Norge med verdier for gjennomsnittlige årsmengder fra den verste værretningen. Kartet forteller at det er meget store variasjoner fra landsdel til landsdel. De største slagregnmengdene har kysten av Vestlandet, og så følger vestkysten fra Stad til Lofoten, og Sørlandet. Som ventet har de typiske innlandsstrøkene på Østlandet bare små mengder, men mer forbausende for de fleste er det vel at Nord-Norge fra Vesterålen og nordover også ligger svært gunstig an slagregnmessig sett. *Fig. 6* viser hvor ret-

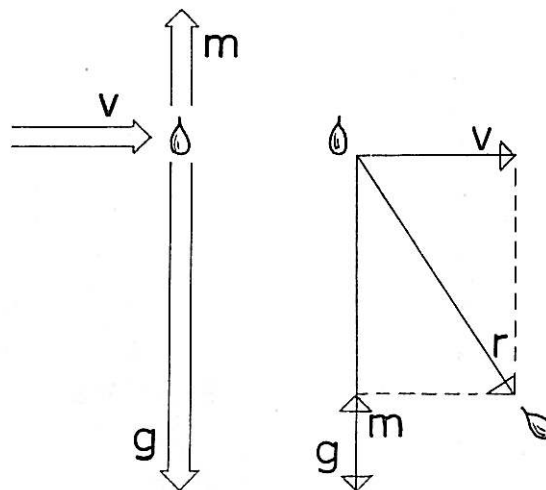


Fig. 4 a. En regndråpes hastighetsvektorer.

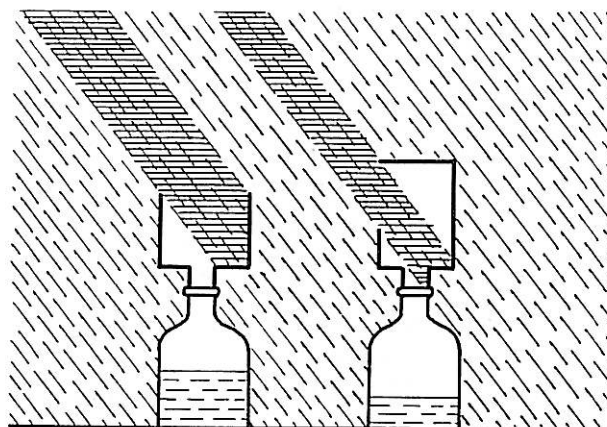


Fig. 4 b. Prinsipp for måling av vertikal nedbør (t. v.) og slagregn (t. h.).

ningsbestemt slagregnet vanligvis er, — i dette tilfelle dreier det seg om målinger gjort på NTH i 14-års perioden 1940—1953.

Disse årsmidlene som kartet gir, har imidlertid bare en begrenset betydning, og det er slett ikke sikkert at et område med meget høy, årlig slagregnmengde har en tilsvarende høy frekvens av slagregnskader. All erfaring viser at de farligste slagregnperiodene gjerne er så korte som fra et par timer til 2—3 døgn, men at slagregnet til gjengjeld i denne perioden er særlig intenst. Vi mangler dessverre i aller høyeste grad verdier for slike sjokkangrep. Det foreligger en eneste norsk serie målinger av slagregntintensitet, og den ble foretatt på NTH i 1949 i løpet av en særlig blåsende og våt 2-måneders periode. Målingene ga følgende maksimale verdier:

I løpet av 10 minutter	1,1 mm
” ” ” 30 ”	3,0 ”
” ” ” 60 ”	4,5 ”
” ” ” 1 døgn	43,0 ”

Alle disse tallene gjelder de vannmengdene som treffer veggen direkte i form av dråper. På de fleste

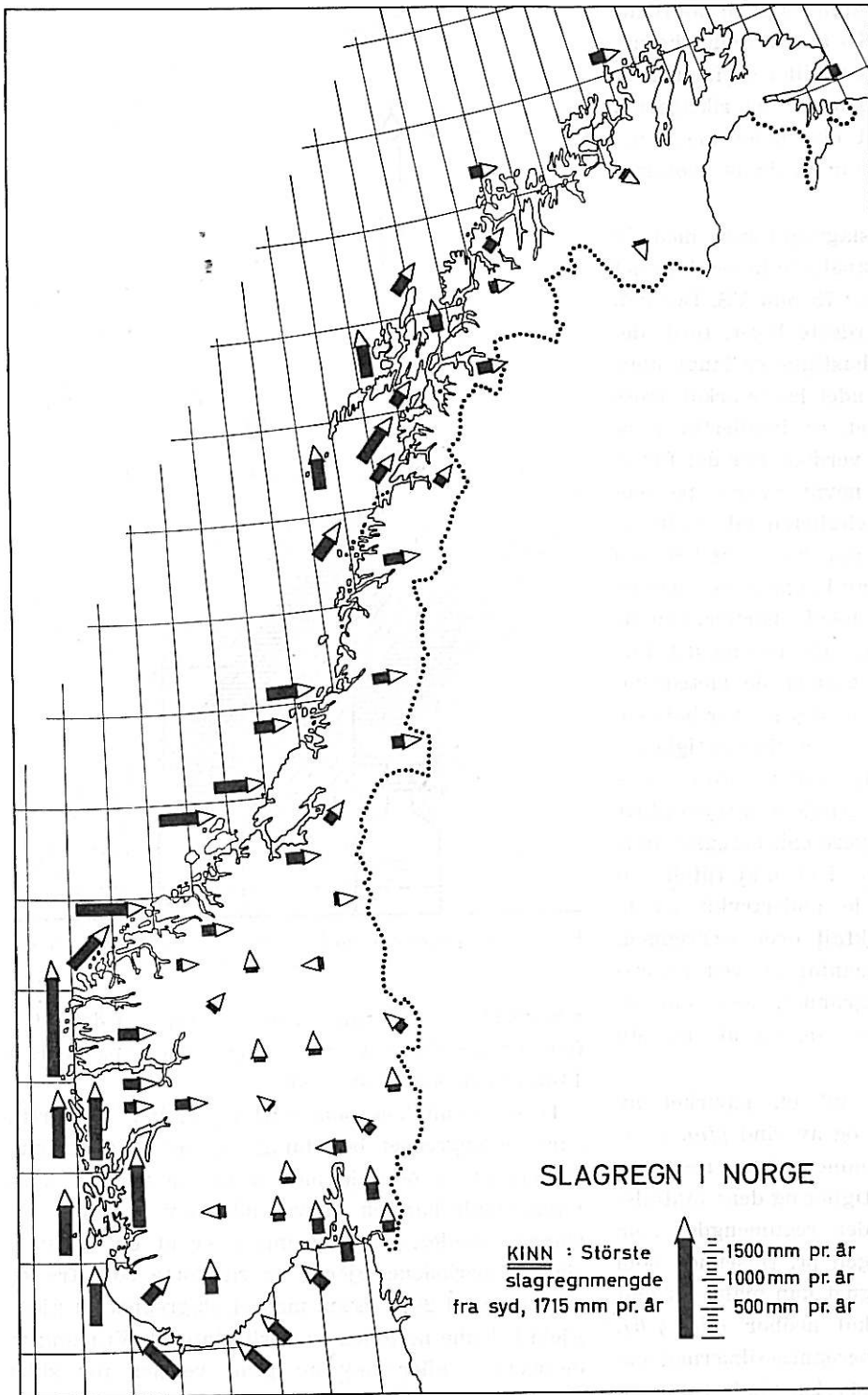


Fig. 5. Størrelse og retning av årlige slagregnmengder i Norge.

veggflater vil imidlertid slagregnet etter hvert danne en vannfilm som flyter nedover, og som lenger nede på veggen vil komme som et tilskudd til det direkte slagregn. På høye hus med glatte veggflater vil derfor de virkelige vannmengder på veggen være mange ganger større ved foten enn ved toppen. Ved NBI's slagregnapparat opereres det med vannmengder på 8—10 mm/h. Dette skulle dekke det direkte slagregn selv ved meget harde anfall, men er altså langt mindre enn det man i

praksis kan få ved høybygg. Sannsynligheten taler imidlertid for at det bare er i forholdsvis få tilfelle de virkelig store vannmengdene betyr noe vesentlig fra eller til for veggens tetthet.

Ved siden av mengde og intensitet er det også andre slagregnfaktorer som kan ha større eller mindre betydning. Det trykkfallet over veggen som vinden bygger opp, er nevnt tidligere, men det skal presiseres her at overtrykket spiller like stor rolle for slagregngjennomslag som for vindlekkasjer.

Dråpestørrelsen vil variere innenfor meget vide grenser avhengig av regnværs-typen. De vanligste dråpediametrene ligger imidlertid mellom 0,5 og 2,5 mm, og det er omtrent disse grenseverdiene man har i NBI's apparatur. Dråpenes *innfallsvinkel* vil være avhengig av bl. a. vindstyrke, dråpestørrelse, terrengforholdene rundt bygget og bygningens form. Der klimaet er værhardt må en regne med at dråpene vil kunne treffe veggen horisontalt eller til og med på skrå nedenfra. Ved høye bygg dannes det ofte lufthvirvler over værsiden slik at vinden på lokale partier faktisk kan blåse oppover langs veggen. *Luftens uttørkingsevne* kan også være av betydning for slagregnskader, spesielt ved massive vegger. Består hele veggen eller veggens ytterste del av porøse materialer, vil en del vann suges inn i den ved hvert slagregnangrep. Dersom luften har liten eller ingen uttørkingsevne i oppholdsperiodene, vil mer og mer vann kunne akkumuleres i veggen, slik at det til slutt blir gjennomslag. Denne klimafaktor varierer spesielt meget fra landsdel til landsdel og fra år til år. I de verste tilfelle og i de verste strøk langs vestkysten vår kan det faktisk gå mange måneder uten en eneste skikkelig tørkeperiode. Dette er en av hovedårsakene til at vi i disse strøkene overhodet ikke kan bruke mange av de materialer og konstruksjonsmetoder som er vanlige på steder med mer moderate klimaforhold.

III Tetting mot vind

Vindlekkasjer opptrer på to måter, — ved luftgjennomgang tvers gjennom veggen og ved at ytterluft trenger inn i en åpen varmeisolasjon og sirkulerer der. I begge tilfelle vil brenselforbruket kunne øke sterkt, samtidig som huset blir trekkfullt og kanskje direkte helsefarlig. NBI's forsøk har imidlertid vist at det ikke er noen umulighet å bygge vegger som er tette nok, dersom det bare blir brukt riktige materialer og konstruksjonsmetoder. Det skulle derfor være all mulig grunn til å sette betydelig strengere krav til vindtetthet enn hva det ofte blir gjort idag. I andre foredrag i dette kurset vil både materialer, byggemåter og tetthetskrav for vegger og fuger bli detaljert behandlet, og det skal derfor her bare skisseres noen hovedprinsipper.

En massiv vegg uten fuger burde normalt ha fullgod tetthet mot vind. Denne veggen er jo nesten alltid bygd opp som et sammenhengende hele, enten støpt monolitisk i betong eller murt sammen av blokker og stein (*fig. 7 a*). Når tettheten svikter, skyldes det derfor enten at veggen har fått skader i form av sprekker, eller at det har vært svikt i arbeidsutførelsen. Åpninger i støpeskjøter og mørtelfuger som er dårlig fylt, kan gi ubehagelige lek-

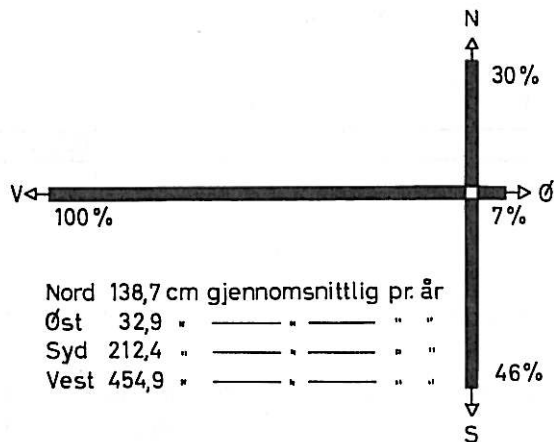


Fig. 6. Retningsfordelingen av den årlige slagregnmengden på NTH iflg. målinger i årene 1940—53.

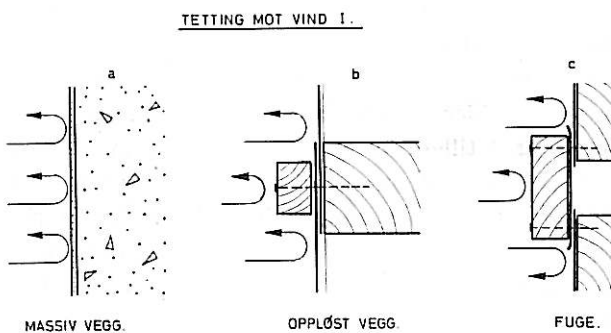


Fig. 7. Vegger av forskjellig type utsatt for vind.

kasjer som altså burde og kunne ha vært unngått.

En oppløst vegg har i enkelte tilfelle et støpt eller murt sjikt som gir veggen tilstrekkelig tetthet, slik som f. eks. en betongvegg med innvendig mineralullisolasjon og kledning. Som oftest er imidlertid den oppløste vegg satt sammen av mindre enheter i forskjellige materialer, og tettheten blir da først og fremst avhengig av hvordan skjøtingen av disse enhetene er utført. På dette punktet har forsøkene gitt en rekke interessante resultater. De har vist at skjøter mellom materialer som tre, stål, glass, betong, aluminium og hard plast praktisk talt aldri blir tette nok, uansett hvor glatte anleggsflatene er og hvor kraftig klemvirkning det brukes. En medvirkende årsak til dette er naturligvis at det nesten alltid vil forekomme bevegelser i slike skjøter. I visse tilfelle vil man imidlertid kunne oppnå gode resultater ved å sette tette platematerialer i kittfalsler eller mot spesialprofilerte tettelister. En slik utførelse blir imidlertid lett komplisert og kostbar, og den setter også store krav til arbeidsutførelse og materialkvaliteter.

Det finnes imidlertid en billig, enkel og effektiv vindspærre som kan brukes i de aller fleste former for oppløste vegger: papp eller folie med klemte skjøter (*fig. 7 b*). Er pappen eller foliet selv tilstrekkelig vindtett og klemvirkningen god, vil luftlekkasjen gjennom skjøtene bli meget liten. Spærre-

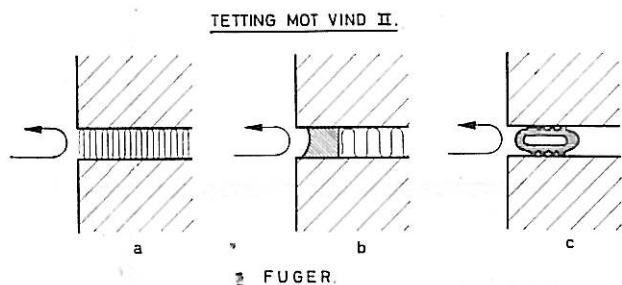


Fig. 8. Forskjellige metoder for tetting av fuge.

sjiktet må legges slik at kaldluften ikke får herje fritt i varmeisolasjonen, og det betyr at det tette sjiktet som oftest må ligge utenfor isolasjonsmaterialene. En løsning som dette vil kreve at vindspærren har et temmelig høyt dampdiffusjonstall slik at det ikke oppstår kondens i isolasjonen.

De samme prinsipper som er nevnt for tetting av skjøter, gjelder også for alle fuger i massiv og oppløst vegg. I tillegg til dette kommer at bevegelsene i fuger ofte kan bli temmelig store. Antallet av effektive fuge tettingsmaterialer blir derfor sterkt begrenset, og de krav som stilles til deres elastiske og plastiske egenskaper og deres levealder blir meget strenge. I alt regner vi med at vi har 4 forskjellige materialer eller materialtyper som kan komme på tale:

1. *Papp eller folie, godt klemt (fig. 7 c)*. Pappen (eller foliet) må være vindtett og myk og legges slik at materialet ikke blir revet opp når fugen beveger seg. Underlaget må være relativt glatt og jevnt, og klemvirkningen skal være kraftig og varig og virke i hele fugens lengde.

2. *Dytteremser av steinull (fig. 8 a)*. Slike dytteremser gir ikke så god tetting som de øvrige tre materialtyper, og kan bare komme på tale ved smale og meget dype fuger (spesielt fuger mellom karm og vegg). Dyttingen må utføres meget kompakt. I visse tilfelle vil dytteremser egne seg godt som supplement og ekstra sikkerhet hvor et annet fuge materiale er brukt, — f. eks. som underlag for fugekitt.

Vanlig dyttestry vil aldri kunne gi tilstrekkelig tetthet, uansett hvor godt det er pakket.

3. *Tettelister (fig. 8 c)* egner seg best i fuger med relativt jevne og parallelle sidekanter. Listen må ha stor elastisitet og minst mulig varig deformasjon. Den må kunne legges inn med god klem og beholde sin tettende evne selv ved fugens største bevegelser. Materialet i listen skal være bestandig overfor alle aktuelle påkjenninger gjennom lang tid, og spesielt harde blir kravene om tettelisten legges slik at den blir direkte utsatt for regn og sol. Det må gjøres regning med at selv den beste list kan ha langt kortere levetid enn selve bygget, og den

bør derfor legges slik at den kan skiftes ut relativt lett.

4. *Fugekitt (fig. 8 b)* kan brukes også i fuger som er temmelig ujevne, og denne tettemetoden har derfor atskillig større variasjonsmuligheter enn de to andre. Samtidig er antallet av typer fugekitt meget stort, og de forskjellige sorter kan ha ytterst ulike egenskaper. Dette fører med seg at fugekittet må velges etter fugens form og plassering og etter arten av de påkjenninger det vil bli utsatt for. Det kan imidlertid settes opp en rekke generelle krav til fuge og fugekitt:

Fugen må være utformet slik at den krever så lite masse som mulig og slik at kittstripens form blir riktig og rasjonell. Dette krever at man ved sprøytete fugekitt må ha et underlag å sprøyte mot, — enten et fast innlegg eller en annen form for pakning. Fugekittet skal være så plastisk eller elastisk og ha så god heftfasthet til alle aktuelle underlag at det kan ta de maksimale bevegelser uten å sprekke opp eller glippe. Det skal kunne tåle store temperaturvariasjoner uten å miste disse egenskapene, — om nødvendig også direkte sol og regn. Som tettelister må fugekittet ha gode aldrings-egenskaper, men også i dette tilfellet er det et ønskemål at fugen er formet ut slik at reparasjonsarbeidet kan utføres på en relativt lett måte.

IV Årsaker til slagregnekkasjer

Tetting mot slagregn byr på flere og mer kompliserte problemer enn tetting mot vind, og det er derfor nødvendig først å se nærmere på årsakene til slagregnekkasjer. En slik analyse kan bare gjøres strengt skjematisk, og vi kan f. eks. benytte oss av det systemet som er vist i fig. 9. Her er veggen eller fugen tenkt oppdelt i en ytre og en indre del. Den ytre del er de sjiktene av veggen hvor det foregår en fukttransport som skyldes slagregnet. Enten det gjelder en massiv eller en oppløst vegg, med eller uten fuger, vil ytre del kunne være alt fra det ytterste, tynne veggsjiktet og til hele veggtykkelsen. Det avhenger bare av hvor langt fuktighet har trengt inn i veggen. I ytre del lager vi en åpning med bredde eller diameter t , som representerer innfallsporten for slagregnet. Denne åpningen kan være en kapillær pore, et sår, en riss, en sprekk, en skjøl, en fals, en spalt eller en hvilken som helst annen form for utetthet som kan lede vann inn i veggen. Det er en fordel å kunne skille mellom en helt fri åpning i overflaten (fig. 9 a) og en åpning som er helt eller delvis overdekket eller overlappet (fig. 9 b). Den indre del, som altså representerer resten av veggtykkelsen, markeres bare med en enkelt linje. Da trykkfallet er av så stor betydning ved slagregnekkasjer, må fordelingen av det over ytre og indre

del vises, — Δp_1 og Δp_2 . Trykkfallene blir gitt i mm VS, mens t og overdekkingshøyden h er anført i mm.

Fig. 10 a viser den første årsaken til slagregnelekkasjer, kapillær suging. Regnet danner en vannfilm på veggen, og fra denne filmen suges så fuktigheten inn i poren eller spalten. Vi forutsetter foreløpig at det ikke er noe trykkfall over ytre del, enten fordi indre deler er så tett at den tar hele overtrykket eller fordi vinden er for svak til å lage noe trykkfall i det hele tatt. Det finnes selvsagt ikke noen skarp øvre grense for porestørrelse eller spalte når det gjelder kapillær suging, men i praksis kan en tillate seg å si at kapillærkraften er forsvunnet når åpningene er så store som 0,5 mm. Ved overordentlig små porer blir kapillærtransporten også mindre farlig, fordi den da foregår så langsomt (eks.: god betong, tett puss).

Fig. 10 b taler for så vidt for seg selv. P. g. a. vannets overflatespenning vil tyngdekraften neppe kunne spille noen rolle ved åpninger som er mindre enn 0,5 mm. I brede, vertikale spalter vil vi ofte få et spesialtilfelle av denne lekkasjetypen ved at dråper som renner inne i spalten etterhvert kan bli ledet innover i veggen p. g. a. lokale ujevnheter i materialet. Tyngdekraften er ellers farligst i oppløste vegger med luftsjikt, i massive vegger hvor det er brukt hullstein eller hullblokk og ved dårlig fylte mørtelfuger.

Ved høye vindstyrker og meget store åpninger i ytre del kan regndråpene bli ført inn i veggen ved sin egenbevegelse (fig. 10 c). Forsøkene synes å vise at spalteåpningene minst må være 4—5 mm hvis slagregnet skal kunne trenge inn på denne måten. Også denne lekkasjeformen er særlig aktuell ved brede, vertikale spalter.

I de siste årene er det påvist en rekke tilfelle hvor slagregnelekkasjer kan føres tilbake til at lokale luftstrømmer har revet fuktighet med seg inn i veggen. Ofte skyldes dette at utettheter i indre del kan gi en lokal luftstrøm gjennom en del av en fuge eller spalt i ytre del (fig. 11 a). Et typisk eksempel på dette er nedre vindushjørner hvor tettelisten innenfor har luftlekkasjer akkurat i hjørnepunktene. Som nevnt tidligere forekommer det på høye vegger at luftstrømmen på enkelte partier kan være rettet oppover. Dersom den ytre veggflaten er svært glatt, f. eks. ved fasader av glass, aluminium og stål, kan denne strømmen blåse vannfilmen oppover veggen, slik at vi uventet får lekkasjer ved en overlappskjøt eller terskel (fig. 11 b). Vannets overflatespenning setter en omtrentlig, nedre grense på 0,5 mm spalteåpning også for disse lekkasjetypene.

Hittil er det bare sett på slagregnskader hvor trykkfallet over ytre del har vært ubetydelig. De

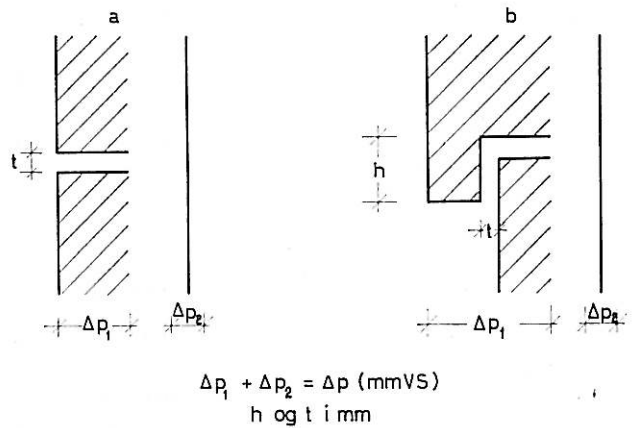


Fig. 9. Årsaker til slagregnelekkasje, systemskisse.

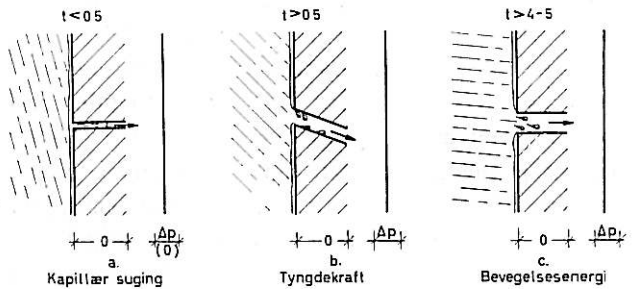


Fig. 10. Forskjellige årsaker til slagregnelekkasje.

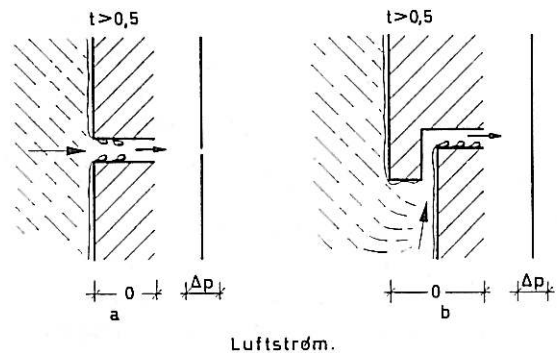


Fig. 11. Luftstrøm som årsak til slagregnelekkasje.

langt vanligste og farligste tilfellene av gjennomslag finner vi imidlertid der hvor et overtrykk er med på vanntransporten. I fig. 12 a ser vi det normale bildet for slike lekkasjer. Deltrykkene over ytre og indre veggdel er omtrent konstante i forhold til hverandre, og lekkasjemengdene avhenger av Δp_1 og t . Ved store spalteåpninger og høye deltrykk kan mengden av transportert vann bli betydelig. Er åpningene meget små, mindre enn $\frac{1}{100}$ mm, vil kapillærkreftene være så store at vindtrykket ikke lenger spiller noen rolle. Ved åpninger på 0,1—0,2 mm er kapillærkraft og overtrykk omtrent likeverdige. Blir åpningene meget store, er denne skadeårsaken sjelden aktuell, fordi luftlekkasjene gjennom ytre veggdel da gjerne blir så store at det ikke lenger kan dannes noe overtrykk over den.

Det er et meget viktig unntak fra denne regelen,

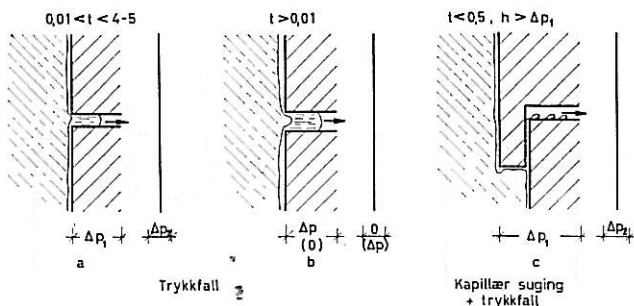


Fig. 12. Årsaker til slagregnelekkasje.

som stort sett bare er aktuelt ved fuger og oppløst vegg (fig. 12 b). La oss tenke oss en slik vegg, hvor ytre del bevisst er gjort meget utett for luft, mens indre del er meget tett. Trykkfallet vil da normalt være 0 over ytre del og Δp over indre del, slik at slagregnelekkasje ikke skulle kunne forekomme. Hvis nå veggen er meget høy og slagregnintensiteten spesielt stor, vil vannfilmen på nedre veggdel bli eksepsjonelt tykk. Filmen vil da kunne danne bro over alle åpninger i ytre del og lukke dem igjen. Vannhinnen er selvsagt helt lufttett, — meget tettere enn indre del kan være. Det skjer derfor en plutselig endring i trykkforholdene, idet det samlede trykkfall flytter seg fra indre til ytre del. Vann presses i store mengder gjennom åpningene, samtidig med at filmen brister og trykkfallet igjen flyttes over til indre del. Så bygges filmen opp igjen, og det hele begynner på nytt. Denne formen for lekkasje er lett å kjenne igjen p. g. a. den «pumpevirkingen» som man får.

Ved slagregnelekkasjer gjennom hele veggtykkelsen har gjerne flere av de nevnte årsakene vært medvirkende på samme tid. Det er f. eks. meget vanlig at vann trenger gjennom ytre veggdel ved tyngdekraft, bevegelsesenergi og luftstrøm og ledes frem til indre del. Her kommer så trykkfallet over indre del inn i bildet og transporterer fuktigheten gjennom resten av veggen. Fig. 12 c viser en annen vanlig form for kombinasjon av årsaker, en horisontal overlappskjøt hvor h er større enn Δp_i . Trykkfallet alene kan derfor ikke transportere vann inn i veggen. Hvis nå skjøten er så smal at den ligger i det kapillære området, vil imidlertid kapillærkraft og trykkfall summere seg opp. Sammenlagt vil disse kreftene kunne drive vannet over terskelen og inn i veggen.

V Tetting mot slagregn

På grunnlag av den analysen som ble gjort i forrige avsnitt over de ulike årsaker til slagregnelekkasjer, er det nå mulig å sette opp prinsippene for en vegg eller fuge som vil være tett mot slagregn. Hvis det enkle skjematisk bildet med den indre og ytre veggdel igjen brukes, viser det seg

at disse prinsippene kan sammenfattes i de tre løsninger som er gitt i fig. 13.

Den første av disse løsningene har tett ytre del uten åpninger av noen art som kan slippe vannet inn (fig. 13 a). For denne løsningen er det likegyldig hvordan trykkfallet fordeler seg over indre og ytre del. Nå er det selvsagt at absolutt tette veggflater ikke finnes i praksis, det vil i et hvert fall alltid forekomme porer og andre åpninger i det mikroskopiske område. Vi regner imidlertid med at veggen følger denne prinsippløsningen dersom den tilfredsstillende visse krav: Det må ikke finnes åpninger i overflaten som tillater skadelig vanntransport ved trykkfall, d. v. s. åpningene må ikke være meget større enn $\frac{1}{100}$ mm. Videre må overflaten og materialet i ytre del bare ha en begrenset kapillær suging. Det må ikke kunne suges inn så meget vann at isolasjonsevnen reduseres eller at frostsprengning eller andre former for fuktighetsskader kan oppstå. Det må også være balanse mellom mengden av innsugd vann og luftens uttørkingsevne på vedkommende sted, slik at det ikke kan akkumuleres fuktighet over lengere tid.

Fig. 13 b gir en løsning med fri åpninger i ytre veggflate og med det totale trykkfall over indre veggdel. Åpningene må være så store at det kan sees bort fra kapillær suging og så små at regndråpene ikke kan blåses inn gjennom dem. t må altså ligge mellom ca. 0,5 og ca. 4—5 mm. Det må ikke forekomme åpninger i indre veggdels vindspærre som kan være årsak til at den lokale luftstrøm driver vann inn gjennom åpningene. Veggen må til slutt være konstruert slik at det ikke kan forekomme plutselige omslag i trykkfallet p. g. a. uventet store slagregnmengder.

Fig. 13 c viser en tilsvarende løsning ved overdrekket fuge. Også her er det forutsatt at trykkfallet er 0 over ytre del og at åpningene ligger utenfor det kapillære område. Det er videre antydning rent skjematisk hvordan man kan sikre seg mot overraskelser ved ekstraordinære påkjenninger som eksepsjonelle slagregnmengder og lokale luftstrømmer oppover langs veggen.

Et nærmere studium av de tre løsningene viser at det er to hovedprinsipper som kan brukes ved tetting mot slagregn, et-trinns eller to-trinns tetting. Ved et-trinns tetting ligger trykkfallet over ytre del, eller med andre ord: vi bruker det samme vegg-sjiktet som både vind- og slagregnsperre. Det er karakteristisk for den massive veggen at den alltid må baseres på et-trinns tetting. Ved to-trinns tetting ligger imidlertid hele eller en meget vesentlig del av trykkfallet over indre del: vind- og slagregnsperre ligger i to forskjellige vegg-sjikt. Sjikt-delning er jo karakteristisk for den oppløste veggen,

og nå er det derfor mulig å komme med en entydig definisjon for de to hovedtyper av vegger: En massiv vegg er en vegg hvor det *må* brukes et-trinns tetting, en oppløst vegg er en vegg hvor det *kan* brukes to-trinns tetting. La oss også med det samme slå fast at fuger alltid kan utføres med to-trinns tetting, uansett om veggen er massiv eller oppløst.

To-trinns tetting forutsetter altså at trykkfallet over ytre del *alltid* skal være 0. Disse forutsetninger må holde under alle værforhold, også ved plutselige endringer i vindstyrken som støt og kast. Skal vi kunne oppnå dette, må det stilles et absolutt krav til utformingen av veggen eller fugen: Mellom indre og ytre del må det være et luftlag eller et luftkammer som står så effektivt i forbindelse med ytterluften at trykket innenfor slagregnsperren kan variere i takt med trykket utenfor. I senere foredrag vil det detaljert bli vist eksempler på hvordan en slik utforming kan gjøres.

VI Konklusjon

Det skulle fremgå nokså klart av det som er sagt hittil at tetting mot vind og slagregn i grunn er to forskjellige ting, men ett og samme problem. Det er nesten umulig, eller i hvert fall utenkelig, å lage en vegg som er tett mot slagregn uten at den samtidig blir gjort temmelig vindtett. Det kan derfor passe godt å runde av denne fremstillingen med noen eksempler på vegg- og fugekonstruksjoner hvor hele problemkomplekset kan bli diskutert.

I *fig. 14 a* har vi igjen den typiske massive veggen som altså må baseres på et-trinns tetting og hvor det nå stilles strenge krav til åpningenes og kapillærsugingens størrelse.

Fig. 14 b viser en oppløst vegg hvor det er brukt et-trinns tetting. Det ville være relativt enkelt å gjøre tettingen om til to-trinns ved å lage et luftsjikt innenfor betongen ved hjelp av lekter og diffusjonsåpen papp med klemte skjøter, og ved å sette dette luftsjiktet i forbindelse med ytterluft. Denne konstruksjonen ville ha to fordeler. For det første vil sikkerheten mot slagregnelekkasjer øke, og for det annet unngår man enhver risiko for kondens på betongveggen. Vi har her i landet en mengde gode vegger med et-trinns tetting, men vi må vel allikevel kunne slå fast at den riktige utførte to-trinns tetting er en sikrere løsning teknisk sett. Den bør derfor alltid velges der det er konstruksjonsmessig og teknisk mulig, d. v. s. ved praktisk talt alle oppløste vegger.

Dette synspunktet har enda sterkere gyldighet ved alle fuger. En et-trinns fuge, slik den f. eks. er vist i *fig. 14 c*, vil meget sjelden kunne gi en effek-

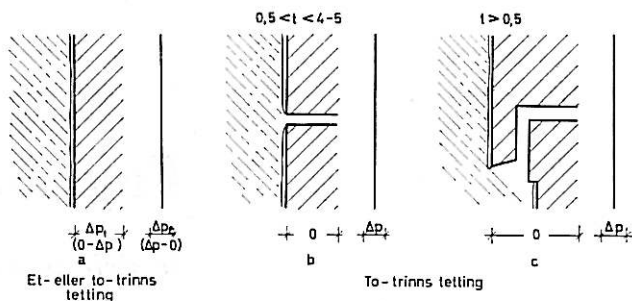


Fig. 13 Tetting mot slagregn, skjematisk.

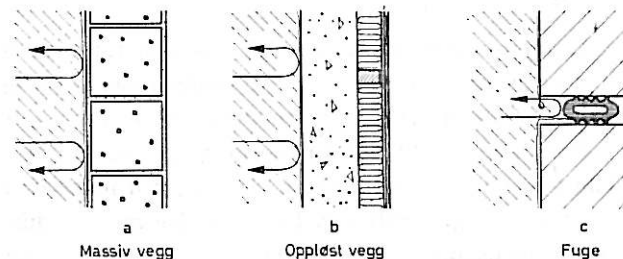


Fig. 14. Et-trinns tetting mot vind og slagregn.

tiv tetting. Det fulle trykkfallet står frem over en smal tetteliste eller kittstripe, og vann har erfaringsmessig en rent utrolig evne til å passere en slik hindring ved hjelp av overtrykk og kapillærsuging.

I *fig. 15* er det til slutt vist en del eksempler på to-trinns tetting. Her har skallmuren for så vidt en litt spesiell stilling, fordi den faktisk er en overgangsform mellom de to prinsipper for tetting. Full ventilering av hulrommet vil nemlig gi sirkulasjon av kald luft i mineralullen og økning av veggens

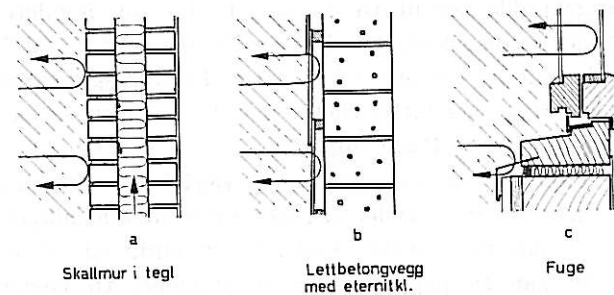


Fig. 15. To-trinns tetting mot vind og slagregn.

k-verdi. De fleste skallmurer er av den grunn utført med beskjeden ventilasjon, noe som fører til at det kan bli et visst trykkfall over ytre vange. Det bør derfor regnes med muligheten av lekkasjer gjennom denne vangen, og det må sørges for at alt vann kan bli ledet bort uten sjanse til å trenge lenger inn i veggen. Det er i det hele tatt et meget sunt prinsipp ved all slags to-trinns tetting å regne med at vann en og annen gang kan komme til å passere slagregnsperren. I de fleste tilfelle kan man da ta forholdsregler mot at dette vannet når luftspærren og dermed veggens sårbare partier.

Fugematerialer

Av sivilingeniør Tore Gjelsvik

Norges byggforskningsinstitutt

DK691.58/59

De materialer man har til disposisjon for tetting av fuger, kan inndeles i fire hovedgrupper, nemlig kitt, tettelister, dytt, samt papp, folie og tape.

Dytt i forskjellige former har vært særlig aktuelle for tetting mellom karm og vegg ved innsetting av vinduer og veggfelter. I forbindelse med vindusproblemene ble også tettheten av dyttede fuger undersøkt ved NBI i 1954/55.

Generelt kan man si at det er meget vanskelig, for ikke å si umulig å oppnå tilfredsstillende tetthet ved dyttede fuger. Tettheten vil avhenge av fugenes bredde og dybde, samt dyttingens utførelse, og en løst dyttet, smal fuge kan være vesentlig tettere enn en fast dyttet, men bred fuge. Dette gjelder for de vanlige dyttmaterialer: dyttetry, steinull dytteremser, samt dyttetry med tillegg av tjæredrev. Ved tilsvarende pakningsgrad slipper imidlertid en fuge dyttet med vanlig dyttetry igjennom 4 ganger så mye luft som en fuge dyttet med steinull. Steinull er også lettere å dytte med. Den gunstigste fugebredde ser ut til å være 1—1,5 cm. Smalere fuger er vanskelige å dytte godt, og bredere vil i alle fall gi for store lekkasjer. En forsegling av tjæredrev øker lufttettheten noe. Den er mest effektiv ved løst dyttede fuger.

Papp og plastfolier har hittil vært lite brukt som fugetettingsmateriale, til tross for at slike løsninger ofte kan være meget gode. Forutsetningen er at man kan få pappen klemt eller klebet til begge sider av fugen. Dette er forholdsvis lett ved relativt glatte flater som tre og metall, og i disse tilfeller vil papp være en meget brukbar tetting. Ved mer ru betongoverflater vil pappen i de fleste tilfeller være mer usikker, men vil likevel være av stor betydning.

Luftgjennomgangen i fuger av tre tettet med papp dreier seg om 0,5—1 m³/h pr lm fuge ved et overtrykk på 50 mm VS. Tilsvarende tall for fuger middels hardt dyttet med steinull ligger på 1,5—3 m³/h pr lm fuge, og for vanlig dyttetry 8—14 m³/h pr lm fuge.

Ved fuger tettet med papp har en tilleggstetting av dytt meget liten virkning.

Det er av meget stor betydning at papplaget som dekker fugen er helt. I de aller fleste tilfeller vil det lønne seg å bruke egne strimler over fugene og montere dem med tilstrekkelig slakk til å ta opp fugebevegelsene. Dette er lett tvers på fugen, men vanskeligere ved bevegelser i fugens lengderetning.

Ved utvendig tetting bør det brukes en god sterk forhudningspapp. Ved innvendig tetting diffusjonstett papp eller plastfolie. Foliematerialet må ikke være sprødt, da det ellers kan sprekke under montasjen.

Papp og foliemateriale levert i form av selvklebende tape burde være et egnet tettingsmateriale for mange konstruksjoner. Slik tape finnes for tiden i en rekke utførelser for forskjellige industrielle anvendelser, men har her i landet enda ikke vært å få i spesialkvaliteter for fugetettinger i bygningsbransjen. NBI har imidlertid undersøkt 10 forskjellige kvaliteter beregnet på andre formål. Det dreier seg om en forholdsvis enkel prøve med fuger mellom aluminium, tre og jern tettet med tape, utsatt for naturlig eksponering ved samtidige skjærpåkjenninger. Et par av tape-typene har gått fullstendig i oppløsning i løpet av kort tid. Andre igjen har gradvis tapt adhesjon, spesielt til tre og jern. Men det er 4 typer som har klart seg meget bra, så tape som fugetettingsmateriale har sikkert fremtiden for seg. Det er imidlertid atskillig arbeide som må utføres, spesielt med henblikk på varig klebning mot betong, før man kan gå til generelle anbefalinger.

Kitt og tettelister er de mest anvendte materialer for tetting av fuger med visse bevegelser. Kitt anbringes i form av en klebrig masse og fyller derfor lett opp alle ujevnheter og tillater betydelige toleranser. Tetting med kitt krever imidlertid meget omhyggelig utførelse av arbeidet for å oppnå et godt resultat. For enhver tetting med kitt uansett type gjelder at fugeflatene må være rene, samt frie for smuss, løse partikler, fett og olje. Dette betyr at man ikke kan utføre tetting med kitt i kaldt vær p. g. a. risikoen for kondens, rim eller

isdannelse på fugeflatene. Den laveste grense i praksis ligger på ca + 5 ° C. Ønsker man å arbeide med fugekitt ved lavere temperatur, bør man alltid konsultere leverandøren og få dennes godkjenning og eventuelle garanti.

Det finnes for tiden et antall kittprodukter med høyst varierende egenskaper. Klassifisering av produktene er meget vanskelig, men de nåværende typer kan oppdeles på følgende hovedgrupper:

1. Hurtig hårde kittmasser.

I denne gruppen faller f. eks. vanlig vinduskitt, som etter hvert blir fastere og med tiden fullstendig hårdt. Disse typer kittmasser er ikke egnet til tettning av bevegelige fuger, da de hurtig vil sprekke opp eller slippe mot fugekantene.

2. Plastiske kittmasser.

Denne gruppen er meget omfattende og spenner over en rekke forskjellige typer med høyst varierende egenskaper. Felles for dem alle er at de er utpreget plastiske og bare besitter liten eller ingen elastisitet. Sammensetningen er meget variabel. Bindemidlet kan være asfaltprodukter, tørkende vegetabiliske eller animalske oljer, mineralske oljer, andre ikketørkende syntetiske oljer og høymolekylære stoffer. Pigmenter tilsettes for å gi ønsket farge og fyllstoffer for å gi passende konsistens, samt et billigere produkt. En del typer inneholder også en del armeringsstoffer, som oftest i form av asbestfiber. De typer som inneholder tørkende oljer, danner i løpet av et par døgn en overflatehinne som sinker den videre uttørring av kittmassen. Hinnen vil med tiden bli ujevn og skrukket. De ikke hinnedannende typer vil ha en klebrig overflate som lett vil samle støv og smuss.

Alle de plastiske kittmasser vil med tiden bli fastere og stivere. Dette skyldes den uunngåelige aldring av de organiske bindemidler p. g.a. solstråling, høy temperatur, fuktighet m. m. Disse kittmasser burde derfor kalles «langsomt hårde kittmasser» og ikke *varig* plastiske eller elastiske. Levetiden vil være svært variabel for de forskjellige produkter. For de billigste og dårligste typer kan den være helt ned i et par år. Normalt dreier det seg om en 10—15 år. For enkelte nyere produkter hevdes det levetider på opp til 50 år, men disse tall er naturlig nok basert på rene gjetninger og bør derfor tas med en viss reservasjon.

De fleste plastiske kittmasser anbringes med kittsprøyte, en del med kittkniv eller for hånd. Noen anbringes også ved fylling eller støping etter oppvarming til høyere temperaturer, men kan selvsagt bare brukes i horisontalfuger. Støpemassene må her sies å utgjøre en karakteristisk undergruppe.

De plastiske kittmassers egenskaper som fugetetningsmateriale vil variere alt etter sammensetningen. Det er ofte vanskelig å få de nødvendige opplysninger, og man bør utvise stor forsiktighet ved valg av produkter. Produktenes navn og de opplysninger man får kan også være direkte misvisende. For enkelte plastiske kittmasser oppgis det således en bruddforlengelse på 200 % for det ferske materiale. Denne opplysning har imidlertid ingen som helst praktisk betydning. Strekkes et sådant materiale f. eks. 100 % og trykkes sammen igjen, vil det ikke gå tilbake til sin opprinnelige form, idet det har undergått en plastisk deformasjon. Og gjentas denne prosessen, vil det raskt føre til brudd. Det som har interesse, er det allerede materiales evne til kontinuerlig å ta opp fugebevegelser. I praksis kan dette dreie seg om helt ned til et par prosent av fugebredden. Det vanligste er ca 10 %. Enkelte fabrikanter fremholder riktignok både 25 % og 50 % for sine produkter, men man bør også her vise en viss forsiktighet.

Man må også passe på å få et produkt som kan klare alle de aktuelle temperaturer. Alle plastiske kittmasser er temperaturavhengige og blir mykere ved høyere temperaturer og stivere ved lavere temperaturer. Mykningen ved høyere temperaturer bestemmer gjerne den største praktiske fugebredde uten siging. Normalt dreier det seg om fugebredder på 10—15 mm, og bare et fåtall produkter kan brukes ved fugebredder på 20 og 25 mm. Det bør her også nevnes at en del plastiske kittmasser har vist seg å være utpreget tixotropiske, slik at de flyter ved vibrasjoner eller vindpåkjenninger.

Den laveste temperatur som kittet må klare uten å bli sprøtt, er normalt — 20 ° C, i enkelte strøk ned til — 40 ° C.

Fugedybden må være minst 6 mm for å sikre god adhesjon til fugekantene.

3. Kittbånd.

Dette er i virkeligheten fastere typer plastiske kittmasser, levert i form av ferdige bånd. De fremstilles med forskjellige tverrsnittsformer og leveres i ruller med et mellomlegg av papir eller plastfolie, som hindrer sammenklebing og støvansamling. Båndene har nemlig en klebrig overflate, men kleber best etter å ha vært under press en tid. Da de har en bestemt form og er relativt stive, stiller de visse krav til toleransene. De egner seg best for anbringelse under montering.

Kittbånd fremstilles på basis av polybutylene og andre ikketørkende oljer. Det finnes også kittbånd på basis av delvis vulkanisert butylgummi. Andre kunststoffbaserte typer er under utvikling.

Kittbånd brukes ofte i forbindelse med mere kostbare fugekitt for å redusere fuge dybden og forbruket av de dyrere materialer.

4. Gummielastiske fugekitt.

Disse har hittil vært fremstilt på basis av Thiokol polysulfider, og har vært levert som 2 eller 3-komponentstoffer. Basismaterialet er en tyktflytende pasta, og resten herderen, som oftest en blyperoksydpasta. De forskjellige komponentene blandes i riktig forhold like før bruken. Den ferdigblandede masse anbringes som oftest med kittsprøyte, men kan også anbringes med kittkniv. I løpet av en viss tid herder så massen til et gummielastisk produkt som rett og slett er en syntetisk gummi. Alt etter formuleringen kan man få masser med brukstid mellom 1 og 8 timer, de er smittefrie etter mellom 1 og 2 døgn, herdet etter 2 til 7 døgn og gjennomherdet (sluttherdet) i løpet av 1 til 3 uker. Høy temperatur og høy relativ fuktighet påskynder herdingen. Den høyeste tillatte brukstemperatur pleier å være 40 ° C. Ved lave temperaturer herder produktene meget langsomt, eller slettes ikke. De bør derfor ikke brukes under + 5 ° C. Ved lave temperaturer har man dessuten risiko for kondens på fugekantene, og ved de gummielastiske fugekitt er det meget viktig med rene og tørre flater for å oppnå tilfredsstillende adhesjon. Olje og fett må nærmest betraktes som livsfarlig.

Riktig brukt vil imidlertid disse produkter gi en gummielastisk tetning som hefter godt til de fleste materialer. Tetningene er utpreget elastiske, med en bruddforlengelse for det ferske materiale på opp til ca 750 %. Den praktisk anvendbare fugebevegelse er selvsagt atskillig lavere. Hittil har man ansett en utvidelse av fugebredden på 100 % for å være realistisk. Nå anbefales imidlertid jevnt over 50 %. Årsakene er vesentlig visse problemer man har hatt med adhesjonen til fugeflatene for det aldredde materiale. Om det gummielastiske fugekittet slipper mot fugeflatene, vil nemlig tetningen være spolert. Tidligere anvendte man relativt hårde typer, meget utpreget gummielastiske materialer med en hårdhet på 50—60 Shore A. Disse materialer stilte imidlertid meget store krav til adhesjonen. Nå anvendes det mest mykere typer med en hårdhet på 20—25 Shore A og med forbedret adhesjon, slik at adhesjonen er større enn kohesjonen, og utviklingen synes å gå mot enda mykere typer helt ned til ca 10 Shore A. Disse mykere materialer stiller nemlig mindre krav til adhesjonen, idet det skal mindre kraft til for en viss forlengelse. Dessuten har de mykere typer større plastisitet. Selv de gummielastiske fugekitt er nemlig plastisk/elastiske. De

får en varig deformasjon ved langtidsbelastning, slik at spenningene i materialet vil avta etter hvert.

Levetiden for disse produkter er fremdeles ukjent. Akselererte prøver indikerer imidlertid en levetid på minst 30—35 år, muligens så mye som 50 år.

Fugebredden må være minimum 3 mm, og kan for de fleste typer gå opp i 10—15 mm uten siging før herdingen. Fuge dybden må være minst 6 mm for å sikre god adhesjon til fugekantene. Etter herdingen vil materialene være elastiske ved temperaturer opp til over + 100 ° C og ned til — 50 ° C.

Et av de store problemene ved Thiokol gummielastiske fugekitt har for øvrig hittil vært blandingen av de forskjellige komponentene. Denne blandingen må utføres meget omhyggelig, ellers herder ikke materialet ordentlig. Et en-komponent materiale ville være å foretrekke, og slike har også vært laget. Til dels har det dreid seg om de vanlige typer, ferdigblandet på fabrikk og nedfrosset like etter blandingen. De tines da opp like før bruken. Dette har gått bra på steder hvor man har en fabrikk like i nærheten, men er ellers ikke noen varig løsning. En annen metode har vært å lage spesielle en-komponentstoffer med innebygget herder som først aktiveres når massen kommer ut i fri luft. Enkelte slike produkter finnes på markedet, men de må nok enda sies å være på utviklingsstadiet.

Et annet problem med Thiokolbaserte kittmasser har vært den høye prisen. Den dreier seg om ca 60—80 kr pr liter. Man bruker derfor gjerne billigere fugeutfyllingsmaterialer i form av kittbånd, mineralull dytteremser, strimler av trefiberplater m. m., for å redusere forbruket av de dyrere gummielastiske fugekitt. Man har også forsøkt å finne frem til andre, billigere og bedre produkter. Det har således vært laget kitt på basis av Neoprene, Hypalon, siliconer, polyuretaner, m. fl. De befinner seg imidlertid fremdeles på utviklingsstadiet.

Valg av fugekitt.

Det første man må gjøre når man skal velge fugekitt, er å beregne hvilke bevegelser man vil ha i fugene ved vekslende temperatur og materialfuktighet, vindpåkjenninger, setninger m. m. Deretter må man dimensjonere fugen etter den materialtype som ønskes benyttet. Med et billig plastisk fugekitt som bare kan ta små fugebevegelser, må man ha stor fugebredde, mens man med de mere kostbare elastiske fugekitt som kan ta større fugebevegelser, greier seg med en mye mindre fugebredde. Denne dimensjoneringsregel utjevner noe av prisforskjellen mellom de ulike produkter. Er fugebevegelserne store, vil det også lett kunne vise seg at de billigste produkter ikke vil være brukbare i det hele tatt,

fordi fugebredden må gjøres så stor at fugekittet vil sige ut av fugen.

Man må videre passe på å få et produkt med god adhesjon til de aktuelle materialer i fugekantene. Det finnes nemlig ikke noe universalkitt som kleber like godt til alle slags materialoverflater. Dreier det seg om porøse materialer som tre, tegl og betong, bør man også kontrollere at det ikke blir absorpsjon eller misfarging. Olje fra kittet vil nemlig lett kunne absorberes med det resultat at kittet tørker, krymper og taper adhesjon, samtidig som fugeflatene mørkfarges. Thiokolbaserte fugekitt inneholder ofte en tilsetning av fenolharts (for å forbedre adhesjonen) som kan forårsake stygge lyserøde misfarging på betong. Om det foreligger slike muligheter for absorpsjon eller misfarging, må fugeflatene smøres med en spesiell primer. Det beste er å konsultere kittfabrikanten.

Fugedybden må være tilstrekkelig til å gi god adhesjon til fugekantene. Ved dyrere fugekitt kan man som tidligere nevnt benytte et billigere fugeutfyllingsmateriale for å redusere fugedybden og forbruket av det kostbare materialet. Bruker man flere materialer sammen, bør man imidlertid alltid undersøke om disse går godt sammen og ikke angriper hverandre. Det beste er også her å konsultere kittfabrikanten.

Fugens form bør være slik at fugekittet lett kan byttes ut. Alle fugekitt aldres og har en begrenset levetid, og totalkostnadene vil være primærkostnaden pluss vedlikeholdskostnadene. Det kan i virkeligheten være dyrt å bruke et billig fugekitt om dette må byttes ut allerede etter et par år. Aldringsprosessen forsinkes om fugekittet beskyttes mot klimapåkjenninger, først og fremst mot direkte solstråling, samt vann og frost.

Når man sammenligner fugekitt prismessig, må man passe på å operere med literpriser og ikke kilopriser. Det er jo alltid et visst volum som skal fylles, og kiloprisene er ikke direkte sammenlignbare. Romvekten for fugekitt varierer nemlig svært meget, fra ca 1 til ca 2 kg/l. Mindre nøyeregnende fabrikanter kan lett lage et kitt med høy romvekt og lav kilopris ved å bruke store mengder relativt tunge fyllstoffer. Et slikt kitt vil imidlertid i praksis kunne bli atskillig dyrere enn en et annet med høyere kilopris og lav romvekt.

Tettelister.

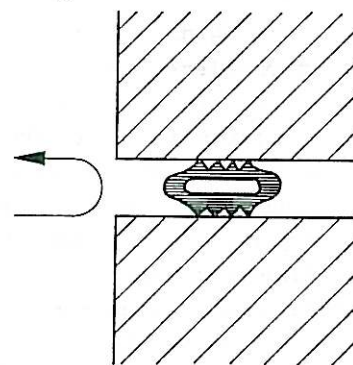
Disse baserer sin tettende virkning på en elastisk deformasjon, i motsetning til kitt som tetter ved at det kleber til fugekantene. Tettelister må følgelig stå under varig press for å kunne gi tilfredsstillende tetning. De stiller også visse krav til toleransene. Til gjengjeld stiller de mindre krav til fugeflatenes

renhet. Arbeidsomkostningene kan også være lavere.

Vi skal her dele tettelistene i to hovedgrupper. Den ene omfatter tettelister for montasjefuger, dvs. fuger mellom bygningsdeler som alltid har den samme innbyrdes plasing. Den andre omfatter tettelister for fuger mellom bygningsdeler som skal kunne bringes i varierende stilling i forhold til hverandre, først og fremst vinduer.

De fleste tettelister for montasjefuger utføres som hullister som presses inn i fugene. Et typisk eksempel vises i *fig 1*. Ved slike lister har man to hovedproblemer. For det første vil hjørnene og skjøtene være vanskelige å få tette. For det annet må toleransene holdes på et rimelig nivå. Teoretisk sett er det lett å oppnå fin tetting. I praksis risikerer man at maksimumfugen ikke gir tilstrekkelig sammenpressing av listen, mens listen helt enkelt ikke går inn i minimumfugen.

Fig. 1.
Tettelist i
montasjefuge.



Slike lister har hovedsakelig vært laget av to materialtyper, nemlig gummi og PVC-plast. PVC har den ulempe at den mykner ved høyere temperaturer og kan få varig deformasjon. Til gjengjeld kan skjøtene sveises på byggeplassen. Gummilister er mer rent elastiske, men må enten skjøtes på fabrikk eller monteres med åpne skjøter. Hittil er neoprengummi den eneste gummitype som har oppvist gode aldringsegenskaper.

Både plast og gummilister kan ekstruderes i alle mulige profiler. Listenes levetid vil forlenges om de monteres slik at de er beskyttet mot sollys.

Det finnes også en asfaltimpregnert skumplastlist for montasjefuger. Fugeflatene smøres med en spesiell asfaltprimer, listen klemmes sammen og presses inn i fugen og reiser seg selv til kontakt med fugeflatene. Listen gir imidlertid dårlig tetning, samtidig som aldringsegenskapene er meget slette.

Tettelister for vinduer er spesielt blitt undersøkt ved NBI. De krav man stilte var at listene skulle gi fullgod tetning ved en sammenpressende kraft på 10—12 kg/lm list, ta fugebreddevariasjoner på 2—4 mm, samt ha gode aldringsegenskaper og lang levetid. Det var dessuten ønskelig at listene skulle være lette å montere, helst uten spesialverktøy, utskiftbare, samt billige.

De undersøkte typer vises på *fig 2*. Type a—g er klemlister og type h og i slepelister.

Type a er skumplastlister på polyuretanbasis. De er selvklebende, enten med lim direkte på platen eller med et eget limbånd av plast eller tekstil. Enkelte typer har også et lerret eller filtlag på toppen. Listene er lette å montere, og de tar lett opp vindskjevheter m.m. De er imidlertid lite aldringsbestandige, tørker, krymper og til dels rett og slett forsvinner. Spesielt ugunstig er det ved de typer som har limbånd eller dekkbånd av lerret eller filt, idet disse krymper så mye at platen rives i stykker. Listene krever stor sammenpressing, ca 70 %, for å gi tilfredsstillende tetning. De får også varig deformasjon når de blir stående under press.

Type b er den tidligere omtalte asfaltimpregnerte skumplastlist.

Type c og d₁ er forskjellige typer skumgummilister. Noen er selvklebende, mens andre må limes og er litt mer tungvinte å montere. Lister med åpne porer er lette å trykke sammen. Lister med lukkede porer krever større kraft for å presses sammen, men behøver til gjengjeld bare liten sammentrykning for å tette. De er best egnet når toleransene er meget snevre. Naturgummilister har meget dårlige aldringsegenskaper. Dette gjelder spesielt lister med tekstildekkbånd. Syntetiske gummityper står noe bedre, men det er hittil kun lister av neoprengummi som har oppvist virkelig gode aldringsegenskaper.

Type d₂ er en PVC skumplastlist. Den undersøkte type måtte limes, hadde lukkede porer og behøvde bare liten sammentrykning for å tette. Aldringsegenskapene var også gode. Det må imidlertid her tilføyes at rent generelt vil aldringsegenskapene avhenge av materialkvaliteten. PVC med dårlig mykner vil kunne bli klebrig og krympe og aldres fort. Ved riktig sammensetning vil man imidlertid kunne få et bestandig materiale, slik som i den ene undersøkte type.

Type e og f er hullister av gummi eller PVC. Listene må enten monteres i spor, limes eller stiftes. Lister med tynt gods tar lett store variasjoner i fugebredden ved moderate krefter og gir god tetning. Aldringsegenskapene er avhengig av materialet. Det eneste som står godt er neoprengummi, samt PVC av god kvalitet.

Type g er lister av ull, bomull eller filt og må limes eller stiftes. Listene er uelastiske og vanskelige å presse sammen. De krever således snevre toleranser og gir likevel forholdsvis dårlig tetning. Aldringsegenskapene er imidlertid gode så lenge listene ikke blir våte.

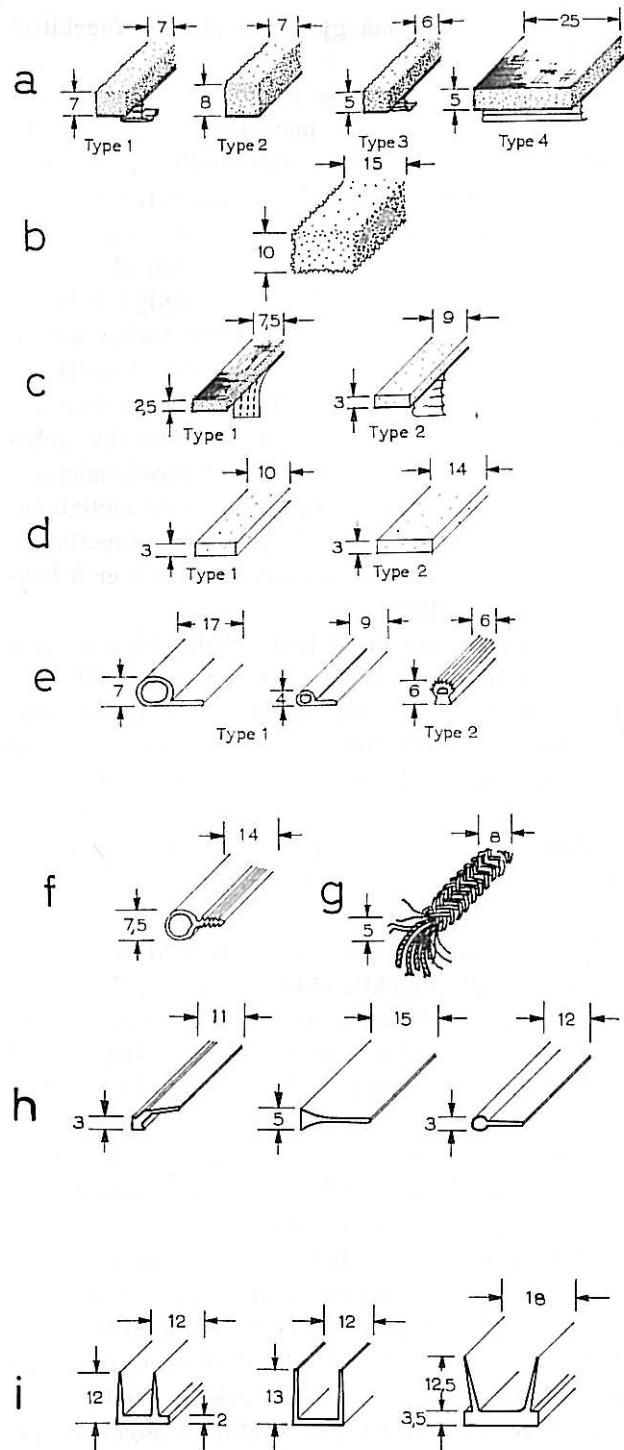


Fig. 2. Forskjellige typer av tettelist. Type a-g: Klemlister. Type h-i: Slepelist.

Type h og i er slepelister av gummi eller PVC. De må klemmes eller spikres og er noe tungvinte å montere. Listene tetter i seg selv godt, men det er lett å få lekkasjer i spor under listen. Likeledes er det lett å få lekkasjer i hjørnene, idet listene gjerne vil trekke seg sammen. Det beste er å feste listene nær hjørnene. Aldringsbestandigheten vil igjen variere med materialkvaliteten. Neoprengummi og PVC av god kvalitet er også her de typer som står best.

Fuger og fugeløsninger

Av arkitekt MNAL Trygve Isaksen,

Norges byggforskningsinstitutt

DK 69.022.9

En eller to hovedtyper av fuger?

Våre undersøkelser av vinduer eller ytterveggkonstruksjoner slutter alltid med at prøveobjektene må tåle en regnfull storstorm i 5 timer uten at vannet slår igjennom dem på noe sted. (Overtrykk 70 mm VS og påsprøyting ca. 8 l/m²h). Uværet tilsvarende Vestlandet på det verste. En mangel har forsøkene dog, temperaturen er alltid ca. + 20° C, og vi kan ikke innføre frysing og tining foran og etter vind- og slagregn på kjenningsene.

Skuffede konstruktører mener imidlertid at vi gjerne kunne nøyd oss med mer beskjedne saker av vind og regn også, på Østlandet kan jo været ikke bli så stygt. — Skulle man da operere med to forskjellige fugetyper, en som tåler til og med hardt kystklima og en som bare greier innlandsklima? Det norske marked er lite og både elementer og vinduer fremstilles i fabrikker hvor former, jiggoppstillinger, dyser for metallprofiler etc. koster ganske meget og som derfor burde vært benyttet til de ble slitt ut. En topp-standard fuge ville sannsynligvis være den beste løsningen for industrien, hvis det da ikke er mye dyrere å lage en alt tålende enn en noe tålende fuge. Det tror vi stort sett ikke det er, og ett vet vi sikkert, skader er ofte meget dyre å reparere hvis de da lar seg reparere uten å rive ned bygningsdeler. Selv om NBI i dag ikke vet 100 % sikkert om en gitt fuge vil tåle de og de slagregnmengder selv om vi har målt luftgjennomgangen på forhånd, har vi dog erfaringer for at konstruksjoner som er undersøkt med tilfredsstillende resultat også har greidd seg i praksis. Da få det heller tilgis at vi i enkelte tilfelle har tilrådet brukt litt mye materialer og tetninger.

Erfaringer fra egne forsøk og fra oppdragsforskning.

Vår uvitenhet om fugler er ikke helt håpløs, vi greier stort sett å lage sikre fuger når vi har litt dybde å gå på, og vi gleder oss særlig når vi kan få til den prinsipielt riktige fugeløsningen med

regnfrakk, ventilert hulrom og luftsperrsjikt. Vi er imidlertid usikre på størrelsen av hulrommet bak regnfrakken, vi aner dog at formen på hulrommet har noe å si. Vi vet at fugens grad av lufttetthet betyr meget i de fleste tilfelle. Gjennomslag av vann får vi oftest i forholdsvis grunne konstruksjoner, helst i slike hvor der av en eller annen grunn ikke er laget en regnsperre som hindrer regndråpene i å fyke usplittet innover i fugen. Eksempler har vi bl. a. i rene aluminiumsvinduer hvor dybden gjøres så snau som mulig p. g. a. materialprisen, hvor hulrommet bak ytre steg er trangt og hvor fugen mellom ramme og karm er åpen ytterst. (Svingvindu uten omslagsprofil). I *fig. 1* ligger den ytre kammertetningen svært nær åpningen og kan treffes av regn, og vi vet at regnet må hindres i å treffe lufttetningen eller i å flyte inn til den. Det er da nødvendig å plasere ekspansjonsrom og avdrypp på utsiden av lufttetningen. Vi vet videre at fugen må kunne dreneres seg selv mens vinden står på, og dreneringen må lages slik at vannet ikke kan trenge inn på tetningen lenger nede i konstruksjonen. En åpen, drenert fuge er vist i *fig. 2*. Vi vet ikke hvor mye vann en slik drenering kan holde stand mot. Alt som er nevnt her har med fugens utforming å gjøre.

Tettemidlet skal tåle påkjenninger i lang tid og må kunne skiftes ut lett. Konstruksjonens sammenføyninger må være tette, slik at vannet ikke

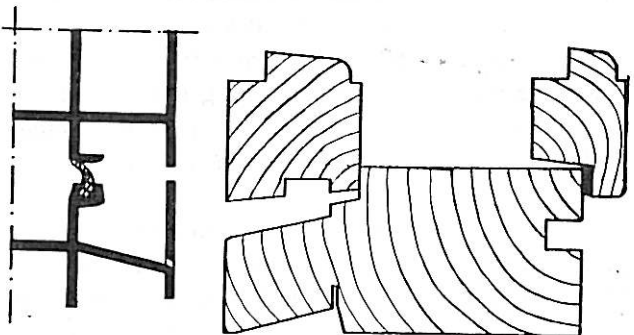


Fig. 1.

Fig. 2.

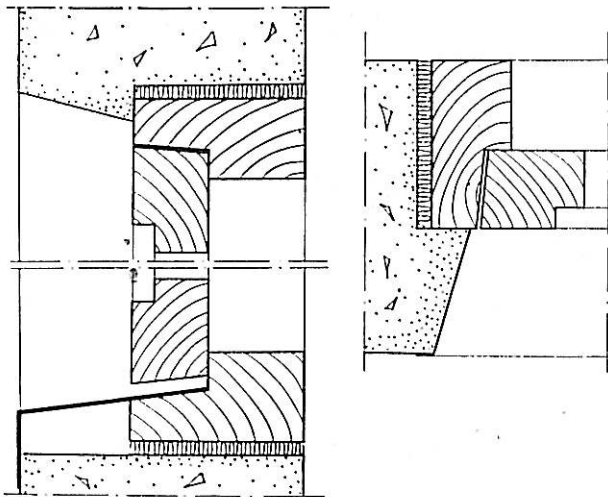


Fig. 3.

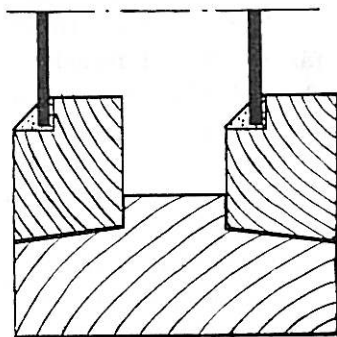


Fig. 4.

spaserer rundt selve fugetetningen. Og et enda viktig krav: Hele konstruksjonen må gjøres slik at kondensvann ikke hopper seg opp i fugen. Vi har sett at vi må unngå *omramninger som er slik utformet at de samler opp og leder vannet inn mot fugene*, se fig. 3.

Her viser engelske forsøk at inntrukne vertikale fuger i ellers glatte flater p. g. a. sidevind tar inn opptil 20 ganger så mye vann som de kunne ha fått ved regntreff rett forfra. Forsøkene støttes av egne erfaringer med metallelementer i høybygg. Vann har lett for å samle seg ved vertikale profiler og så flyte inn ved hjørner og sammenføyninger som er de svake punkter. Vi *vet* at vi *ikke* må plasere tettemidlet ytterst i fugen, fullt utsatt for sol, vind, regn og smuss selv om selgere av tettemidler gjerne hevder det motsatte. Vi *vet lite* om hvordan de forskjellige tettemidlene oppfører seg når de dekkes mot sol og regn, og vi må gjenta at det da er et krav om at de må kunne skiftes ut lett og erstattes med nye. Til slutt et råd til konstruktører:

Vi *vet* av bitter erfaring at vannet kan ta lange og underlige veier før det kommer inn i rommene. Konstruksjoner som iflg. snitt-tegninger lot til å være bra gjennomtenkt, har vist seg å lekke friskt på bygget.

Dette kommer av at snitt-tegninger ikke viser alle rare punkter i sammenskjæringer, i hjørner. Man må derfor lage modeller av hjørner og intrikate detaljer i full målestokk slik at man kan få rettet feil før produksjonen settes i gang.

Eksempler fra praksis.

Fuger i og omkring trevinduer.

Trevinduer skulle man tro vi kunne lage hos oss, i hvert fall med vanlige ut- og innadslående sidehengslede rammer. Vi har norske standarder for typene, og resultatene av NBI's undersøkelser er offentliggjort år etter år. En god del fagfolk har selv sett den apparaturen vi undersøker vinduene i, og hittil har ingen protestert hverken mot forsøksmetoden i seg selv eller mot prinsippene vi etter hvert har kommet frem til når det gjelder tegning og utforming av fuger. Hvorfor godtar så byggherrer og entreprenører dette vinduet? *Fig. 4.*

Når rammene trutner, henger de i falsene, det er umulig å få lukket dem, og det er følgelig vanskelig å få dem tette mot vind ved hjelp av tettelister.

Fugen mellom ytterramme og karm virker som en kapillar, og siden bunnfugen sjelden har god helning utover, har vannet lett for å trenge over anslaget som i grunnen er den eneste hindringen vannet møter på veien innover. Det hører med i bildet at anslagene er lave, og de såkalte «eldre, erfarne» snekkere som liker dette vinduet har i hvert fall i dette tilfelle rett i at det ikke går an å høvle rammene på undersidene. Våre forsøk viser at slagregn kommer igjennom fugene selv ved forholdsvis uskyldige vindstyrker. Det er kombinasjonen av kapillar-virkning og lave overtrykk som virker på vannmengdene som tetter igjen den ytre fugen. Vi har sett eksempler på at kitting av ytre fugeåpning har hjulpet en tid. Vannmengdene som trengte inn etter at kittet var sprukket opp var imidlertid større enn de byggherren var plaget med før kittingen. Dette kommer vel av at kittet, tross sprekkene, hindrer i hvert fall noe av vannet i å trenge ut igjen, og at vindtrykket etter hvert får et helt vannreservoar å virke på.

Ville vinduet, som det er, bli tettere mot slagregn om det kunne tettes bedre mot vind? Neppe mye tettere, fordi det alltid vil komme vann i ytre fuge og fordi vannhinnen mellom ramme- og karmflater er tettere enn våre tettelister. Man får da omtrent hele overtrykket over hinnen eller den vannfylte del av fugen, og vannet beveger seg fortsatt innover. Vinduet har imidlertid ennå to svakheter som virker i samme retning: Det har lett for å råtne både fordi vann blir stående i ytre

bunnfuge, og fordi vanndamp fra boligen så lett kondenserer på ytre rute og flyter ned i fugen. Underramsstykket blir altså stadig stående vått. At man ikke kan se ut av vinduet om vinteren fordi kondensvann eller is dekker nedre del av ruten, hører med i bildet.

Nå kan også det mer utviklede standardvinduet NS 761 i *fig. 2* oppvise noenlunde de samme kondensplager, selv om man bruker tettelisten på indre ramme. Kondens og isdannelse kan bli ganske stygg når vinduet står i hus med åpen trappeforbindelse mellom etasjene og med fyring og vask i 1. etasje. Hvordan skal man bli kvitt kondensplagene i slike tilfelle? Vi vet ikke annen råd enn å slippe tilstrekkelige mengder kald, tørr luft inn mellom rammene. Da må man enten lage tilstrekkelig store luftspalter i ytre ramme eller i anslagene eller rett og slett åpne ytterrammen på gløtt. Jeg har selv prøvd begge deler og selvsagt funnet at en mengde små huller i treverket ikke hjelper stort. Det å holde ramma på gløtt virker fint, og gløttet skal bli ganske stort før jeg får kondens på innsiden av innerruten. Nå må jeg gjøre oppmerksom på at mine stuevinduer i 2. etasje oftest ligger på lesiden.

Er NS 761-vinduet bedre enn det vi presenterte i *fig. 4*? Mye bedre. For det første vil det gå an å lage sikker plass for tettelist i overfalsene, og man kan lukke begge rammene fordi de bare har anslag. Ytre anslag er forholdsvis høyt, og man kan hvis det er nødvendig, høvle noe av rammen uten at det går særlig ut over tettheten. Se *fig. 2*.

Fugene i NS 761. Vinduet er bevisst utformet for å motstå slagregn. Bunnfugen er så åpen ytterst at det normalt ikke kan danne seg en vannhinne som forbinder ramme og karm. Vann fra rammen kan heller ikke komme langt innover før den solide rillen i underkant tvinger det til å dryppe ned på karmen. Vann på underkarmen dreneres lett ut av fugen fordi karmen heller ut og ned, det kan ikke flyte lenger inn enn til den første terskelen hvis vinduet bare slipper moderate mengder luft igjen. Tettelisten ligger langt unna faresonen og vil da kunne stå i mange år om materialet i listen er godt. Folk liker oftest ikke den åpne fugen ytterst, den ser så utett ut. Fyrvesenets vindu i *fig. 5* er imidlertid et godt eksempel på hvor åpen fugen må være for at den skal holde stand mot virkelig harde påkjenninger. Prøver man å tette ytre fuge, får man gjennomslag ganske fort.

Det koblede utadslåede vinduet NS 763 er stort sett en utmerket konstruksjon som burde brukes oftere enn nå. Det er fint i slagregn, det skal mye damp til før man får kondens på ytre glass idet spalten mellom rammene på alle sider munnar ut

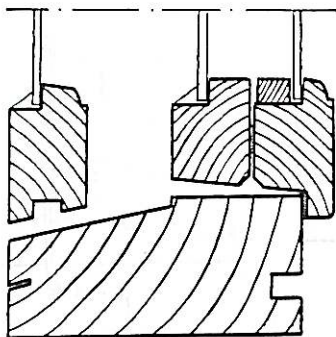


Fig. 5.

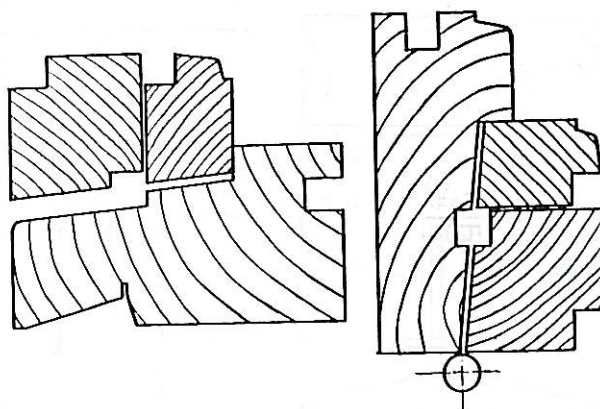


Fig. 6.

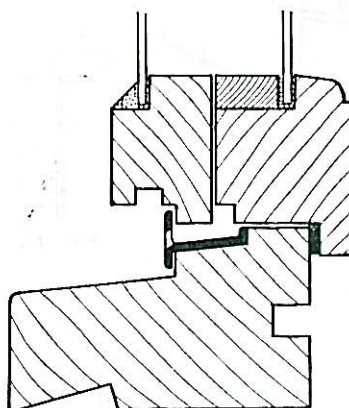


Fig. 7.

mot kaldluften. Terskelen i underkarmen kunne likevel gjerne vært laget 3 mm høyere. Se *fig. 6*. Vinduskarmen bør ha spor i forkant for sålbenkbeslag.

Det innadslående, koblede og sidehengslede vinduet iflg. NS 764, *fig. 7* er formet ut fra de samme hensyn som de tidligere standardvinduer. Her bores imidlertid hullene ofte for små, de må i hvert fall gjøres minst like store som standarden krever, nemlig 5 mm i diameter. Svenskene har løst fugeproblemet i det innadslående koblede vinduet etter samme prinsipper som i NS 764. De bruker imidlertid ikke metallbeslaget som regnskjerm, men

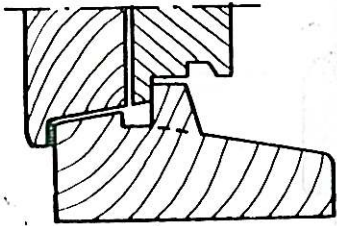


Fig. 8.

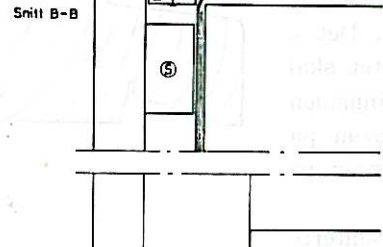
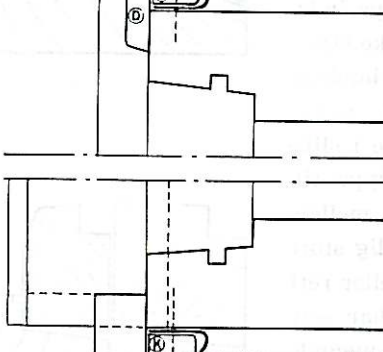
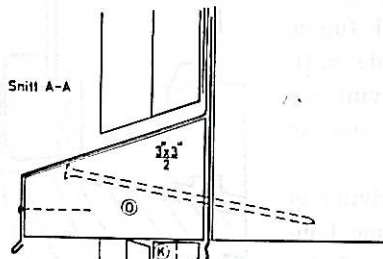


Fig. 12.

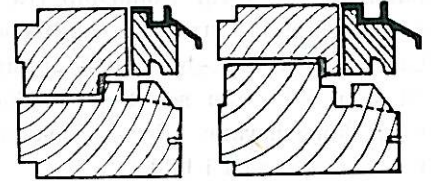


Fig. 11.

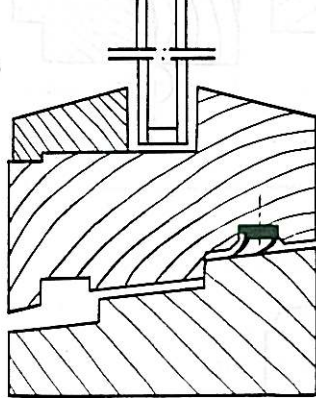
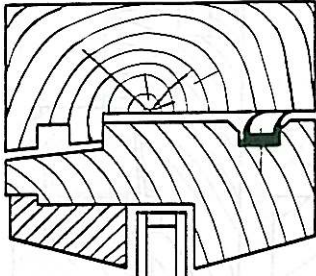


Fig. 10.

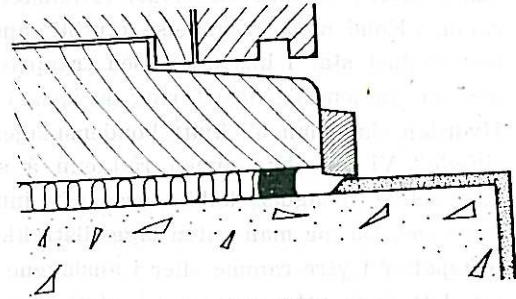


Fig. 13.

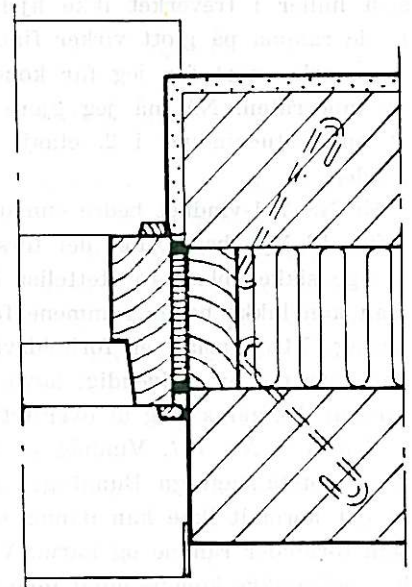


Fig. 14.

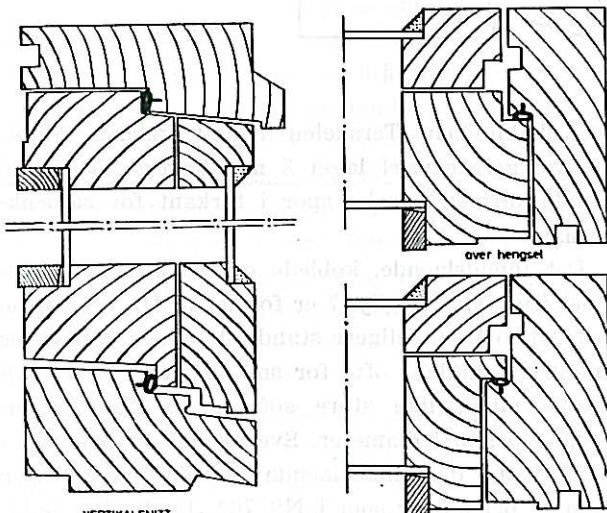


Fig. 9.

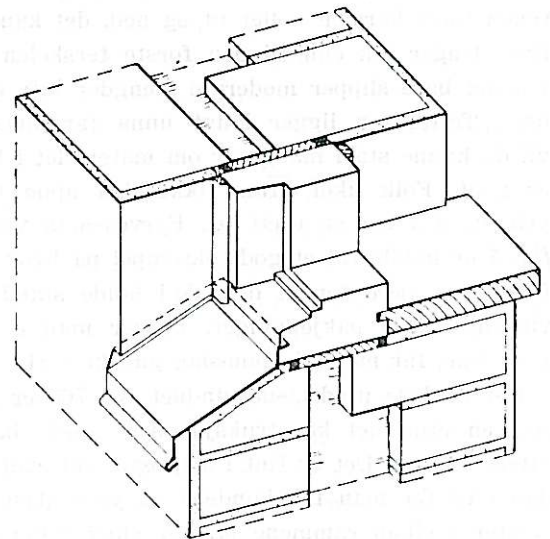


Fig. 15.

utformer en drenert rille i underkarm som vist på *fig. 8*. Det er vanskelig å si hvilket vindu som er best av de to, jeg skulle anta det norske er litt sikrere mot slagregn siden skinnene ligger på en avsats høyere enn ytre del av karmen.

Horisontale svingvinduer har vi undersøkt ofte i de senere år, *fig. 9* viser en type hvor en rørformet PVC list er festet til et spor i karmen. Listen er plassert nokså langt ute i fugene, men den er beskyttet meget godt av skikkelige avdryppskanter i rammene og av høye terskler med godt hellende flater utenfor. Alle beslag er plassert på innsiden av tettelisten som vris rundt hengselpunktene der profilene skifter i sidekarmene.

Fig. 10 viser et svingvindu med dobbel slepelest. Konstruktøren har tenkt på tettelisten i åpningsøyeblikket, avfasingene i rammen gjør at leppene ikke brekkes så lett når de blir liggende dobbelt i fugen. Måten å feste listen på er også ganske sikker. Hjørnene er de svake punkter idet slitasjen her er størst og tilgjengelig slagregnmengde er ofte like i nærheten \circ : vannet kommer nedover sidekarmene mot hjørnene.

Fig. 11 viser igjen et godt svensk eksempel, denne gang et svingvindu med vertikal akse. Vinduet er undersøkt med utmerket resultat. Det er slett ikke lett å utforme bunnfugen skikkelig, vannet har lett for å trenge inn over karmen der rammen åpnes innover. Tettelisten løper uavbrutt rundt karmen og er bare forskjøvet i vertikalplanet der den skifter med profilene ved omdreiningspunktene.

Innsetning av trevinduer i trevegger, mur- og betongvegger.

I byggedetaljbladene finnes en rekke bra detaljer. *Fig. 12* viser innsetning og omramning av et standardvindu iflg. NS 761. Det vesentlige punkt er at en ekstra pappremse festes over fugen rundt hele vinduet ved hjelp av dekklist. NS 761 er ikke fulgt helt i utformingen av underkarmen, idet sporet for sålbenken på undersiden er vekk. Forsøk har vist at sporet ga slagregngjennomgang bl. a. fordi lufttetningen måtte avbrytes der sålbenken kommer inn. Sålbenkene har fått god helning, men blikkenslagerne liker seg best når beslaget ikke blir ført rett inn i sagskåret, de vil senke sålbenken noe. Dette holder jeg med dem i.

Jeg henviser forøvrig til byggedetaljblad (21). 601, 602, 603, 604, 605 og 606, når det gjelder innsetning i andre typer trevegger.

Det vil fremgå at papp er et både godt og billig tettemiddel for fuger i trevegger fordi vi kan få klemt pappen godt inntil treverket ved hjelp av lekter og spiker.

Anderledes er det i betong- og murvegger, hvor

derfor tettelister og fugekitt vil bli brukt i fugen og som regel plassert utenfor varmeisolasjonen.

Fig. 13 viser en innsetning i betongvegg hvor der er god plass til luftrom foran tettemidlet som her er fugekitt. Det er lett å sprøyte inn kittet.

I byggedetaljblad (21). 608 gis en rekke eksempler på innsetning i skallmur. Den vanligste innsetningsmetoden er vist i *fig. 14*. Her er brukt to kittstrenger idet man har gått ut fra at det kan komme luft inn i fugene via det store, luftede hulrommet. Hvor mye luft vi kan få inn har aldri vært ordentlig undersøkt. I samme detaljblad er vist hvordan sålbenken skal utformes, og hvordan pussens avsluttes i smygene mot oppbretten på sålbenken, *fig. 15*. Her slurves det mye av murerne, pussens blir gjerne ført rett ned på sålbenken og rives i filler når beslaget beveger seg p. g. a. temperaturvariasjoner. Sålbenker av stein foretrekkes av mange, men få vet hvordan det skal tettes skikkelig rundt dem, og vi har sett en del gjennomslag. Byggedetaljblad (21). 608 viser en brukbar løsning hvor steinhellen er senket med øvre kant under fugen mellom karm og vegg. Fugekitt sprøytes inn mot dyttingen før dekkbeslaget festes på underkarm. Se *fig. 16*. Jeg er redd mange arkitekter synes omramningen er for klumpete, og fortsetter med svakt hellende stein lagt i spor under vinduet.

Fugeløsninger for betongelementer.

Betongelementer har vunnet innpass i Norge i de senere år, vi støtter oss kanskje mest til danske erfaringer. Elementene er meget brukt i de øst-europeiske land og i Frankrike. Ingen av fugeløsningene som brukes der, passer i vårt klima, løsningene tar ikke nok hensyn til slagregn i kraftig vind. Fremstillingsteknisk ligger imidlertid disse land langt fremme.

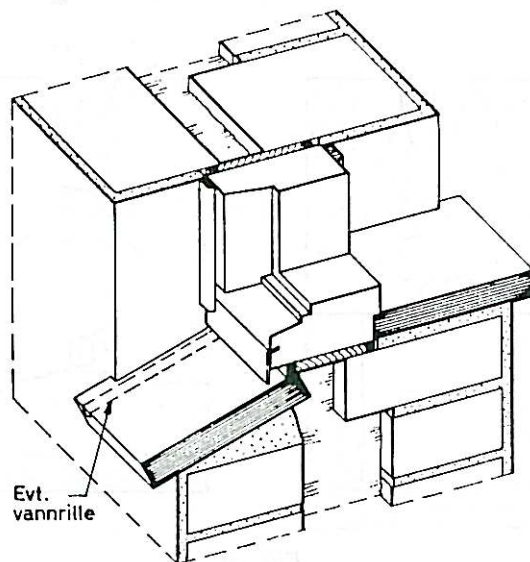


Fig. 16.

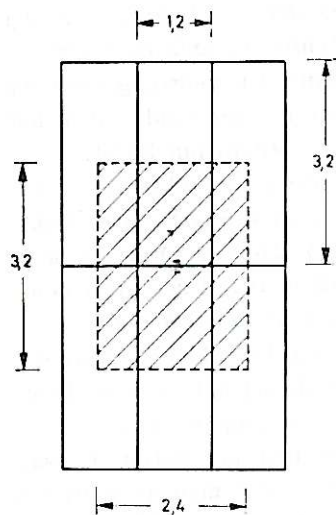


Fig. 17.

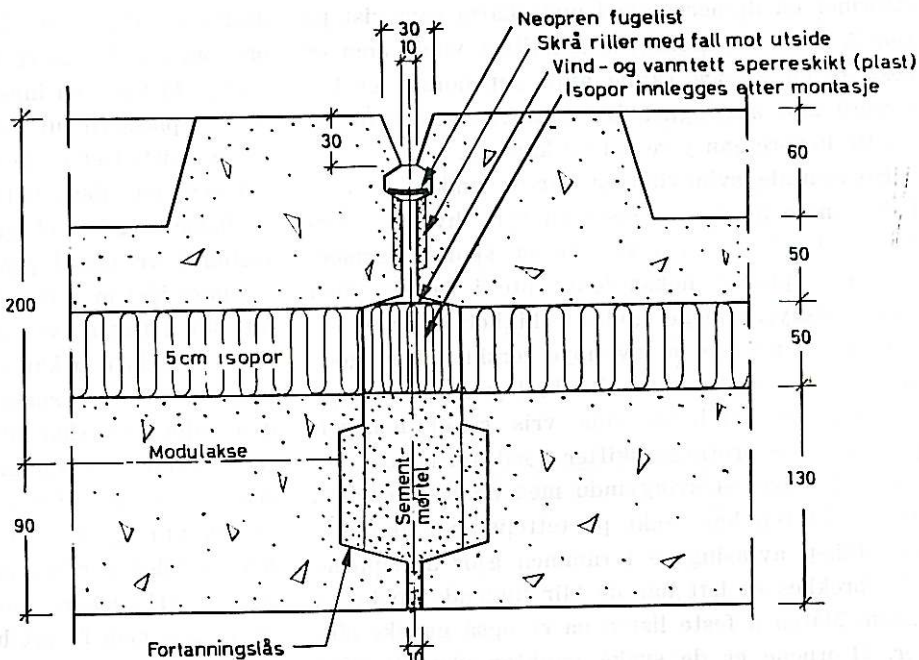


Fig. 18.

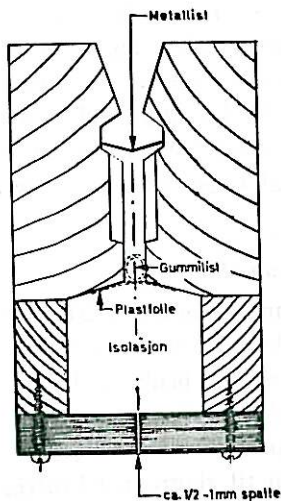
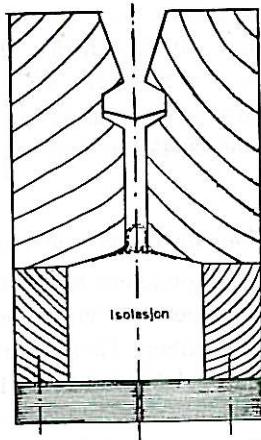
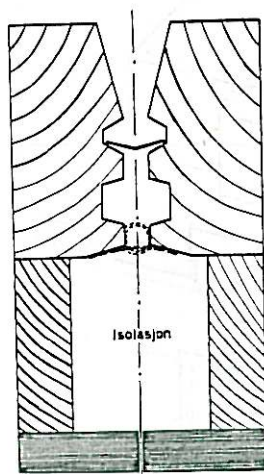


Fig. 19.

Fuge 1 med skråriller.



Fuge 2 uten skråriller.



Fuge 3.

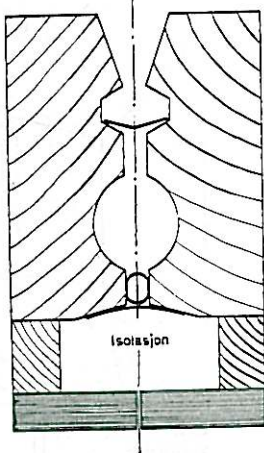


Fig. 20.

Fuge 4.

Fugene mellom elementene bør gjøres så vind-tette som mulig, tettheten vil avhenge både av tettemidlet og toleransene.

En sammenlikning med en ny, moderne bindingsverksvegg vil vise hvilke minstekrav vi må stille til luft-tettheten.

En bindingsverksvegg lekker gjerne mindre enn $2 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ ved overtrykk = 70 mmVS (tilsvarende vindhastighet ca. 33 sek.meter). Et utsnitt av veggen på $8,64 \text{ m}^2$ gir da en luftgjennomgang ca. $17,3 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$. En elementvegg av samme størrelse, fig. 17, også uten vinduer med elementmål $1,2 \times 3,2 \text{ m}$ har fugelengde ca. 14,4 m. Lekkasje pr. fugemeter blir $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$ når elementveggen skal være like tett som treveggen. Det er slett ikke lett å få fugene så tette, vi må ty til fugekitt eller rørformede kunstgummilister (jfr. siviling. Gjelsviks artikkel i Bygg nr. 2).

I betongelementer bør man ikke lage for mange skjøre kanter i fugeflatene, men man kan få til fugeflater som vist i fig. 18, 19 og 20. En konsulent ba NBI velge den beste av 4 noe forskjellige vertikalfuger, og NBI utførte da orienterende prøver med ytre skalldelere i lakkert treverk. Fugene kunne ikke gjøres høyere enn 1 meter. Hensikten med forsøkene var å finne hvilken fuge som ga størst motstand mot slagregn og hvilken lufttetning som i dette tilfelle var den beste. Nå måtte vannet dreneres ut av fugene før det kom inn i varmeisolasjonen, vi kunne da nøye oss med å bruke det ytre skall + isolasjonen og bygge bakre skall som en kasse. Isolasjonen fikk sin riktige tykkelse siden den skulle utgjøre den eneste tetningen i noen av alternativene. Tettemidlene var:

Steinull (varmeisolasjonen) alene eller sammen med *plastfolie* eller *hul neoprene-list*. Den ytre regnsperren skulle være av kunstgummi, men vi hadde ikke en slik list og formet et sinkbeslag i stedet.

Fuge nr. 1 har bare en vertikal rille i ytre skall, men dessuten skråstilte riller som skal lede vann utover igjen. Fuge 2 = fuge 1, men uten skrårillene. Fuge 3 og 4 har to vertikale riller i ytre skall. Skallets tykkelse ved fugene er 10 cm i fuge 3 og 13 cm i fuge 4. Formen på indre riller varierer noe.

Luftlekkasjer.

- a) *Steinull* alene ga lekkasjer fra 7—22 m³/hm ved overtrykk = 70 mm vannsøyle og variasjonene er absolutt ikke følge av dårlig arbeid, tvert i mot, studentene som utførte forsøkene veide *steinullen* og passet på å ha like mye i fugen hver gang. I praksis vil en så jevn dytting aldri forekomme.
- b) *Steinull* og *plastfolie* ga lekkasjer fra 2 til 12 m³/h m selv ved meget nøyaktig utført arbeid. Hvis folien kunne limes til baksiden av ytre skall, var det greit, men dette er umulig fordi hele elementet i praksis er støpt ferdig før det monteres. Dette fikk vi vite etter at forsøkene var utført. Luftgjennomgangen er altså ukontrollerbar med folie presset mot skallet.
- c) *Hul neoprene-list* ga lekkasjer fra 0,6 til 2,5 m³/h.m med et gjennomsnitt under 1,0 m³/h.m ved 70 mmVS overtrykk. Holder vi oss til 14,4 m fugelengde, blir da lekkasjene under 15 m³/h for 8,64 m² elementflate (jfr. tidl. eksempel).

Slagregngjennomgang.

- a) *Regnnskjermen alene* i fugene. I fugene 1, 3 og 4 fulgte vannet skjermen og føk bare inn i fugen nær bunnen hvor vannmengdene var blitt så store at de dekket åpninger mellom beslag og «betong». Fuge 2 hadde fullt gjennomslag fra topp til bunn. Vi vet dessverre ikke nok til å kunne forklare denne markerte forskjell.
- b) *Ingen regnnskjerm — bare steinull*. Alle fuger lekket ved 10 mm overtrykk: frisk bris. Det nyttet ikke å redusere fugebredden fra 10 til 5 mm.
- c) *Regnnskjerm av metall — steinull vindtetning*. Fugene 1, 3 og 4 holdt de hardeste påkjenninger i 4 timer og var fullstendig tørre, mens fuge 2 ga gjennomslag ved bare 10 mm.
- d) *Regnnskjerm av metall — plastfolie og steinull vindtetning*. Fugene 1, 3 og 4 var tørre etter 4 timers hardkjøring, fuge 2 lakk i de nederste 15 cm.
- e) *Regnnskjerm av metall, neoprenelist og steinull*

vindtetning. Samtlige fuger var tørre etter 4 timers hardkjøring.

- f) *Regnnskjerm av steinullremse, neoprenelist og steinull vindtetning*. Samtlige fuger tørre etter 4 timers hardkjøring, *steinullremsen* var ikke en gang våt på baksiden.

Konklusjoner:

- 1) En ytre regnnskjerm er nødvendig når fugene er så brede (10 mm).
- 2) *Hule neoprenelister* kan tette samtlige fuger mot vind og slagregn så lenge fugene er så jevnt brede som i forsøket.
- 3) *Plastfolie* er ikke god nok vindtetning når den presses mot ytre skall ved hjelp av *steinull*, men luftlekkasjene er ikke så store at regnet slår igjennom i fugene 1, 3 og 4. Fuge 2 lekker fordi den mangler dreneringsmulighet innenfor ytre kammer. Når regnnskjermen blir liggende litt løs, vil vannet komme inn på indre flate i ytre rille og kunne flyte mot den trange fuge-delen hvor tetningen sitter. Vannet har der trykkfall til hjelp for videre inntrengning.
- 4) Av ovenstående følger at fuge 2 helst ikke bør brukes i noe tilfelle.
- 5) Fuge 1 med hellende riller bak ytre kammer har ikke gitt bedre resultater enn fugene med dobbelt sett riller, og siden vannet ikke trengte igjennom det ytre kammer når fugene var tettet med neoprenelist eller plastfolie, skulle dreneringen av de horisontale fugene kunne gjøres like effektiv i to-rille elementer som i elementer med 1 rille plus skråriller.
- 6) Det er billigere å lage former med 2 vertikale enn med 1 plus mange skrånende riller.

Da forsøket ble utført visste vi ikke hvordan horisontalfugen skulle utformes, den er vist i *fig. 21*.

Her er terskelen uten videre høy nok til å motstå et hvert slagregngrep forfra. Det verste som kan hende er at terskelen, som er ganske tynn, blir utett eller får hakk eller sprekker under transport eller montering. Det er om å gjøre å holde den horisontale sprekken såpass åpen i fronten og ved terskelen at vi ikke får noen kapillarvirkning.

Dere ser at det er temmelig vanskelig å få inn noen neopreneliste som vindtetning bakerst i ytre skall. I praksis blir hulrommet gjerne fylt med Leca som dekkes av med en pappstrimmel som tres ned i hulrommet ovenfra. Selve lufttetningen er her mørtelen i bakre del av fugen, pappen foran Leca-grusen gjør ikke store virkningen. Vi har gjort forsøk med et fullstendig fugekryss av denne typen. Resultatene stemte meget bra overens med modellforsøkene, luftgjennomgangen var midlertid svært stor pr. fuge-meter når bakre tetning var

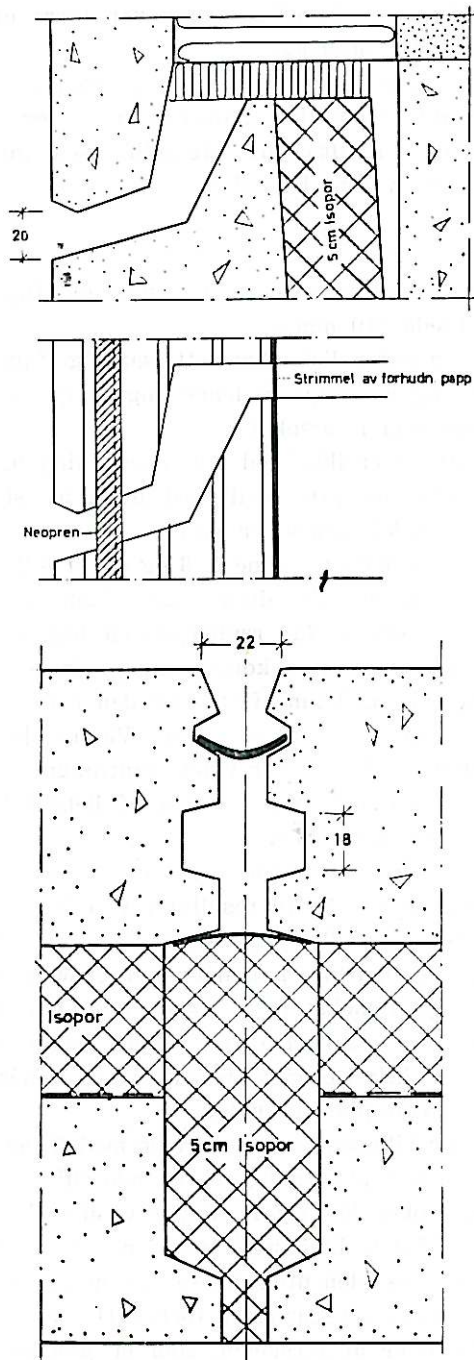


Fig. 21.

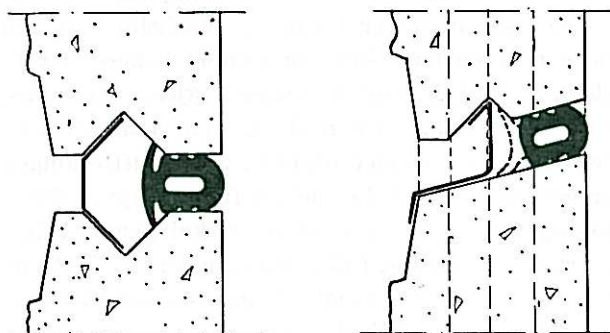


Fig. 22.

fjernet, og vi fikk da vann inn bak pappen akkurat på de steder hvor vi fjernet bakre tetning. Man må håpe at mørtelen i fugen ikke sprekker opp, eller at man finner et annet, lettere utskiftbart tettemiddel i indre fuge. Skulle man tette fra utsiden, måtte man utforme fugen anderledes, som vist i neste eksempel. Fig. 22 viser et meget enkelt system hvor bl. a. terskelen i toppen av hvert element er erstattet med et beslag. På tegningen er den vertikale rille romslig og fin, men når fugen er noe for romslig for beslagene, vil de bli trykket bakover mot listens vinger, og regnet vil komme inn på disse. I horisontalfugen er beslaget noe lavt, og det vil kunne sprute vann over kanten og inn på den horisontale tettelisten. Et usikkert punkt er utformningen av dryppekanten foran horisontalbeslaget, det kan tenkes at vann flyter innover her og kommer i forbindelse med bøyen på beslaget, at det oppstår en kapillarvirkning som i forbindelse med lufttrykk leder vannet over kanten. Forsøk viste da også at det var horisontalfugen og krysset som var mest utsatt for gjennomslag. Gjennomslagene kom først etter vel 2 timers køring i full storm. Vannet hadde imidlertid fuktet ekspansjonsrom og indre fugeedel (rundt listen) også mange andre steder enn der gjennomslagene kom. Gjennomslagene artet seg som små dråper som kom farende med stor fart der det var oppstått små, konsentrerte luftlekkasjer mellom list og betong. Vi undersøkte bare ytre skall, og manglet altså den ekstratetningen som dyttingen, varmeisolasjonen og fuggingen av det indre skall vil kunne gi. Det er da temmelig sikkert at vi ikke ville fått konsentrerte punktlekkasjer om hele elementet var blitt tatt med. Men det kom vann inn til tettelisten både i den horisontale og den vertikale fugen, selv om luftgjennomgangen totalt sett var svært liten. Det er da nærliggende å prøve å endre fugen noe. Vertikalfugen bør muligens utformes som et mer firkantet kammer, og greier man nå å holde avstanden mellom regnskjerm og bakvegg i dette kammeret konstant, vil man være sikrere mot innflyting av vann rundt regnskjermen. Tettelistfabrikanten sier at det ikke er noe i veien for å feste skjermen i neoprenelisten bakenfor ved hjelp av skruer. Fig. 23 viser en mulig utforming av horisontalfugen. Horisontalfugen er i opprinnelig forslag ikke for lett å drenere, vann vil lett bli stående bak beslaget og mot tettelisten. Om vi som i fig. 23 lager en indre avsats for tettelisten og litt rom mellom listen og beslaget også her, tror jeg mye ville være vunnet. Horisontalskjermen kunne da evt. festes til tettelisten på samme måte som vertikalskjermen, evt. med avstandsstykker. Beslaget bør også heves litt fra under-

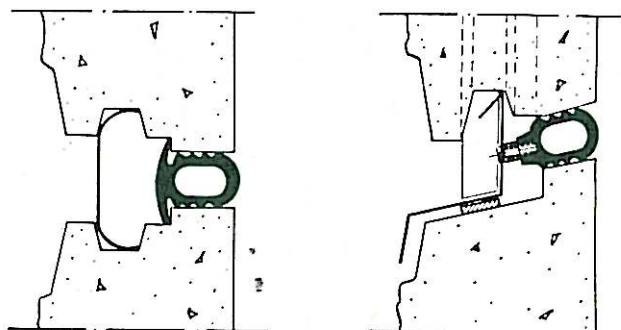


Fig. 23.

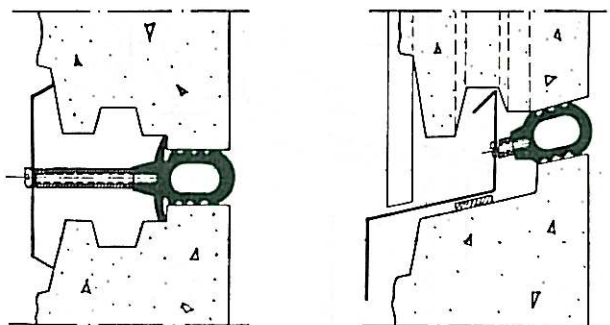


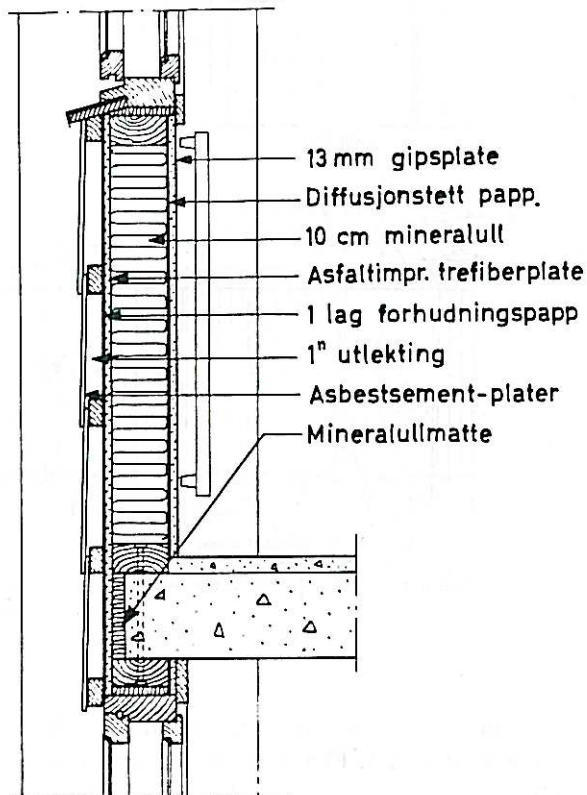
Fig. 24.

laget for at evt. inntrengt vann kan renne ut. — Forslagene mine vil komplisere støpingen noe mer enn originalforslaget gjorde, men jeg tror fugene er sikre med de små forandringer som er gjort. Det er gjort noen forsøk på å lage ytre kammer større ved å legge trelisten utenpå elementene. Selv om regnet gikk igjennom også under disse forsøkene, varte det meget lenge før gjennomslagene kom, og de var meget små. Elementene som ble undersøkt ved hjelp av tremodeller, hadde fuger utformet i utstikkende ribber. Den siste fugeløsningen viser at elementenes ytre overflater har skråflater som heller inn mot fugene fra vertikale flater. Det er uten videre klart at den siste løsningen vil være mer utsatt for sidestrømmer i vannfilmen på veggen enn den første. Det kunne da være en idé å la den vertikale regnskjermer ligge utenpå fugen, som vist i *fig. 24* hvor dette måtte passe arkitekten.

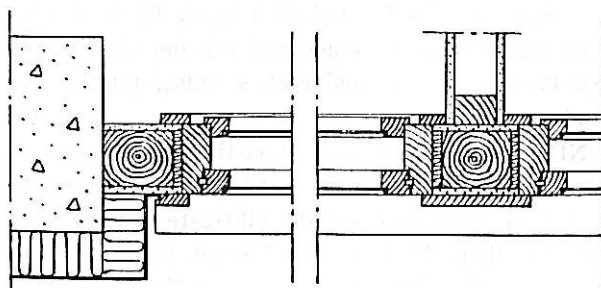
Fuger i og omkring elementer av tre.

Det sies at over halvparten av boligblokkene som nå reises i Oslo har dekker og bærende innervegger av betong, men yttervegger av tre. Det samme systemet brukes også andre steder, *fig. 25* er hentet fra Ålesund. Vindsperrer er her av forhudningspapp, det er ingen særlig vanskelige tetteproblemer, unntatt hvor sålbenken under vinduskarmen bryter igjennom tetningen.

Fig. 26 viser et forslag til veggelement utarbeidet av NBI. Forslaget er ett av flere presentert i instituttets håndbok nr. 11: «Ikke bærende yttervegger». I dette tilfellet monteres ytterkledningen på stedet, man har god plass til fugetetningen som her er platestrimler. Vi er usikre på ett punkt, nemlig forholdet mellom åpningsbredde (mellom fasadekl. platene) og avstanden inn til tetningen. Imidlertid kan man iflg. gummifabrikantenes utsagn feste et utenpåliggende beslag i selve tettelisten som vist på *fig. 27*, derved unngår man samtidig vanskeligheten med variasjoner i ytre fugebredde. Om løsningen vil passe arkitekten i det enkelte tilfelle, er en annen sak.



Vertikalsnitt



Horizontalsnitt

Fig. 25.

Fuger i og omkring metallelementer.

Metallelementene virker ofte svært innviklede når de presenteres i snitt-tegninger, og det har forekommet tilfelle der både byggherren, hans rådgivere og konstruktøren er kommet på vidvanke. Nå har vi brukt metallelementer så lenge at de

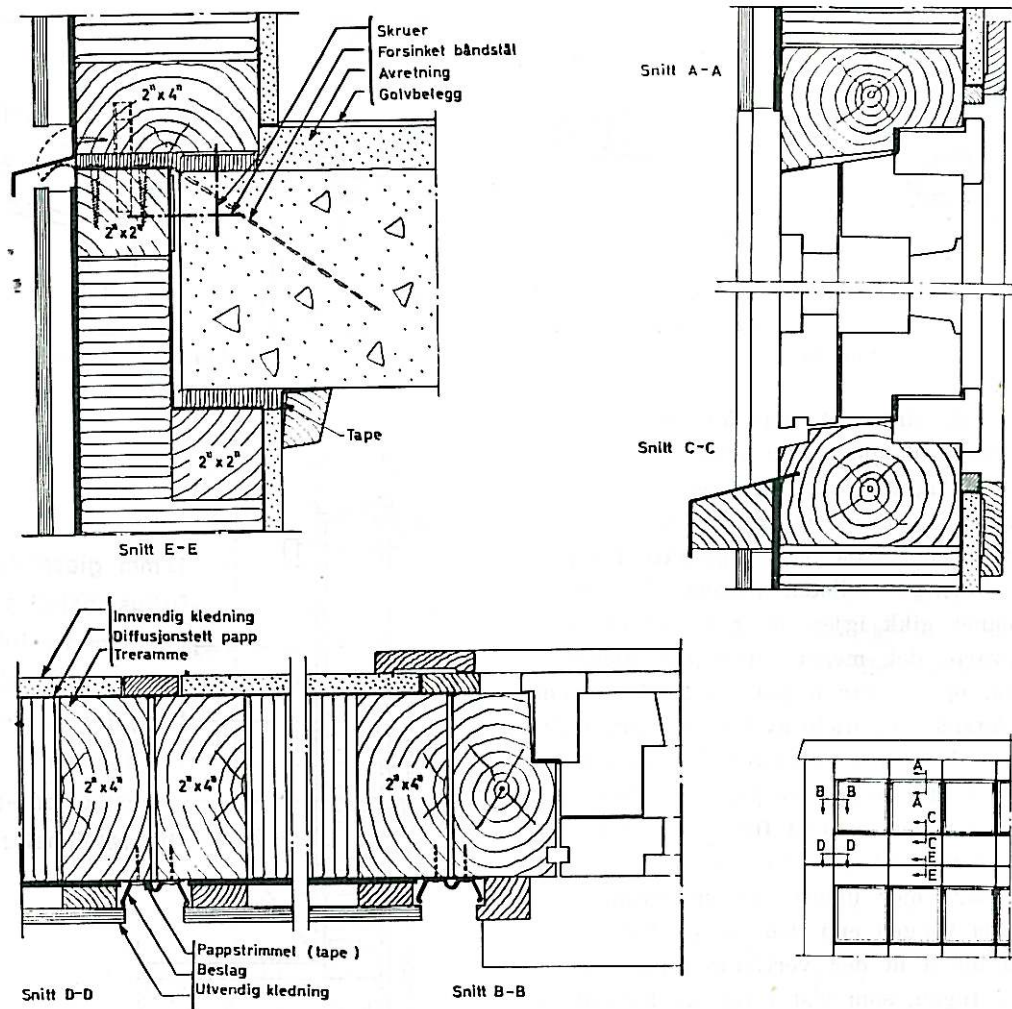


Fig. 26.

fleste firmaer opererer med noenlunde standardiserte konstruksjoner. Firmaene må da kunne levere modeller av de viktigste detaljer, bl. a. av fugene enten sammen med anbudet eller på arkitektens evt. anmodning etter anbudsåpning. Er man etter å ha sett modellen fremdeles i tvil om elementenes brukbarhet, bør de undersøkes m.h.t. tetthet mot vind og slagregn.

NBI har dessverre bare kort-tids erfaringer med elementvegger av metall, instituttet har undersøkt meget få elementer og de viktigste fugene i og omkring dem. Vi har ikke kunnet undersøke elementene i full høyde, eller en samling elementer, og kan dessverre ikke uttale oss om hvordan fugene og tetningene oppfører seg når det oppstår bevegelser i fugene p.g.a. vind eller vekslende temperaturer. Jeg vil anbefale dere å lese en serie artikler i det engelske tidsskriftet Architects Journal for 1960. Artiklene heter Light Cladding og forfatteren er R. Michael Rostron. I artikkelen om fuger, som kom ut i april 1960, tar han med resultater fra egne undersøkelser av 67 engelske

bygninger og nevner også amerikanske erfaringer med kitt-typer og tettelister.

Våre erfaringer kommer fra få bygg. De viser følgende:

- 1) Man må regne med at store vannmengder renner nedover glatte vegger med god fart, og vi har sett at 60—70 l/h kan passere felter på en meters bredde i de nederste etasjer i høybygg. Inne ved veggen vil vinden alltid måtte bøye av, både til sidene og også oppover. Sidevind vil tvinge regnfilmen over mot vertikale lister, rammer og profiler som stikker fram foran vegglivet. Regnfilmen vil langs profilene omdannes til tykkere, konsentrerte vannstrømmer som vil overbygge smale luftesplater og små huller på sin vei nedover.

Vi har sett at det kan gå mye vann inn i elementene gjennom små huller og spalter. I fig. 28 er vist en brystning hvor glassplatene nede hviler på klosser og på sidene er dekket av små, tynne profiler. Disse profilene var ikke festet med skruer, de gled nedover, og vannet

kom da inn gjennom hullene over listene på siden av glasset. I dette tilfelle lå glasset an mot en lav terskel bakom, og vannet overflømet terskelen og trengte videre innover.

Spalten under brystningsglasset er smal, men den holdt vannet ute under prøving når vannmengdene lå på 8—10 l/m²h og når feltets lufttetning var god. Nå bør man regne med at luftgjennomgangen i slike konstruksjoner kan bli større med årene, slik at man tar i når det gjelder høyder av vannstoppere etc. Spalten under brystningsglasset holdt ikke de store vannmengder stangen, vi hadde inntrykk av at vannet fylte spalten helt til det flommet over terskelen bak.

Hvis man skal ha kittfri innsetning av brystningsglasset, må man øke spalten under glasset til 7—9 mm, men samtidig huske på å forhøye terskelen bak til 6—7 cm. Glasset kan henge i hemper festet til terskelen hvor dette er mulig å få til, se fig. 29.

- 2) Det er viktig at elementets hovedsammenføringer er luft- og vanntette, og at denne tetningen ikke oppnås ved hjelp av kitt. Ingen noenlunde billig kitt-type vil kunne holde i mer enn 7 år (iflg. engelsk-amerikanske erfaringer) når den skal tette til dels store huller som oppstår mellom sammenstøtende, ulike profiler. Vær videre oppmerksom på at det er vanskelig å skifte ut kitt i vriene sammenføringer, og at byggherren må betale selve arbeidet med utskiftningen.

Vi vil da anbefale enten sveising av hoved-

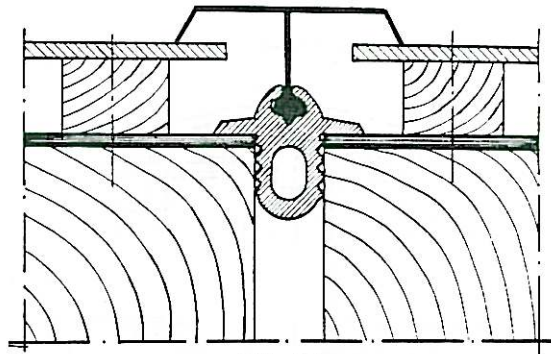


Fig. 27.

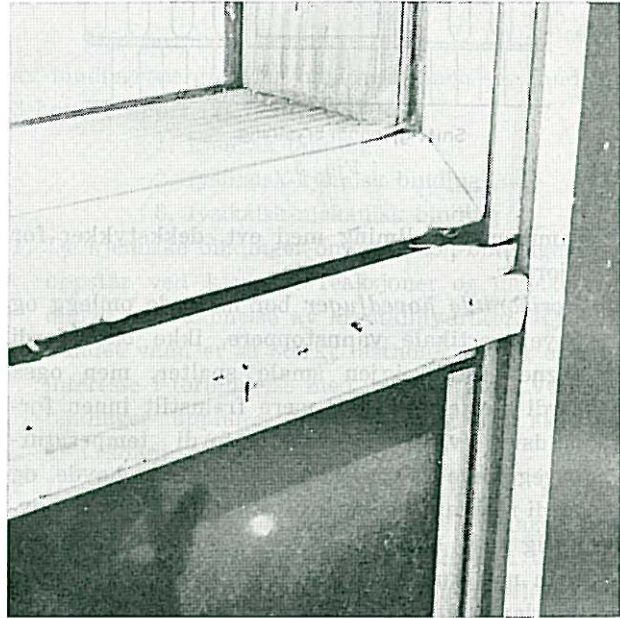


Fig. 28.

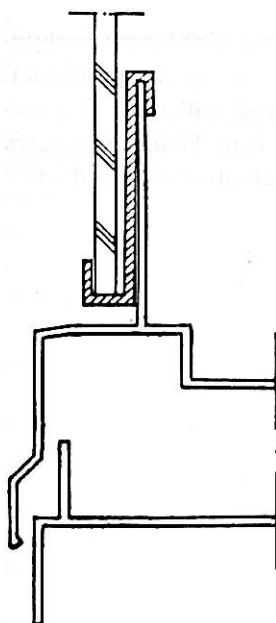


Fig. 29.

Vann kommer under det vertikale dekkprofilet i hjørnene og trenger ned i brystning via slisser for vertikallprofiler

Vann væter kork og siler ned i brystningen for endene av horisontalprofil.

Spiker satt ned i hull hvor horisontalprofil ikke løper inn i greft i vertikalprofil.

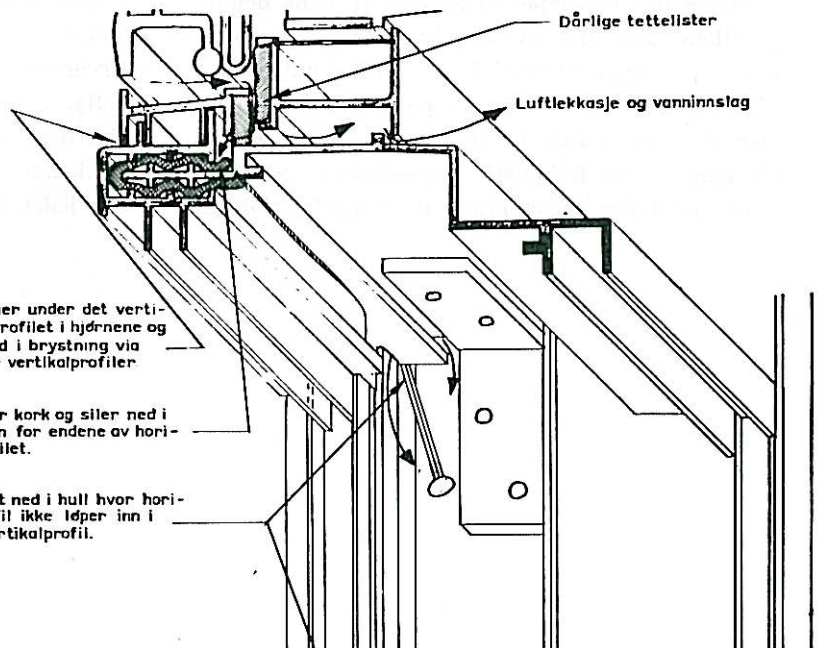
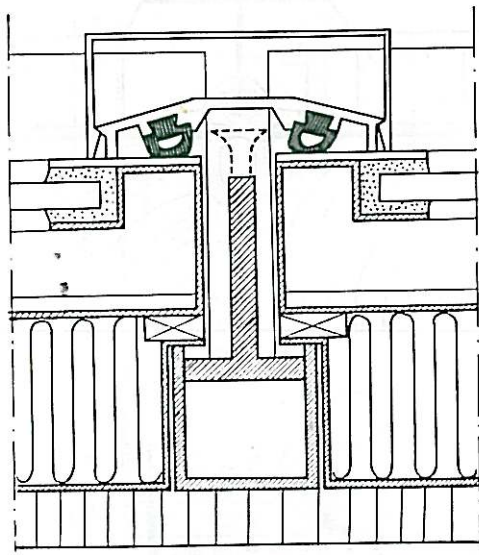


Fig. 30.



Snitt gjennom brystning.

Fig. 31.

rammer eller liming med evt. dekkstykker for hjørner.

- 3) *Horisontale hovedfuger* bør ha gode omlegg og høye, vertikale vannstoppere, ikke bare fordi regnet tetter igjen smale spalter, men også fordi elementene kan være fremstilt innen forholdsvis vide toleranser, fordi temperaturbevegelsene er store i hovedrammens høyde, og fordi montasjearbeidet ofte ikke kan gjøres nøyaktig nok. Forskyvinger i høyden på 1 cm vil man nok kunne se på et høybygg. I *fig. 30* er overlappningene for snaue og tetningen vanskelig å få god nok utenfra eller innenfra.
- 4) *Vertikale hovedfuger* bør gjøres tilgjengelige for reparasjons- og utskiftningsarbeider. Et forholdsvis bra eksempel viser *fig. 31* hvor dekkprofilene kan tas av for hver elementhøyde. Her er prinsippet: regnskjerm — luftet hulrom — vindtetning fulgt et stykke på vei. Stålprofilet som er sveiset fast til dekkene og som bærer elementene, må imidlertid varmeisolereres på innsiden, man får i vårt klima noen vindavkjøling

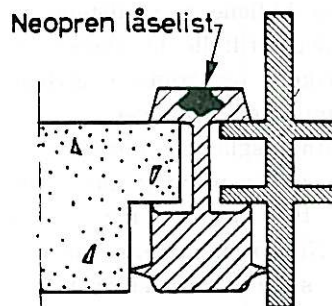


Fig. 32.

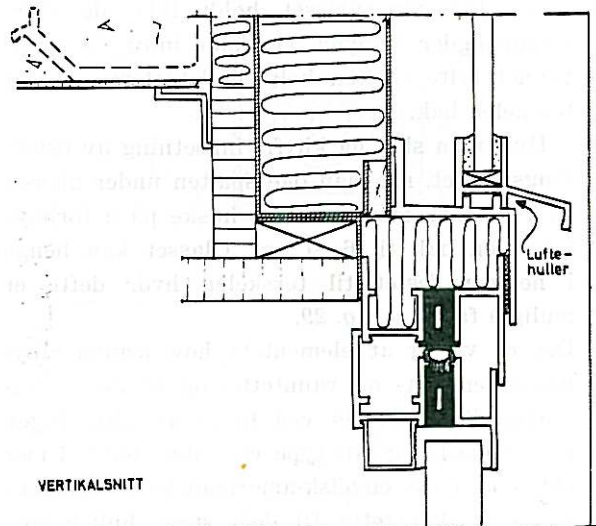


Fig. 33.

både på sidene av isolasjonskassene og av bæreprofilet, selv om man dytter hele vertikalfugen full av steinull.

Amerikanerne mener at neoprenelistene alene kan utgjøre hele tetningssystemet og plasseres ytterst i veggen. *Fig. 32* viser en løsning med låselist.

- 5) *Drenering* av elementer må planlegges omhyggelig, *fig. 33* viser en løsning av problemet. Her dekkes forholdsvis små huller av et fremstikkende profil, vannet som kommer ovenfra blir ledet forholdsvis langt utenfor vegglivet.

Hva vet vi idag om fuktighetstransport i byggematerialer?

Av sivilingeniør Annanias Tveit

Norges byggforskningsinstitutt

DK 691:533.275

I Innledning

Flertallet av de vanlig anvendte byggematerialer er kapillarporøse kolloider, hvor partiklene i den disperse fase oppviser en mer eller mindre stiv struktur. Alle deres egenskaper er bestemt av den molekyllare vekselvirkning mellom det faste grunnmateriale og det omgivende medium. Således er en rekke av de viktigste materialeegenskapene avhengig av fuktighetsinnholdet og av hvordan fuktigheten er bundet i materialene. Blant annet kan nevnes fasthet, volumbestandighet, varmeledningsevne, frostsikkerhet osv.

Fuktige byggematerialer er flerkomponentsystemer hvor de prosesser som foregår ved fukting, fuktighetstransport og uttørring ikke bare avhenger av de forskjellige komponenters energitilstand, men i høyeste grad også av formfaktorer. De porøse materialers kompliserte oppbygning er svært vanskelig å beskrive. Det lar seg ikke gjøre rent geometrisk, men derimot muligens ved hjelp av statistiske metoder [1]. For beskrivelse av materialstrukturen benyttes vanligvis eksperimentelt bestemte karakteristiske størrelser som porevolum, total adsorpsjonsflate, korn-, fiber- og poreradier, porevolumets fordeling m.h.t. poreradien osv. For enkelte materialtyper lar strukturen seg anskueliggjøre ved hjelp av modeller hvor de faste partiklene, porene og kapillarene har elementære geometriske former som sfærer, sylindre, osv., *fig. 1, 2*. Slike modeller er til dels meget anvendt så vel ved teoretiske betraktninger som eksperimentelle undersøkelser av hvilke faktorer som bestemmer fuktighetens oppførsel og sammenhengen mellom disse. For virkelige materialer må disse størrelsene alltid bestemmes eksperimentelt.

II Fuktbindinger

Materialer som bringes i kontakt med vann eller vanndamp, vil avhengig av forskjellige faktorer, bl.a. materialets art, ta opp en større eller mindre fuktighetsmengde. Når vannet bindes i materialene må det gi fra seg en energimengde, bindingsenergien, som er desto større jo sterkere bindingen er. Etter størrelsen

av bindingsenergien lar bindingsformen seg inndele i 3 hovedgrupper [2].

1. kjemisk binding
 2. fysikalsk-kjemisk binding
 3. fysikalsk-mekanisk binding
1. De kjemiske bindinger omfatter ion-bindinger som oppstår ved kjemiske reaksjoner og molekylbindinger ved dannelse av krystallhydrater. Kjemisk bundet vann er så sterkt fastholdt at det er uten interesse i forbindelse med fuktvandring. Ved ion-bindinger opphører dessuten vannet å eksistere som sådant.
 2. De kjemisk-fysikalske bindinger er av middels styrke og omfatter bl.a. adsorpsjonsbindingene. De adsorberte væskesjikt antas å kunne ta del i en fuktvandring som arter seg som en overflatekrypning.
 3. De fysikalsk-mekaniske bindingene omfatter bindinger i mikro- og makro-kapillarer og på materialoverflater på grunn av direkte kontakt med vann i damp eller væskeform. Storparten av vannet er så løst bundet at det lett kan forskyves i materialene.

Den gjensidige virkningen mellom de faste partiklene og vannet gjør at begge komponenters egenskaper forandres. Vann som er bundet på grunn av sterke adsorpsjonskrefter, har derfor helt andre egenskaper enn vanlig fritt vann, og fuktige materialer har andre egenskaper enn tørre materialer.

III Sorpsjon

Når et materiale bringes i kontakt med vanndamp, vil det avhengig av materialets art, temperaturen og dampens partialtrykk ta opp fuktighet. Denne likevekstfuktighet illustreres ved hjelp av fuktisotermene, *fig. 3*. Sorpsjonsprosessen har vært og er til stadighet gjenstand for inngående teoretiske og eksperimentelle undersøkelser. Til tross for det enorme arbeidet som er utført på dette området, har det ikke lyktes å gi en generell beskrivelse av sorpsjonen og det er sterkt

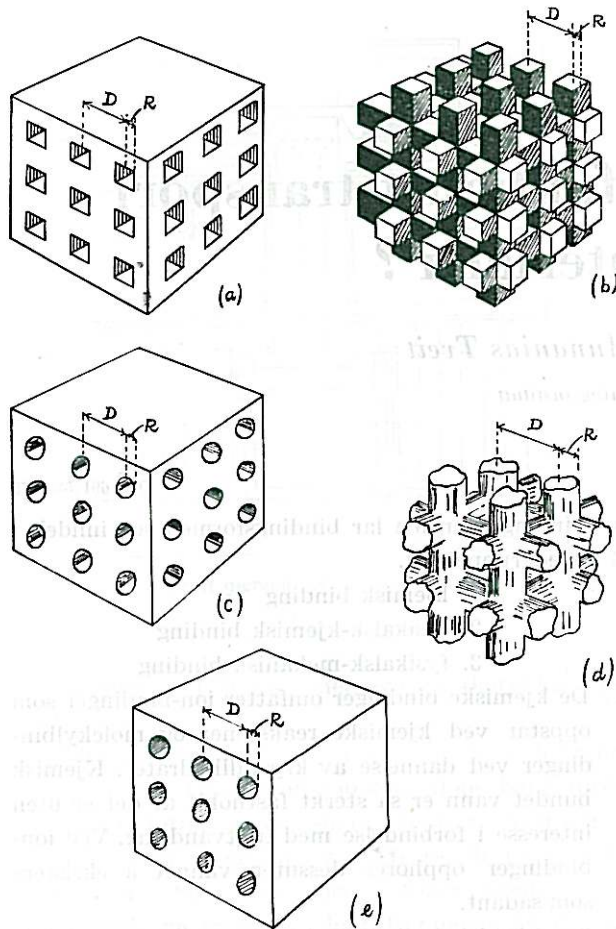


Fig. 1. Modeller for forskjellige materialstrukturer.

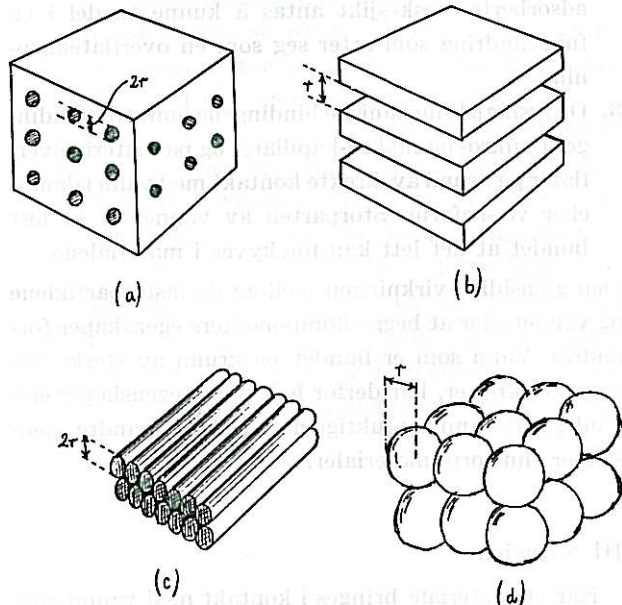
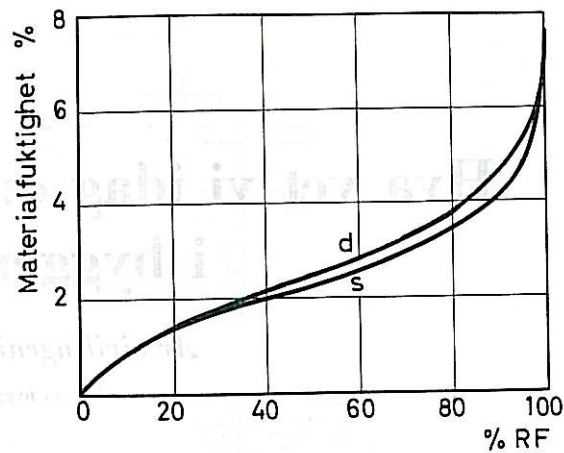


Fig. 2. Modeller for forskjellige materialstrukturer.

divergerende meninger om det kjemisk-fysikalske og termodynamiske forløp av sorpsjonsprosessen [3]. En eksperimentell undersøkelse av sorpsjonsprosessen er forøvrig meget vanskelig da dens utvikling stort sett bare kan forfølges ved observasjon av de ytre virkningene som dimensjonsendringer, varmeavgivelse osv.



s = Sorpsjonskurve
d = Desorpsjonskurve

Fig. 3. Fuktisotermer.

Det er i tidens løp utført en rekke bestemmelser av fuktisotermer for forskjellige materialer, slik at det foreligger bra med data bortsett fra for nyere materialtyper. En annen ting er det imidlertid at det svært ofte er vanskelig å benytte de data som foreligger på grunn av ufullstendig beskrivelse av materialene. Særlig ved partialtrykk nær metningstrykket kan de tall som oppgis, være nokså usikre alt etter hvordan målingene er utført. Det er også gjort forsøk på å stille opp empiriske ligninger for sorpsjonsisotermer. Disse ligningene har imidlertid alle et meget begrenset gyldighetsområde.

De teorier som er fremsatt med hensyn til sorpsjonsprosessen, går ut på at vannet adsorberes i mono- eller multimolekylære lag på materialets indre og ytre overflate som følge av umettede bindinger mellom molekylene i overflaten. Andre hevder at fuktopptaket begynner som en adsorpsjon først i et monomolekylært lag, deretter i multimolekylære lag som flyter sammen og danner menisker i kapillarene. Den videre fuktingen skjer så ved en kapillarkondensasjon p.g.a. damptrykkreduksjon over konkave menisker. Bestemmelsen av eventuelle fasetransisjoner skjer normalt ved undersøkelse av entropimaksima.

Likevektsfuktigheten i et materiale er ikke bare avhengig av omgivende damptilstand, men avhenger også av om likevekten oppnås under sorpsjon eller desorpsjon. Fuktighetsinnholdet er høyere ved desorpsjon enn sorpsjon. Det er stillet opp en rekke hypoteser til forklaring av hysteresen. Disse teorier går bl. a. ut på at

1. Hysteresen skyldes ufullstendig fukting under sorpsjon p.g.a. tilstedeværelsen av adsorberte luftmolekyler, som gjør at fuktevinkelen er større under sorpsjon enn desorpsjon, fig. 4.
2. Fyllingen av kapillarene skjer ved adsorpsjon på poreveggene, mens desorpsjonen skjer delvis ved fordunstning fra menisker.
3. Spesielle poreformer virker som feller hvor vannet

holdes tilbake inntil de trange kapillarer som fører vann til porene tømmes, fig. 5.

Sorpsjonsundersøkelser som er utført i ren vanddamp-atmosfære har ikke gitt noen hysteresevirkning, hvilket tyder på at hysterese kan skyldes ufullstendig fuktning under sorpsjonsfasen.

IV Fuktvandring

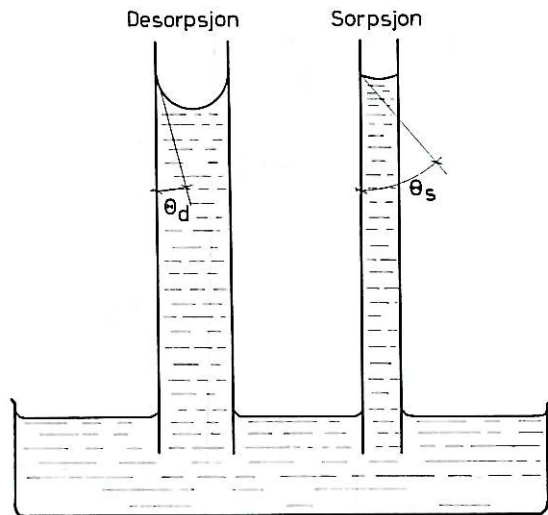
Fuktighet transporteres i byggematerialer så vel i dampfasen som i væskefasen. Fukttransporten i dampfasen kan foregå som en molar massestrøm p.g.a. totaltrykkgradienter, eller i molekylær form som effusjon og diffusjon p.g.a. partialtrykkgradienter eller som termodiffusjon p.g.a. temperaturgradienter. Fukttransporten i væskefasen skjer som molare strømmer p.g.a. totaltrykkgradienter forårsaket av statisk væsketrykk, vindtrykk eller kapillartrykk. Videre kan den foregå som molekylære strømmer p.g.a. osmotiske trykkdifferanser eller termoosmose. Endelig kan det foregå en overflatekrypning i adsorberte sjikt på grunn av reaksjonskrefter etter molekylsammenstøt med poreveggene (termisk glidning) og p.g.a. forskjellig bindingsstyrke i overflaten av de adsorberte sjikt. Den fuktvandring som man observerer i byggematerialene, foregår i alminnelighet som et samspill mellom flere eller færre av de forannevnte transportmåter. Fukttransporten er et svært kompleks, og bidragene fra de enkelte strømningsarter kan i alminnelighet ikke bestemmes.

4.1 Fukttransport i dampfasen.

Gassarters diffusjon kan beregnes etter *Fick's* eller *Stefan's* diffusjonsformler. Diffusjonshastigheten avhenger av molekylenes hastighet og fri veglengde og øker derfor med økende temperatur og avtar med økende trykk. For vanddamp har *Krischer* og *Rohnalter* [4] funnet at diffusjonstallet øker proporsjonalt med verdien av den absolute temperatur opphøyet i en potens med eksponent $n = 2,3$.

For porøse materialer kan under stasjonære forhold og når det ikke opptrer kondensasjon, diffusjonen beregnes ved hjelp av en forenklet utgave av *Stefan's* formel, idet det logaritmiske trykkforhold som inngår i formelen, erstattes med partialtrykkdifferansen. Den forenkling som er gjort, er tillatelig ved de trykkforhold som opptrer i bygningsmaterialer og bygningskonstruksjoner under normale driftsforhold. Formelens gyldighet er forøvrig betinget av at vanddampen ikke reagerer kjemisk med materialet i poreveggene og at porenes lineære dimensjoner er store i forhold til dampmolekylenes midlere frie veglengde.

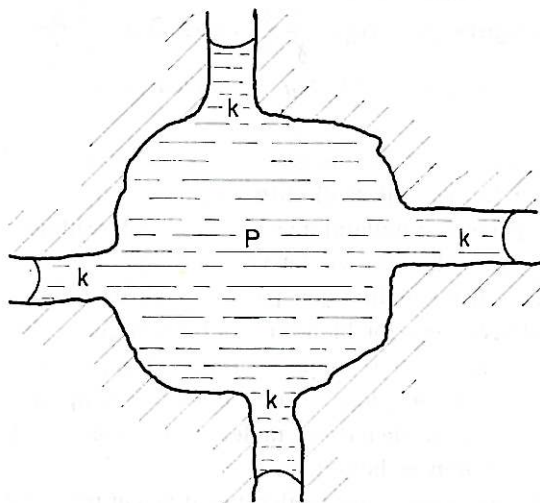
Diffusjonstallet D for et materiale avhenger av det frie gjennomstrømningsarealet og kan uttrykkes slik: $D = \mu D_L$ hvor D_L er vanddampens diffusjonstall i luft. μ er avhengig av materialets fuktinnhold.



Mulig årsak til sorpsjonshysterese?

Fuktvinkelen $\theta_d < \theta_s$

Fig. 4. Forskjell i fuktvinkel ved sorpsjonshysterese.

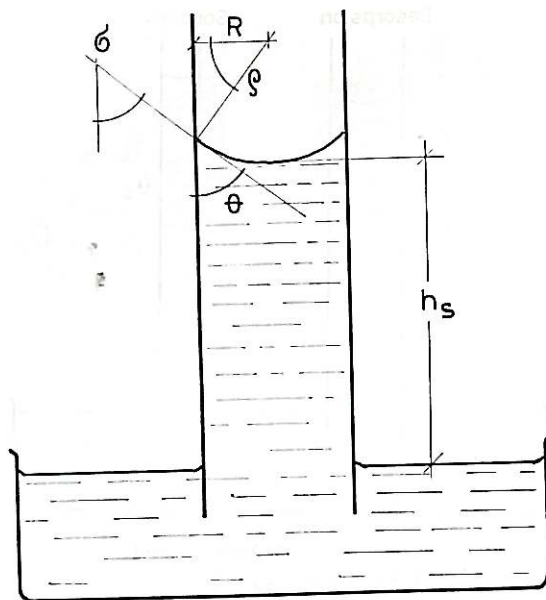


Mulig årsak til sorpsjonshysterese?

Poren P tømmes ikke før kapillærene k.

Fig. 5. Vannet holdes tilbake i porer av spesiell form.

Når porediameteren er vesentlig mindre enn $0,5 \cdot 10^{-5}$ cm, dampmolekylenes frie veglengde ved normal trykk og temperatur, vil damptransporten skje ved effusjon. Damp- og luftmolekylene vil bevege seg uavhengig av hverandre og strømningshastigheten vil være avhengig av antall molekylstøt på en flate som tilsvarer kapillarets eller porens åpninger. Dette antall må være proporsjonalt dampens tetthet og den midlere molekylhastighet. Effusjonen blir bestemt av potensialet $\frac{P}{\sqrt{T}}$ og det er ikke noe i veien for at potensialgradienten kan ha motsatt tegn av temperaturgradienten, hvilket vil si at i mikrokapillarer kan dampen vandre mot stigende temperatur. Under isoterme forhold er effusjonen avhengig av partialtrykkgradienten. Effusjons-



$$\text{Likevekt: } \sigma \cdot \cos \theta \cdot 2 \pi R = \gamma \cdot \pi R^2 \cdot h_s$$

$$\text{Sugehøyde: } h_s = \frac{2 \sigma}{\gamma \cdot R} \cdot \cos \theta = \frac{2 \sigma}{\gamma \cdot \rho}$$

Fig. 6. Forklaring på kapillarsuging.

hastigheten vil være proporsjonal 3. potens av kapillarradien hvilket vil si direkte proporsjonalitet mellom transportert vanddampmengde og kapillarradius.

I en gassblanding vil det ved en temperaturgradient oppstå en termodiffusjon på grunn av de forskjellige molekylvektene for blandingens bestanddeler. Termodiffusjonen arter seg som en separasjonsprosess hvor de tyngre molekylene anrikes der hvor temperaturen er lavest, mens de letteste molekylene anrikes der hvor temperaturen er høyest.

I kapillarpore materialer vil det ved et temperaturfall gjennom materialet oppstå en termodiffusjon på grunn av de forskjellige molekylvektene for surstoff ($m = 32$), kvelstoff ($m = 28$) og vanddamp ($m = 18$). Ved et temperaturfall vil derfor surstoff- og kvelstoffmolekylene diffundere mot lavere temperatur og vanddampmolekylene mot høyere temperatur. Termodiffusjonen vil derfor kunne gå i samme eller i motsatt retning av en diffusjon på grunn av en konsentrasjonsgradient, og vil derfor kunne forsterke eller svekke denne. Termodiffusjonen kan uttrykkes ved hjelp av diffusjonstallet og et dimensjonsløst termodiffusjonstall som er karakteristisk for en kombinasjon av to gasser og som avhenger av deres innbyrdes blandingsforhold. Termodiffusjonens størrelse avhenger foruten av forskjellen i molekylstørrelse også av temperaturgradienten, og ved store temperaturgradienter vil derfor termodiffusjonen kunne spille en rolle for damptransporten i porøse materialer. Da termodiffusjonen er direkte avhengig av materialenes diffusjonstall, vil den være størst ved høgporøse materialer.

I materialer med liten lufttetthet vil det kunne foregå en damptransport på grunn av egenkonveksjon og påtvunget konveksjon. Denne damptransport bestemmes mer av ytre faktorer enn av materialegenskaper.

4.2 Fukttransport i væskefasen.

Med fukttransport i væskefasen tenker en først og fremst på kapillarsugningen. Kapillarsugningen kan forklares ut fra fri overflateenergi og umettede bindingskrefter som ytrer seg som en overflatespenning, fig. 6. Kapillarsugningen kan sies å oppstå på grunn av kapillarpotensialgradienter som kan skyldes fuktgradienter, temperaturgradienter, forskjell i porestruktur eller forskjell i overflateenergi. Den mengde som transporteres ved kapillarsugning, uttrykkes vanligvis ved hjelp av en kapillarsugningskoeffisient som gir uttrykk for materialets evne til å transportere vannet kapillært, og ved en potensialgradient. Fuktledningsevnen er ingen konstant for et bestemt materiale, men avhenger av materialets fuktinnhold. Fuktledningsevnen er null for absolutt tørt materiale og øker med økende fuktinnhold til en viss maksimalverdi for det helt vannmettede materiale. Hvordan fuktledningsevnen endres med fuktinnholdet, bestemmes av porestrukturen som f. eks. porefordeling, poreorientering og forbindelsen mellom porene osv.

For et homogent materiale kan under isoterme forhold fuktinnholdet betraktes som potensial, og en fuktvandring vil normalt oppstå på grunn av en fuktgradient. Som det imidlertid fremgår av sorpsjonsisotermene, er likevektsfuktinnholdet angitt av en øvre og en nedre grensekurve, hvilket betyr at det kan herske en fuktlikevekt innenfor et materiale selv om ikke fuktigheten er jevnt fordelt. Betingelsen er at i en del av materialet er fuktlikevekt oppstått under sorpsjon, i en annen del ved desorpsjon. En ujevn fuktfordeling som ikke har noen tilknytning til sorpsjonshysteresen og som heller ikke behøver å fremkalle noen fuktvandring, kan oppstå i materialer med jevn porestruktur, f. eks. i tegl.

Ved fuktovergang fra et materiale til et annet avhenger fuktvekslingens retning av materialenes sugetrykk ved forskjellig fuktinnhold, fig. 7. Dette uttrykkes ved materialenes suction eller kapillarpotensial. Et materiales suction gir bare uttrykk for det sugetrykk som bindingskreftene forårsaker og sier ingen ting om dets fukttransportevne som angis ved fuktledningssevnen. Suctions-koeffisienten er sterkt avhengig av fuktinnholdet og øker med avtakende fuktighet.

Det er gjort en rekke forsøk på å stille opp en skala for potensialet som bestemmer fuktvandringen, og eksempler på dette er Schoefields suctionskala og Lykows massepotensialskala [5, 6]. Etter Schoefields suction-

skala angis materialets potensial med dets pF-verdi som er lik $\log_{10} h_s$ hvor h_s er materialets sugehøyde i cm ved det bestemte fuktinnhold. Materialets suction bestemmes under isoterme forhold ved direkte eller indirekte målemetoder alt etter potensialets størrelse.

Teoretisk sett kan et materiales suction bestemmes ved hjelp av fuktisoterme. En har nemlig etter

$$\text{Thompsons formel } \frac{p_Q}{p_s} = \text{eksp.} \left(- \frac{2\sigma \cdot \gamma_d}{p_s \cdot \gamma_v \cdot \varrho} \right)$$

hvor p_Q = damptrykk over menisk med midlere krumningsradius ϱ

p_s = metningstrykk er lik p_Q for $\varrho = \infty$

σ = overflatespenning

γ_d = dampens sp. vekt

γ_v = væskens sp. vekt

Ved å sette

$$h = \text{suction} = \frac{2\sigma}{\gamma_v \cdot \varrho} \quad \text{og} \quad p_s \cdot \frac{1}{\gamma_d} = \frac{RT}{M}$$

fåes

$$h = \frac{RT}{M} \ln \frac{p_Q}{p_s}$$

som gir forbindelsen mellom sugehøyden og det relative damptrykk. Den fri energi for fuktigheten i materialet er $F = RT \ln \frac{p}{p_s}$ hvor p er vanndamptrykket i materialet. Dette er helt analogt uttrykket for materialets suction. *Kuzmalc* [7] mener det er store fordeler ved å bruke fri-energien som potensial idet den tar i betraktning alle faktorer som bidrar til fuktbevegelse.

Lyksov har ved sin massepotensialskala prøvd å konstruere en enhetsskala for all fukttransport i kapillarpore materialer. Dette lar seg gjøre for isoterme forhold. Potensialskalaen er stillet opp på grunnlag av fuktinnholdet i et standardmateriale, som brukes til sammenligning av de forskjellige materialers sugeegenskaper (suction). Fremgangsmåten er egentlig som ved en temperaturmåling der termometret antar samme varmepotensial som den gjenstand hvis varmepotensial skal undersøkes. Ved bestemmelse av masseovergangspotensialet bringes sammenligningsmaterialet i kontakt med det materiale som skal undersøkes og avlesning av potensialet skjer ved veiing når det har innstilt seg likevekt. Som sammenligningsmateriale er valgt cellulose p.g.a. den høye hygroskopiske fuktigheten og p.g.a. at alle bindingsformer forekommer, spesielt den kjemisk-fysikalske og fysikalsk-mekaniske binding.

Ved suction-undersøkelser måles potensialet i absolute enheter og temperaturavhengigheten kan bestemmes. En bestemmelse av potensialets temperaturavhengighet ved hjelp av sammenligningsmetoden er

¹ Den ideelle gasslign, gjelder egentlig ikke for metnings-tilstanden.

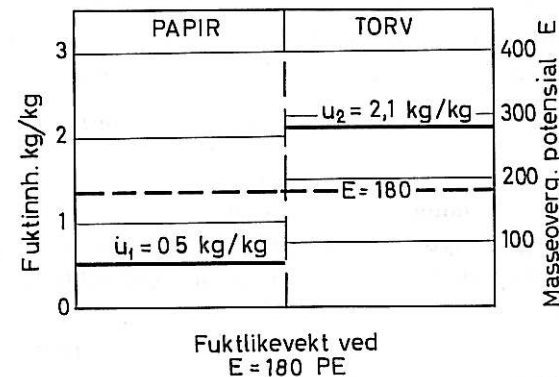
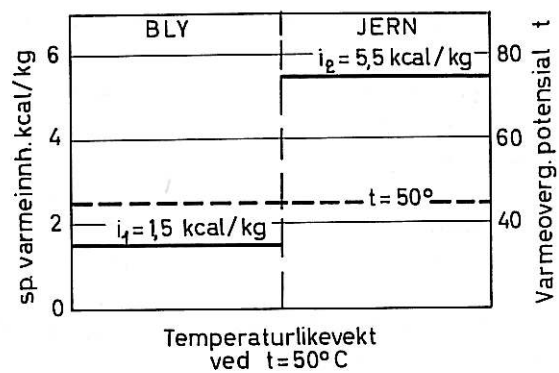


Fig. 7.

svært vanskelig, idet prøvematerialets og sammenligningsmaterialets potensial endrer seg omtrent likedan med temperaturen. Målingene måtte derfor eventuelt utføres ved å la sammenligningsmaterialets temperatur være konstant ved forskjellige temperaturer på prøvematerialet. Det er utført bare et lite antall slike undersøkelser da de eksperimentelt sett er svært vanskelige å utføre.

Til slutt må nevnes væsketransport på grunn av osmose, termo-osmose, overflatekryping og statiske overtrykk.

Osmose vil kunne opptre i materialer som inneholder oppløselige bestanddeler, som f. eks. salter. På grunn av forskjellig konsentrasjon av den oppløselige komponent vil det oppstå en osmotisk trykkdifferanse som fremkaller en molekylær transport (diffusjon) av vann. Konsentrasjonsforskjellen vil også gi seg uttrykk i forskjell i svellingstrykket.

En termo-osmose kan oppstå i væskefylte kapillarer under innflytelse av en temperaturgradient. Årsaken er at væskesjiktet som er i kontakt med materialet har andre egenskaper enn væsken ellers i kapillaret, spesielt er enthalpien forskjellig.

I et tynt sjikt nærmest poreveggene vil væsken bevege seg mot varmestrømmen med en hastighet som er proporsjonal temperaturgradienten. Den midlere glidehastighet kan uttrykkes lik $v = \frac{X}{T} \cdot \frac{\Delta t}{1} \cdot X$ er en konstant som avhenger av randsjiktets tykkelse og av

væskeegenskaper. Den termo-osmotiske effekt er påvist eksperimentelt i mikrokapillarer ved store temperaturdifferanser, men er helt ubetydelig i makrokapillarer. I sluttede kapillarer kan det oppstå en sirkulasjon [6, s. 67].

Powers [8] antyder en termo-osmose på grunn av frienergiforskjeller som oppstår ved temperaturgradienter på grunn av forskjellig entropi for fritt og bundet vann.

Lykov [6, s. 37] beskriver en overflatekrypning eller termisk glidning som kan oppstå i dampfylte porer på grunn av en temperaturgradient. Glidningen fremkommer som en reaksjon på molekylens støtimpuls på poreveggene og vil gå mot varmemstrømmen. Glideshastigheten er proporsjonal temperaturgradienten og en glidekoeffisient k_{gl} som kan settes lik $\frac{3}{2} \cdot \frac{D}{T}$ hvor D er vandampens diffusjonstall. *Lykov* skriver at selv om den termiske glidning er svært liten, har den likevel vesentlig innflytelse på diffusjonstransporten da diffusjonshastigheten er sammenlignbar med glidehastigheten.

Da D er proporsjonal T^2 og omvendt proporsjonal trykket P , blir den termiske glidning av særlig betydning ved fortynnede gasser. Som ved termo-osmosen kan det ved sluttede kapillarer oppstå en sirkulasjon.

Foruten den termiske glidningen antas det at det kan oppstå en overflatekrypning på grunn av forskjell i bindingskreftene i det adsorberte sjikt.

Av andre årsaker til fuktvandring må endelig nevnes vindtrykk eller vanntrykk. På grunn av et overtrykk kan vannet bli presset inn i og eventuelt gjennom materialer. Massetransporten er bestemt av overtrykkets størrelse og av porestrukturen. I grovporøse materialer med forholdsvis liten lufttetthet presses vannet gjerne lett gjennom materialene. I kapillarporøse materialer derimot er strømningsmotstanden vesentlig større, og kapillarkreftene er normalt utslagsgivende m.h.t. væsketransporten.

Av andre årsaker til fuktforskyvning er i litteraturen nevnt deformasjoner, ekspansjon eller kontraksjon av luftfylte porer under temperaturvariasjoner, elektriske potensialer osv.

4.3 Kombinert damp- og væsketransport.

I den grad de måtte forekomme vil flere eller færre av de forannevnte transportmåter kunne opptre samtidig og hver for seg bidra til en resulterende fukttransport. Da de er svært gjensidig avhengig av hverandre, lar de enkelte bidrag seg i alminnelighet ikke bestemme rent eksperimentelt.

Under transiente forhold vil ved hygroskopiske materialer en fukttransport arte seg som en diffusjons- og kapillarsugningsprosess med en samtidig fordampnings-

og kondensasjonsprosess og varme- og fukttransport er helt avhengige av hverandre. Fukttransporten vil under slike forhold være sterkt avhengig av materiales fuktkapasitet som er bestemt av poreveggens fuktkapasitet. Forsøk har vist at selv moderate fuktmengder kan forandre totalt varmemstrømsforholdene. *Solvason* [9] har undersøkt varme- og fukttransport gjennom trefiberplater og glassvattmatt under transiente forhold og mener at fordampnings- og kondensasjonsprosessen gir en betraktelig økning av varmemstrømmen under transiente forhold, men at fuktigheten har mindre betydning under stasjonære forhold.

Det er vanlig å anta at det foregår en kombinert diffusjons- og tilbakesugningsprosess i hygroskopiske materialer under ikke isoterme forhold. I varmemstrømmens retning foregår en diffusjon av vanddamp på grunn av en damptrykkdifferens, mens væske suges tilbake på grunn av et fuktpotensial. Til støtte for denne teori finnes en hel rekke publikasjoner, bl.a. av *Mc. Dermott* [10], *Rowley* [11], *Munters* [12], *Krischer* [13], *Hanson* [14], *Chlusov* [15] osv. Teoretisk sett skulle den ikke stasjonære tilstand av fuktvandringen la seg beskrive ved hjelp av en differensialligning. Dette ville i så fall muliggjøre en beregning av fuktopptakets og uttørkningens tidsforløp.

Det er gjort en rekke forsøk på å stille opp differensialligninger for fuktvandringen. Merkverdig nok er så å si alle disse ligninger stilt opp under den forutsetning at fuktvandringen er en isolert prosess og ligningene inneholder ingen størrelser som gir uttrykk for varmetransport, faseoverganger osv. Det er også vanlig å betrakte alle transportkoeffisienter som konstanter, uavhengige av koordinater og tid. Det er klart at dette ikke kan gi riktige resultater. Ligningenes brukbarhet avgjøres imidlertid ikke av om resultatene er helt riktige, men om de kan beregnes med en nøyaktighet som er akseptabel for rent praktisk bruk. Differensialligninger til beregning av varme- og massetransport under tørking av hygroskopiske materialer er foreslått t.b. a. av *Krischer* [16, s. 340-63], *Lykov* [6, s. 136-40].

Den matematiske behandlingen av varme- og fuktvandringen er uhyre komplisert, og selv de enkleste av de differensialligninger som er oppstilt, lar seg bare løse eksakt ved forenklete randvilkår. Det er ikke trolig at en rent teoretisk metode fører frem og *Hutcheon* [17] mener at det er bare en vei å gå, nemlig å bruke empiriske metoder. Det kan vel imidlertid tenkes at det går an å kombinere en teoretisk og en empirisk behandling av varme- og fukttransporten ved å bruke likhetskriterier, som ved beregning av varmeoverganger, forbrenningsprosesser osv. Det er i Russland gjort forsøk på å bruke likhetskriterier på varme- og fukttransport, men det foreligger ingen opplysninger om hvorvidt det har vært vellykket.

4.4 Permeabilitet.

Det er innenfor bygningsteknikken blitt svært vanlig å kalle all transport av fuktighet innen det hygroskopiske området for vandampdiffusjon uansett på hvilken måte fuktigheten transporteres i materialet. Dette henger sammen med den alminnelige oppfatning at fuktigheten transporteres gjennom materialene i dampfasen. Følgelig kalles også gjerne materialenes evne til å transportere fuktighet for dens vandampdiffusjonstall, som angis med forskjellige benevninger som f. eks. $g/m\ h\ mmHg$ eller $g\ cm/m^2h\ mmHg$ osv. eller g/m^2mmHg ved en bestemt tykkelse på materialet. I den senere tid har imidlertid et nytt begrep — permeabilitet eller gjennomslippelighet — fått stadig større anvendelse. Med et materialsjiktets permeabilitet menes da den dampmengde som på grunn av samvirke mellom de forskjellige transportmåter passerer gjennom sjiktet pr tidsenhet, flateenhet og pr enhet vandamptrykkdifferanse. På samme måte som diffusjonstallet tilsvarende varmeledningstallet, tilsvarende permeabiliteten varmegjennomføringstallet. Dens inverse verdi benevnes gjerne diffusjonsmotstand. Permeabiliteten er altså avhengig av materialets sjikttykkelse og egner seg spesielt godt for angivelse av fuktgjennomgang i tynne materialsjikt som plater, papp osv., eventuelt i kombinasjoner av flere tynne sjikt. Ved slike materialer vil motstanden ofte ikke være direkte avhengig av sjikttykkelsen, men bero på overflateegenskaper osv.

Om permeabiliteten er målt for en bestemt tykkelse av et hygroskopisk materiale av homogen struktur, så kan strengt tatt denne ikke omregnes til det andre tykkelser av materialet. Dette kommer av at ved måling av permeabiliteten er det i materialet en bestemt fuktfordeling alt etter de damptrykk og temperaturer som anvendes, og permeabiliteten bestemmes av denne fuktfordelingen. For et ikke hygroskopisk materiale vil det antakeligvis være annerledes idet fukttransporten i et slikt materiale er mer entydig bestemt av partialtrykkdifferansen.

Som det fremgår av det foregående, er permeabiliteten avhengig av den damptilstand som opprettholdes på begge sider av prøvestykket under målingene. Med vårt nåværende kjennskap til fuktvandringens avhengighet av damptrykk og temperatur i de forskjellige typer materialer kan det ikke foretas noen direkte omregning for andre damptilstander. Endringen av permeabiliteten med damptilstanden (med hvilken materialfuktigheten er i likevekt) må derfor bestemmes eksperimentelt. Det finnes i litteraturen forholdsvis få undersøkelser av permeabiliteten for forskjellige slags materialer ved forskjellig temperatur og damptrykk, men de målinger som er gjort viser at for mange materialer er permeabiliteten sterkt avhengig av fuktnivået.

Litteratur:

- [1] Flood, E. A.: *Statistical Descriptions, Correlation Factors, and Physical Properties of Granular and Porous Solids. The Structure and Properties of Porous Materials.* Proceedings of the Tenth Symposium of the Research Society 1958.
- [2] Rebinder, P. A.: *Untersuchungen über physikalisch-chemische Suspensionen.* Moskva 1933.
- [3] Malmquist, Lars: *Sorption as Deformations of Space.* Særtrykk av Kylvteknisk Tidsskrift nr. 4, Stockholm aug. 1958.
- [4] Krischer, O. & Rohmaler, H.: *Wärmeleitung und Dampfdiffusion in feuchten Gütern.* VDI Forschungsheft 402. Ausgabe B. Mai—Juni 1940.
- [5] Schoefield, R. K.: *The pF of the Water in Soil.* Transactions 3rd International Congress Soil Science, 1935, 2, 37—48. Discussion, 3, 182—186.
- [6] Lykova, A. W.: *Transporterscheinungen in Kapillarporösen Körpern.* Akademie-Verlag, Berlin 1958.
- [7] Kuzmak, J. M.: *Moisture Content — Suction Relationships.* Proceedings of the Conference on Building Research, Ottawa 21/23 Oct. 1953. Bulletin No 1 of the Division of Building Research, Ottawa 1955.
- [8] Powers, T. C.: *Moisture Effects in Concrete.* Proceedings of the Conference Se henv. nr. 7 ovenfor.
- [9] Solvason, K. R.: *Moisture in Transient Heat Flow.* Heating, Piping & Air Conditioning, Nov. 1955.
- [10] McDermott, P. F.: *Moisture Migration. A Survey of Existing Theory and Knowledge.* Refrig. Eng. Vol. 42. Aug. 1941.
- [11] Rowley, F. B.: *A Theory Covering the Transfer of Vapour through Materials.* ASHVE Transactions, Vol. 45, 1939 p. 545.
- [12] Munters, C.: *Moisture in Walls of Cold Storage Rooms.* Refr. Eng. Aug. 1949 p. 795.
- [13] Krischer, O.: *Wärmeleitung und Dampfdiffusion in Kälteschutzstoffen.* Wärme- und Kältetechnik 1941, Heft 1.
- [14] Hanson, R.: *Fukt i ytterväggar och yttertak.* Særtrykk av Byggmästaren B 10 og B 12, 1957, B 1 og B 3, 1958.
- [15] Chusov, J. E.: *Determination of Moisture in Flat Roof Constructions.* Moskva 1958.
- [16] Krischer, O.: *Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik.* Springer-Verlag 1957.
- [17] Hutcheon, N. B.: *Combined Heat and Moisture Flow Philosophy and Review of a Canadian Research Program.* Research Paper no 10. NER Ottawa, Febr. 1961.

Nyere erfaringer med kondensasjon i vegger

Av arkitekt EIRIK FINNE, Norges byggforskningsinstitutt

INNLEDNING.

I løpet av de siste par år er kjennskapet til kondenseringsfenomenene i bygningskonstruksjoner blitt ganske godt utbredt. Ord som dampspærreskikt, ventilerte tak og høy eller lav relativ fuktighet i inneluften er etterhvert blitt almindelige begreper. Man merker det også i praksis. På byggeplassene anvendes det forskjellige papptyper på varm og kald side av isolasjonen, og stadig flere hus får de karakteristiske små luftehullene oppe under takskjegget. Det later til at det særlig er utsendelsen av NBI's Byggdetaljblad som her har hatt en god virkning.

Men med dette stopper også kjennskapet stort sett opp. Det er ikke så merkelig, for de som arbeider daglig med disse tingene er igrunnen heller ikke svært mye klokere. Dette skyldes det store antall av både oversiktlige og uoversiktlige faktorer som er medbestemmende for forløpet av varme- og fuktighetstransporten gjennom materialene, og at det derfor finnes nær sagt uendelig mange kombinasjonsmuligheter. Man kan si at hele området fremdeles er temmelig tåket, og at den eneste brukbare veien til å få det belyst er observasjoner fra virkeligheten og fra forsøk. Blant forsøkene er det særlig naturforsøk som er av verdi, og disse bør ligge så nær opptil virkeligheten som mulig med hensyn til konstruksjoner, dimensjoner og klimabetingelser. For typiske laboratorieforsøk må man sette reservasjoner dersom de ikke kan underbygges med iakttagelser fra naturforsøk eller fra praksis, selv om fullt kontrollerte laboratorieforsøk naturligvis er absolutt nødvendige, fordi de gir en meget lettere adgang til problemene og kan lede til spor som man ellers neppe hadde funnet.

Det blir for tiden arbeidet iherdig med disse spørsmålene ved en rekke institusjoner i mange land. For vårt vedkommende kan det nevnes at Norges byggforskningsinstitutt i flere år har hatt et forsøkshus i drift for studium av kondenseringsfenomener i yttervegger av bindingsverk. Forsøkshuset ligger på Norges landbrukshøgskoles område på Vollebekk, Ås, og forsøket er lagt opp så naturtro som det er gjorlig å få det når konstruksjonene skal underkastes systematiske undersøkelser og klimapåkjenningene skal være under en viss kontroll.

På samme sted driver Institutt for bygningsteknikk ved landbrukshøgskolen analoge undersøkelser, omenn metodikken er en annen. Institutt for bygningsteknikk foretar i tillegg også laboratorieundersøkelser i full målestokk, hvor alle oversiktlige klimafaktorer er under full kontroll.

Erfaringene fra undersøkelsene og fra praksis både i vårt og i andre land har for en stor del støttet opp under og bekreftet den almindelig antatte teorien for kondenseringsfenomenene, og har bevist riktigheten av de anvendte prinsipper for sikring av konstruksjonene mot kondensering eller for redusering av kondenseringsfaren.

Men samtidig har de bragt for dagen at man hittil antagelig har lagt litt for stor og ensidig vekt på hva man kan kalle den «klassiske» teorien for kondenser-

ing i bygningskonstruksjoner, dvs. kondensering p. gr. a. samtidige varme- og diffusjonsstrømmer fra varm til kald side av konstruksjonen. De har vist at andre forhold kan ha like stor og ofte langt større betydning for en eventuell kondenseringsfare og at vanlige sikringstiltak under spesielle forhold sågar kan virke stikk imot sin hensikt.

Dette vil i praksis si at man må vurdere disse litt mer kritisk enn hittil og ikke være for trygg på at man er sikret mot kondensering når man foreskriver dampspærreskikt på varm side av isolasjonen, samt dampåpen hud og god ventilasjon på kald side. Om man på den annen side skulle glemme spærreskikt og bruke forhudningspapp på begge sider av isolasjonen, så behøver ikke dette nødvendigvis føre til at veggen blir ødelagt p. gr. a. kondensering. Tvertimot vil veggen i de aller fleste tilfelle sannsynligvis stå like godt som en riktig konstruert vegg. Men dette vil ikke si at metoden er å anbefale.

FORMALET MED UNDERSØKELSENE OG OPPGAVER FOR FUKTIGHETSBEKJEMPelsen I BYGG

Som det vel vil være almindelig kjent, så er fuktighet i en eller annen form den største fienden til alle våre tekniske frembringelser. Kampen mot vannets ødeleggelser legger beslag på brorparten av all den arbeidskraft vi kan avse fra produksjonen av goder og koster oss årlige milliardbeløp bare her i Norge.

Formålet med undersøkelsene av kondenseringsfenomenene er derfor å skaffe bedre kjennskap til denne formen for fuktighetsangrep på bygningskonstruksjonene, samt å skaffe brukbare kriterier for bedømmelse av kondenseringsfaren og for hensiktsmessige tiltak for å forebygge skader. Formålet har dessuten også vært å skaffe opplysninger om i hvilken utstrekning den almindelig antatte teorien for kondensering i bygningskonstruksjoner er gyldig.

Når man skal beskrive bekjempelsen av fuktighets-skader i bygg og de problemer og oppgaver man der står overfor, så kan man godt foreta sammenligninger med legevitenenskapen. En leges arbeide kan deles i to hovedoppgaver:

- 1) å forebygge sykdommer,
- 2) å helbrede sykdommer.

For å kunne forebygge en sykdom, må han vite hva pasienten kan bli utsatt for og treffe sine forholdsregler derefter. For å kunne helbrede en sykdom, må han stille diagnose, og for å stille diagnose må han ha kjennskap til symptomer.

Det samme gjelder for husene våre. Når et hus f. eks. «lider» av kondensering, så er huset sykt. Det blir rett og slett forkjølet. Det kan være et lettere tilfelle, men det kan også være ondartet. Det kan utvikle seg akutt til en heftig influensa eller lungebetennelse, og det kan bli en snikende, umerkkelig tuberkulose som tærer huset opp under overflaten. Men analogien går også videre, for begge deler kan forebygges, og begge

delar kan kureres, dersom sykdommen ikke er altfor langt fremskreden.

Ved bekjempelsen av fuktighetsskader i bygg, stiller oppgaven seg derfor således:

- 1) å forebygge skader ved å treffe sikringstiltak ved nybygg,
- 2) å finne årsaken og riktige botemidler når det oppstår skader i et hus.

Når man prosjekterer et bygg, vet man hvor bygget skal stå, og man vet hva det skal brukes til. Stort sett vet man også hvilke materialer som kommer i betraktning. Man har derfor oversikt over de vesentligste påkjenningene det kan bli utsatt for og kan ta hensyn til dette ved planleggingen av konstruksjonene.

Når det oppstår fuktighetsskade i et bygg, må man forsøke å finne årsaken — altså stille diagnose — og ut fra dette treffe de nødvendige tiltak for å utbedre skaden og forhindre at den kan inntreffe påny. Å stille en riktig diagnose i et slikt tilfelle, er imidlertid ingen enkel affære, og man ser derfor rett som det er at skadene bare blir utbedret uten at man har funnet — eller bare tror at man har funnet — årsaken. Dette kan da undertiden koste adskillige titusener av kroner.

For å kunne stille en riktigst mulig diagnose, må «huslegen» kjenne enkelte karakteristiske symptomer. For det er med hussykdommene som med andre sykdommer, de ytrer seg på forskjellige måter.

Efter de erfaringer man har idag, ser det ut til at man kan dele kondenseringsfenomenene inn i grupper efter årsaker og virkemåter, og disse vil da tildels kunne identifiseres efter måten de ytrer seg på. Men her skal med en gang innskytes at svært ofte vil det være vanskelig å trekke skarpe skiller og at resultatet gjerne kan skyldes en sammenvirkning av flere årsaker.

HOVEDTYPER AV BYGNINGSMATERIALER

Bygningsmaterialene kan stort sett deles i:

- 1) ikke-porøse materialer, f. eks. glass og metaller,
- 2) porøse, ikke-hygroskopiske materialer, f. eks. mineralull,
- 3) porøse, hygroskopiske materialer, som omfatter de aller fleste både organiske og uorganiske materialer, som f. eks. materialer av trevirke, betong og murstein.

Forat materialet skal være kapillær-hygroskopisk, må det inneholde en viss del submikroskopiske porer, dvs. porer med radius mindre enn 10^{-4} mm. I hvilken grad materialet er hygroskopisk, blir bestemt av andelen submikroskopiske porer i det totale porevolum.

INNDELING AV FORMER FOR KONDENSERING EFTER ÅRSAKER OG VIRKEMÅTER

A. Kondenseringsart

En klassifisering av kondensformene kan skje efter flere synsmåter, men det kan være naturlig som en hovedinndeling å skille efter arten av kondensering:

- 1) kondensering p. gr. a. at luftens partielle vann-damptrykk blir like stort som metningstrykket.
- 2) kapillærkondensering i hygroskopiske materialer.

Ad pkt. 1: Denne form er den vi vanligvis forstår ved ordet kondensering. Og den kan foregå enten ved at luften tilføres vanddamp så partialtrykket stiger, eller ved at lufttemperaturen og dermed metningstrykket synker. Den kan forekomme såvel i atmosfæren som på

overflaten av og inne i konstruksjoner. Inne i konstruksjonene vil den særlig forekomme ved overgangen fra åpnere til tettere deler. Slik kondensering vil også kunne forekomme inne i porøse ikke-hygroskopiske eller lite hygroskopiske materialer som yder en viss motstand mot damp- og luftgjennomgang, dvs. materialet må ha lukkede porer. I høyporøse, ikke-hygroskopiske materialer med gjennomgående porer, er det vanskelig å påvise kondensering. Fuktigheten slår seg her ned på tilstøtende overflate av et tettere og kaldere materiale. Man kaller dette gjerne «loven om den kolde veggen».

Ad pkt. 2: Kapillærkondensering forekommer i hygroskopiske materialer. Det er stillet opp en rekke og tildels meget motstridende teorier om sorbsjonen i porøse materialer. Det er mest vanlig å anta at fukt-opptagningen henger sammen med porestorrelsen. Dette har ført til ganske brukbare matematiske uttrykk i enkelte av teoriene, selv om ingen av dem er adekvate. I submikroskopiske porer vil vanddampen ved en gitt temperatur kondenseres ved lavere damptrykk enn luftens normale metningstrykk. Kondensasjonstrykket er avhengig av og avtar med avtagende porediameter. Dette medfører differanser mellom damptrykket inne i poren og i den omgivende luften således at det vil diffundere vanddamp inn i materialet inntil poren er helt fylt. De minste porer fylles først. Materialet vil derfor ved en gitt relativ fuktighet i den omgivende luften oppta en bestemt mengde vann som betegner fuktlikevekten. Ethvert hygroskopisk materiale har således sin karakteristiske sorbsjons- eller fuktlikevektskurve hvor materialfuktigheten er angitt i % av tørrvekt i avhengighet av luftens relative fuktighet. Sorbsjonskurvens form vil også gi et bilde av fordelingen av de submikroskopiske porer. For uorganiske materialer er sorbsjonskurven uavhengig av temperaturen. I organiske materialer øker fukt-opptagningen endel med synkende temperatur. Det finnes også andre former for hygroskopisitet og kondensering. Den hygroskopiske kondensering i salter vil f. eks. kunne spille en stor rolle for fuktighetsforholdene i kunststein-materialer og for overflatekondensering på konstruksjoner i visse industribygg. Den forekommer sikkert også i vanlige bygg og konstruksjoner, men i disse vil den sannsynligvis være av underordnet betydning.

B. Fuktighetskilder

En annen praktisk inndeling av årsakene til kondensering kan være å skille mellom:

- 1) kondensering p. gr. a. fuktighetskilder som ligger utenfor konstruksjonen,
- 2) kondensering p. gr. a. fuktighetskilder inne i selve konstruksjonen.

Ad pkt. 1: Fuktighetskilder utenfor konstruksjonen vil i det alt vesentlige være dampinnholdet i den omgivende luften, og hovedbetingelsen for at denne fuktigheten skal kunne føre til kondensering inne i eller på overflaten av konstruksjonen, ved stasjonære forhold, er at vanddampens partialtrykk på konstruksjonens varme side er høyere enn metningstrykket på den kolde siden. Fritt vann på konstruksjonens overflate må også regnes som fuktighetskilde utenfor konstruksjonen, og hovedbetingelsen vil da alltid være oppfylt dersom den fuktete siden har den høyeste temperaturen.

Ad pkt. 2: Fuktighetskilder inne i selve konstruksjonen kan være hygroskopisk bundet vann i hygroskop-

iske materialer, samt overskuddsvann som enten forekommer i materialene opprinnelig eller som er blitt tilført materialene under lagring og under byggeprosessen. Eks. dårlig tørkede trematerialer og fersk betong. Det kan også forekomme slike fuktighetskilder ved tilførsel av vann gjennom en eller annen form for lekkasjer.

Denne fuktigheten vil som regel bli drevet over mot den kolde siden og medføre kondensering når det er en tilstrekkelig stor temperaturgradient i konstruksjonen.

Dessuten forekommer det noen tilfelle som hører inn under begge grupper. Prosessen foregår her i to etapper, hvorav den første, fuktighetsopptagningen, forårsakes av kapillærkondensasjon i hygroskopiske overflatematerialer, og den andre, fuktighetsforskyvningen og vannutfellingen, forekommer når temperaturgradienten endres og driver fuktigheten over mot den koldere siden. Denne form for fuktighetsvandring og kondensering gjør seg gjeldende når det forekommer sterke svingninger i klimaet på den varme siden av konstruksjonen.

C. Fuktighetstransport

En tredje praktisk inndeling kan være å skille mellom de viktigste former for fuktighetstransport. Det er særlig 3 måter som kommer i betraktning:

- 1) diffusjon av vanddamp gjennom materialene,
- 2) vanddamptransport med luft som strømmer gjennom konstruksjonene,
- 3) fuktighetstransport p. gr. a. kapillær sugning og hygroskopisk fuktighet i materialene.

Det finnes også andre former for fuktighetstransport, men de er tildels for uoversiktlige til å tas med i en slik inndeling, og tildels griper de ikke direkte inn i mekanismen ved selve kondenseringsprosessen, eller de har liten betydning for denne.

Ad pkt. 1: Forat det skal kunne forekomme dampdiffusjon i et materiale eller en konstruksjon, må det være en damptrykkgradient tilstede. Kondensering av vanddamp ved at damptrykket et eller annet sted inne i konstruksjonen blir like stort som metningstrykket, kan bare forekomme dersom det samtidig er en temperaturgradient med fall og varmestrom i samme retning som dampstrømmen.

Den almindelig antatte teorien for kondensering p. gr. a. samtidige varme- og dampdiffusionsstrømmer er svært svevende og usikker. Det kan være av interesse å komme litt inn på årsaken til dette. Teorien hviler på de to grunnpillarene:

Fourriers lov for varmeledning: $Q_v = -\lambda \cdot F \cdot \frac{dt}{dx}$

Ficks lov for diffusjon: $Q_d = -D \cdot F \cdot \frac{dc}{dx}$

hvor Q er gjennomstrømmet mengde pr tidsenhet, λ og D er materialkoeffisienter, F er flateinnhold loddrett på strømmen og t og c er henholdsvis temperatur og dampkonsentrasjon. Det negative fortegn sier at strømmen går i gradientens fallretning. Da det er enklere å måle og arbeide med trykk i stedet for konsentrasjoner, blir Ficks lov for dampdiffusjon i teknikken vanligvis brukt i formen:

$$Q_d = -k \cdot F \cdot \frac{dp}{dx}$$

hvor p er vanddampens partialtrykk. I denne formen gjelder den også når det foruten trykkfall også forekommer temperaturfall. I den første formen er den bare gyldig for områder med konstant temperatur. Begge

disse lovene forutsetter homogene og isotrope materialer og at materialkoeffisienten er uavhengig av temperatur og trykk.

Selv om bygningsmaterialer normalt hverken er homogene eller isotrope, viser varmestrom og temperaturfordeling god overensstemmelse med Fourriers lov når materialtilstandene ikke avviker for sterkt fra de tilstander som koeffisientene er målt under.

For diffusjonen derimot er koeffisientene bare gyldige for materialtilstander og påvirkninger som er praktisk talt identiske med de forhold som de er målt under.

Anvendt for samtidige varme- og dampdiffusionsstrømmer gjennom materialet, må de to lovene derfor egentlig skrives slik:

$$Q_v = -\lambda(t, W) \cdot F \cdot \frac{dt}{dx}$$

$$Q_d = -k(t, W) \cdot F \cdot \frac{dp}{dx}$$

hvor W (materialfuktighet: kg vann/kg tørrvekt) som regel vil være $W(\varphi)$ og φ er den relative fuktighet

$\left[\frac{p}{p_m(t)} \right] \times p_m =$ metningstrykk ved den forekommende temperatur i snittet.

Av dette ser man at selv for stasjonære forhold, blir det en ganske floket affære. For transiente strømninger blir det adskillig verre, idet da også kapasitetene kommer inn i bildet, og de øvrige materialkoeffisientene som er bestemmende for kapasitetene også er avhengige av materialtilstandene. Det hele fører derfor til ikke-lineære systemer som ikke lar seg løse analytisk.

For enkle tilfelle kan man selvsagt forsøke å finne løsninger med tilnærmet metoder, men også her støter man da på den andre store vanskeligheten, nemlig at det er nesten umulig å bestemme materialkoeffisientene tilstrekkelig nøyaktig. Grunnen til dette er at man ikke kan finne målemetoder som separerer de forskjellige prosessene således at de ikke influerer på hverandre under målingene. Dette gjelder såvel for måling av varmeledningstall i fuktige materialer som — og i langt høyere grad — for måling av diffusjonskoeffisienter. Dette skyldes først og fremst materialenes hygroskopiske egenskaper. Når man så har for øye at bygningskonstruksjoner vanligvis er bygget opp av flere skikt av forskjellige materialer, og at svingningene i påkjenningene er høyst uharmoniske, så kan man lett forestille seg at her foreligger muligheter til å regne seg frem til meget originale resultater.

Efterhvert som man har fått bedre kjennskap til fuktighetens bevegelse i hygroskopiske materialer, er man derfor blitt klar over at Ficks lov bare kan anvendes på dampdiffusjon i bygningsmaterialer når koeffisienten k blir antatt å avhenge av det midlere damptrykk p . Men selv denne tilpasningen vil bare være noenlunde riktig. Heldigvis virker imidlertid utvikelsen fra Ficks lov i en slik retning at den vanligvis minsker faren for kondensering, og derfor kan overslagsberegninger for stasjonære eller tilnærmet stasjonære forhold benyttes i praksis, dvs. man vil med noenlunde sikkerhet kunne danne seg et bilde av hvor store påkjenninger en konstruksjon kan tåle uten at det inntreffer kondensering p. gr. a. dampdiffusjon. Å beregne hvor store påkjenninger som skal til forat kondensering skal inntreffe, er derimot som regel et håpløst foretagende.

Ad pkt. 2: Luftgjennomgang gjennom en konstruksjon vil forekomme når det er forskjellig lufttrykk på de to sider av konstruksjonen. Luftgjennomgangen vil foregå i trykkfallets retning, altså fra høyere mot la-

vere trykk, og den vil i bygninger være tilnærmet proporsjonal med størrelsen av trykkdifferansene, idet disse normalt vil være så små at det fortrinnsvis forekommer laminære strømninger. Størrelse og retning av trykkfallet blir bestemt av flere faktorer såsom vind, temperaturdifferanser, ventilasjons- og oppvarmingsmetoder, etc.

For vindens vedkommende vil det stort sett bli et utvendig overtrykk på den siden av huset som vender mot vinden, og utvendig undertrykk på husets leside.

Da varm luft er lettere enn kald, vil det i oppvarmede bygninger bli et innvendig luftovertrykk under taket og undertrykk over gulvet. Nøytralskiktet vil normalt ligge midt i romhøyden eller plasere seg i tyngdepunktet for større åpninger til friluft. Trykkdifferansene er proporsjonale med differansen mellom inne- og utetemperatur og også proporsjonale med romhøyden. Ved innetemperatur + 20 °C, utetemperatur - 20 °C romhøyde 2,50 m og nøytralskikt midt i rommet, vil overtrykket under taket bli ca. 0,25 mm VS. Ved samme temperaturforhold, romhøyde 5 m og nøytralskikt ved gulvet, vil overtrykket bli ca. 1,0 mm VS.

Overtrykk av denne størrelsesorden vil derfor godt kunne oppstå under taket i hus med meget åpen forbindelse mellom to etasjer.

Ved kunstig ventilasjon vil overtrykk og undertrykk oppstå ved henholdsvis innblåsing og utsugning av luften.

Ved fyringsanlegg som krever avtrekkspipe, vil det oppstå et lite innvendig luftundertrykk i huset.

Luftgjennomgang fra den varme til den kolde siden av en konstruksjon vil medføre kondensering i konstruksjonens kolde deler dersom varmluftens duggpunkttemperatur er høyere enn temperaturen i disse deler.

Omvendt vil luftgjennomgang fra den kolde til den varme siden virke uttørkende på konstruksjonen.

Ad. pkt. 3: Når det er konstant temperatur gjennom et hygroskopisk materiale, men forskjellig relativ fuktighet i luften på hver side av materialet, vil materialfuktigheten p. gr. a. sterkere kapillærkondensasjon og absorpsjon bli høyere på den side av materialet hvor den relative fuktigheten i luften er høyest.

Gjennom materialet vil det derfor bli en skjev fuktighetsfordeling, og denne vil forårsake en spredningstrykkgradient som vil tilstrebe utjevning av materialfuktigheten og drive denne over mot den tørrere siden. Derved vil det foregå en fuktighetstransport gjennom materialet.

Sålenge den relative fuktighet er så lav at bare en del av de submikroskopiske porer er fylt, vil denne fuktighetstransporten foregå meget langsomt. Men når den relative fuktigheten nærmer seg metningspunktet, vil alle submikroskopiske porer bli fylt og materialfuktigheten øke utover det hygroskopiske området. Dette vil da medføre en sterk kapillærsugning som vil øke fuktighetstransporten til det mangedobbelte. Dette er omtrent den forklaring man gir på den sterke økningen av diffusjonen i fuktige, hygroskopiske materialer og på avvikelserne fra Ficks lov.

I det forutsatte tilfelle med konstant temperatur gjennom materialet, men forskjellig relativ fuktighet på materialets to sider, vil det nemlig også forekomme dampdiffusjon, idet damptrykket vil være høyest på den siden hvor luftens relative fuktighet er høyest, og følgelig vil det være en damptrykkgradient gjennom materialet. For et absolutt ikke-hygroskopisk materiale antar man at fuktighetstransporten gjennom materia-

let bare blir bestemt av damptrykkfallet. For et absolutt hygroskopisk materiale antar man at fuktighetstransporten gjennom materialet bare blir bestemt av forskjellen i den relative fuktighet på materialets to sider.

De aller fleste vanlige bygningsmaterialer vil imidlertid ligge et eller annet sted mellom disse to ytterligheter. For slike materialer vil den totale fuktighetstransporten gjennom materialet bli summen av de transporterte fuktmengder, altså summen av strømmene. Hvilken av disse strømmer som vil være den overveiende, blir bestemt av fordelingen av porestørrelsen, dvs. av materialets struktur.

Er det en samtidig temperaturgradient gjennom materialet, vil som regel de to strømmer få motsatt fortegn, og man antar at den resulterende fuktighetstransport og fordelingen av materialfuktigheten vil innstille seg på et likevektsnivå hvor strømmene balanserer hverandre. Denne balansen og mekanismen i prosessene tilhører imidlertid selve kjernen i den usikkerheten som preger hele teorien. Det er også delte meninger og forskjellige oppfatninger om hva som foregår inne i materialet. Dette så meget mer som de to omtalte strømningsfenomener ikke behersker problemet alene, men er ledsaget av parallelle fuktighetsstrømmer av andre former og også i forbindelse med varmeutveksling.

ERFARINGER FRA FORSØK UTFØRT VED NORGES BYGGFORSKNINGSINSTITUTT

Forsøkene har hovedsakelig vært utført i vinterhalvåret ved konstant inneklimate med temperatur + 20 °C og rel. fuktighet 60 %. Lufttrykket inne har tildels vært normalt, tildels har det forekommet innvendige over- og undertrykk av størrelse opptil et par mm VS. Det har også vært utført forsøk på eftersommeren og utover høsten. Ved disse forsøk har inneklimate vært vekslende.

De undersøkte bindingsverksvegger har hovedsakelig hatt innvendig kledning av 20 mm porøs fiberplate,, 10 cm mineralullisolasjon og utvendig liggende, falset panel. Papplagene mellom isolasjon og kledninger har vært variert i mange forskjellige kombinasjoner. Mellom ytterpapp og utvendig panel er det et 2 cm bredt ikke ventilert luftrom.

Forsøkene har bevist riktigheten av den almindelige antagelsen om innflytelsen av tettheten i innerkledning og ytterkledning på fuktighetsforholdene i veggen. Fuktigheten har variert fra felt til felt i overensstemmelse med det som var ventet etter pappkombinasjonene. Med hensyn til tidspunktene for begynnende kondensering på ytterpapp, så har disse også inntruffet i den rekkefølge de var ventet. Det har bare forekommet ubetydelige avvik.

Forskjellen på utfelt fuktighetsmengde og på utstrekningen av tidsrom med forekommende kondensering, var imidlertid meget stor for de enkelte felt. Det kan f. eks. nevnes at det i de aller beste felt, dvs. felt med pappkombinasjon innv./utv. — diffusjonstett papp/forhudningspapp — forhudningspapp/kraftpapp — bare forekom ubetydelig kondensering under de strengeste kuldeperiodene. Innvendig papp hadde klemte skjøter med 10 cm omlegg og spikeravstand 10 cm.

I felt med kraftpapp innvendig og diffusjonstett papp utvendig ble det konstatert kondensert vann på ytterpappen allerede i slutten av august måned ved inneklimate + 20 °C og 60 % rel. fukt. Ved kontrollen var utetemperaturen + 16 °C. Middelttemperaturen for siste døgn for kontrollen var + 9,5 °C, med maks.tempera-

tur + 17 ° C og min.temperatur + 3,5 ° C. De nærmest foregående døgn hadde temperaturen vært stabil med døgnmiddeltemperaturer fra + 17 ° C til + 14 ° C. Dvs. at en slik veggkonstruksjon vil, når den blir utsatt for dette innklimaet, praktisk talt aldri få anledning til å tørke ut, men vil bli utsatt for en mer eller mindre sterk nedfuktning så å si hele året gjennom. Midtvinters var ytterpappen i disse feltene normalt dekket med flere mm tykke is- og rimlag. Lokalt kunne tykkelsen undertiden bli bortimot 1 cm. Forøvrig var tykkelsen vanskelig å fastslå, da isolasjonen som regel var frosset fast til pappen. Man må ta i betraktning at betydelige mengder fuktighet vil ha rent av pappen før frysningsen og i mildværsperioder.

Det viste seg imidlertid at flere felt holdt meget lenger stand mot kondensering enn man teoretisk skulle vente. Dette gjaldt særlig felt med asfaltimpregnert forhudningspapp på begge sider av isolasjonen. Dette må skyldes den tidligere omtalte avvikelsen fra Ficks lov fordi den midlere relative fuktigheten vil være meget høyere omkring ytterpappen, og følgelig vil diffusjonsmotstanden i ytterpappen være sterkt redusert, i forhold til tettheten av innerpappen.

I felt med diffusjonstett papp på begge sider samt i felt med meget dampåpen papp (kraftpapp) på begge sider, var det vanskelig å påvise noen slik effekt. I begge disse intraff kondenseringen adskillig tidligere og ved høyere utetemperaturer. For den diffusjonstette pappens vedkommende er forklaringen sannsynligvis den at den er meget lite hygroskopisk. For kraftpappens vedkommende må man anta at dens diffusjonsmotstand i forhold til konstruksjonens øvrige materialer under alle omstendigheter er så liten at en forandring ikke vil gjøre seg merkbare.

Som en kort sammenfatning av disse iakttagelsene kan man si at forholdet mellom diffusjonstetthet i pappen på varm og kald side er av avgjørende betydning for tidspunktet når kondensering vil inntreffe, og at tettheten av pappen på isolasjonens varme side er avgjørende for hvor sterkt veggen blir nedfuktet når det kondenserer.

[Under de forsøk som blir utført av Torp og Græe ved Institutt for bygningslære, Norges landbrukshøgskole, har man gjort en interessant iakttagelse som må tilskrives det samme fenomen, at pappens diffusjonsmotstand reduseres med økende relativ fuktighet omkring den.

Under forsøk med varierende tykkelse av isolasjonslaget i for øvrig likt konstruerte veggfelt, fikk man økende kondensering med *avtagende* tykkelse av isolasjonslaget. Størst var kondenseringen i feltene uten isolasjon, og den var minst i feltene med hele hulrommet fylt med isolasjon. Hulrommets tykkelse var 10 cm. I feltene med redusert isolasjonstykkelse var isolasjonen anbragt på innvendig side av ytterpappen. Forsøkene ble utført i laboratorium med kontrollert klima på begge sider av feltene. På varmsiden var klimaet konstant med temperatur + 15 ° C og rel. fukt. 85 %. På kaldsiden ble temperaturen senket trinnvis i intervaller på 5 ° C fra ± 0 ° C til — 20 ° C. Den relative fuktigheten var også her omkring 85 %. Alle felt hadde en hygroskopisk forhudningspapp på varmsiden. På kaldsiden var det variert med dampåpen kraftpapp, forhudningspapp og dampnett plastfolie. I alle felt fikk man økende kondensering med synkende temperatur på kald side, hvilket er normalt.

Forskjellen mellom kondensatmengden i ikke isolerte eller lite isolerte felt, og felt med full isolasjon, øket

med synkende temperatur. Forskjellen var størst for felt med dampnett skikt på kald side. Den økende kondensering med avtagende isolasjon må skyldes at diffusjonsmotstanden i pappen på varmsiden blir sterkt redusert i de ikke isolerte eller dårlig isolerte feltene, p. gr. a. at disse vil få en meget lavere temperatur på innerskiktet enn de høyisolerte, og dermed lavere metningstrykk og høyere relativ fuktighet omkring den varme pappen. P. gr. a. den forholdsvis høye relative fuktigheten i inneluften forekom det ganske tidlig kondensering på den varme pappen i de uisolerte feltene. Når pappen blir direkte befuktet, vil den også absorbere en del av denne fuktigheten, og dermed øker fuktighetsgjennomgangen ytterligere i meget sterk grad. Dette skyldes den store skjevheten som derved oppstår i fuktfordelingen gjennom pappen. Ved de laveste temperaturer på kaldsiden forekom det også isdannelse på pappen på varmsiden i de uisolerte felt, hvilket viser hvor sterkt temperaturen i dette skikt kan bli senket p. gr. a. manglende isolasjon].

Pappen fryser

Ennvidere har det vist seg at innflytelsen fra ytterpappen avtar når utetemperaturen synker så lavt at temperaturen på ytterpappen kommer under ± 0 ° C og at papptypene da nærmer seg hverandre med hensyn til diffusjonstetthet. Dette kommer av at ytterpappen fryser.

Man kan anta at mekanismen er følgende: Det vil alltid være en viss mengde fuktighet i pappen, og denne fuktmengden vil avhenge av hvor hygroskopisk pappen er og hvor tett pappskiktet på varmsiden av isolasjonen er. En del av fuktigheten som er tilstede i pappen, vil fryse til is og gjøre pappen litt tettere. Den økede motstanden vil igjen medføre at damptrykket — og dermed den relative fuktigheten på pappens innerside — stiger, hvilket igjen medfører større fuktopptagning, frysing og økning av motstanden i pappen. Dersom pappskiktet på den varme siden av isolasjonen er hygroskopisk, så vil dettes motstand samtidig reduseres p. gr. a. økningen av den relative fuktigheten inne i veggen. Resultatet vil bli en aksellererende fremskynning av tidspunktet for kondensering på overflaten av ytterpappen. Fra det tidspunkt overflatekondensering inntreffer, vil motstanden øke meget raskt eftersom pappen dekkes med is, og snart vil pappen få karakter av et utvendig dampnett sperreskikt.

Helt tett kan imidlertid pappen ikke bli, idet det alltid vil være en viss sublimering fra dens ytterside. Dessuten vil den kontinuerlige frigjøringen av varme fra kondenseringen på pappens innerside bidra til å øke sublimeringen fra yttersiden. Jo lavere utetemperaturer synker, desto tettere vil imidlertid pappen virke fordi damptrykkfallet fra pappen til uteluften da stadig avtar.

Jo fuktigere pappen er ved den begynnende frysningsen, desto hurtigere vil denne prosessen forløpe, og pappen vil få karakter av sperreskikt ved desto høyere temperaturer. Det er derfor sannsynlig at en lite eller ikke hygroskopisk dampåpen papp kombinert med innvendig sperreskikt vil kunne tåle meget lave temperaturer uten å fryse og bli tett, mens derimot en dampåpen hygroskopisk papp kombinert med en dampåpen innvendig papp vil fryse ganske tidlig og bli tett ved temperaturer som bare ligger noen få grader under ± 0 ° C. Sammenholder man dette med de ovenfor anførte iakttagelser i forbindelse med avvikelsene fra Ficks lov, er det nærliggende å slutte at kombinasjoner av hygroskopisk papp i høyisolerte konstruksjoner, ved

økende klimapåkjenninger på varmsiden vil ha en tendens til å konsentrere kondenseringen mot temperaturen $\pm 0^{\circ}\text{C}$ på ytterpappen.

Relativ fuktighet i feltene

Det er blitt foretatt et stort antall målinger av den relative fuktigheten i luften i flere punkter gjennom isolasjonen i feltene. Målingene ble foretatt ved innlegg av strimler av en meget følsom hygroskopisk papp. Disse pappstrimlene har vist en forbløffende god evne til å skille de forskjellige feltene ut fra hverandre med hensyn til deres kvalitetsmessige egenskaper like overfor klimapåkjenninger. De har også vist seg meget følsomme overfor forandringer i påkjenningene.

Alle målinger viser at den relative fuktigheten er minst ved innerpappen og at den stiger sterkt etter en voksende kurve mot den kolde siden. Før kondensering inntreffer, viser de at den relative fuktigheten ved ytterpappen ligger under 100 %. Etterat kondenseringen har begynt, viser de at luften er mettet ved ytterpappen, men at den relative fuktigheten synker så snart man kommer inn i isolasjonen. De viser også at når det kondenserer i feltet, blir den relative fuktigheten i isolasjonens varme side, samt forløpet av fuktkurven gjennom isolasjonen, hovedsakelig bestemt av temperaturen på ytterpappen og damp tettheten i den innvendige pappen.

Dette er en tydelig bekreftelse på at ved kondensering har ytterpappens diffusjonsmotstand ingen innflytelse på trykkforholdene i feltet, og at temperatur og metningstrykk på ytterpappens innvendige side bestemmer det indre og ytre trykkfall og således også damp tilstrømmingen til kondenseringsflaten samt fuktighetstransporten fra kondenseringsflaten til friluft. Den kondenserte fukt mengde pr. tidsenhet blir differansen mellom tilstrømmet og avtransportert fukt mengde. Den avtransporterte fukt mengde til friluft vil selvsagt også være avhengig av ytterpappens diffusjonstetthet. Dersom ytterpappen er absolutt tett, vil denne transporten bli lik null, men trykkforholdene vil være de samme under forøvrig uendrede forutsetninger. Den kondenserte fukt mengde pr. tidsenhet blir da lik damp tilstrømmingen til kondenseringsflaten. Dette er matematisk et perfekt bilde av en synk med uendelig kapasitet.

Videre er det også en bekreftelse på at varme- og dampstrømninger i isolasjon av mineralull følger «loven om den kolde veggen», således at all fuktighet blir utfelt på nærmeste kolde flate, og ingen kondensering forekommer inne i selve isolasjonen. Dette kan imidlertid ikke sluttet entydig fra disse forsøkene, for når man sammenholder den relative fuktigheten gjennom feltet med temperatur- og metningstrykkfordelingen, viser det seg at i felt med dampspærreskikt innvendig er damptrykket konstant gjennom hele isolasjonen, i felt med forhudningspapp innvendig er det en meget svak trykkøkning mot varmsiden, og i felt med kraftpapp på innvendig side er trykkøkningen adskillig større, men dog betraktelig mindre enn antatt. Dvs. diffusjonsmotstanden i mineralullen har — alt etter motstanden i de øvrige materialene — en viss, men dog meget liten innflytelse på trykkforholdene i feltet. Dette kan selvfølgelig nettopp være en årsak til eller virkning av «loven om den kolde veggen». Forøvrig vil trykkfordelingen i isolasjonen være influert av faktorer som f. eks. konveksjonen og den avgitte kondensasjonsvarmen.

Variierende inneklima

Under forsøkene med varierende inneklima skulle veggene tørkes etter en periode med forholdsvis lav temperatur og høy relativ fuktighet i inneluften. Temperaturen ble derfor høynet med ca. 10°C , og vannfordamperne ble koblet ut, så luftens relative og absolute fuktighet sank. Resultatet ble stikk motsatt av det ventede, idet dette førte til en meget sterk økning av kondenseringen på ytterpappen i feltene.

Dette kan bare forklares med at dampkapasiteten av de porøse fiberplatene er kommet forstyrrende inn i bildet. Under perioden med høy relativ fuktighet i inneluften har platene absorbert fuktighet inntil likevekt var oppnådd. Da temperaturen ble hevet, steg damptrykket i platene sterkt, og endel av fuktigheten ble presset ut i veggen. Endel ble presset tilbake inn i rommet igjen inntil likevekt med den nye luftfuktigheten var opprettet. Fiberplatene utøver en slags pumpevirksomhet — sug og trykk — i to etapper.

Av dette er det nærliggende å slutte at vegger med innvendig kledning av et sterkt hygroskopisk materiale og med stor dampkapasitet i kledningen, kan bli adskillig mer nedfuktet når inneklimateet svinger enn når det er konstant. Antagelig vil det for enhver vegg ved en bestemt middeltemperatur være en bestemt ugunstig svingefrekvens, som gir et maksimum av fuktighetsøkning i veggen i forhold til den fuktighet som ville utfelles, dersom det var et konstant inneklimate. Den ugunstigste svingefrekvensen vil bli bestemt av hvor hurtig det absorberende skikt opptar og avgir fuktighet, og det vil foruten av temperaturen avhenge av materialets dampkapasitet og diffusjonstall samt av skiktykkelsen.

Tørrking

Undersøkelsene har vist at både nedfuktning og uttørring av feltene begynner ovenfra og foregår nedover. Tørrkingen foregår adskillig langsommere enn nedfuktningen, såvel i isolerte som i uisolerte felt. Tørrkingen foregår meget hurtigere i uisolerte felt enn i isolerte felt, og den foregår også meget hurtigere i felt med dampåpen ytterpapp enn i felt med damp tett papp på yttersiden.

Det ble også iaktatt at et høyt sammenhengende luftrom i veggen forårsaker sterkere kondensering enn et som er oppdelt i flere mindre rom, og at det også tørker langsommere ut igjen.

Orientering

Veggene i forsøkshuset er orientert mot syd og nord. Det viste seg at nordveggen er adskillig mer utsatt for kondensering enn sydveggen. Mens fuktigheten i feltene på sydveggen varierte ganske bra i overensstemmelse med forandringene i uteklimateet, foregikk det i feltene på nordsiden en kontinuerlig fuktighetsoppsamling i løpet av vinteren. Særlig merkbar ble forskjellen når solen begynte å få godt tak i sydveggen ut i februar måned. Man må regne med at atskillig mer fuktighet har dryppet av feltene på sydveggen enn på nordveggen, og at dette har vært medvirkende til svingningene i fuktighetsinnholdet.

Lufttrykk

Det ble konstatert at luftovertrykk i inneluften førte til sterk økning av kondenseringen i feltene, og at luftgjennomgangen medførte kondensering i felt som holdt seg helt tørre under normalt lufttrykk, men med like

klimapåkjenninger forøvrig. Fuktigheten slo seg særlig ned i striper like overfor munningen av skjøtene i innvendig papp. Alle skjøtene var klemte med 10 cm omlegg og 10 cm spikeravstand.

Omvendt virket et innvendig luftundertrykk uttorkende på feltene. Det var særlig på sydveggen undertrykket var virksomt. På nordveggen var virkningen adskillig mindre. Dette kommer sannsynligvis av at fuktigheten her forekom mer i form av is. Ellers er å bemerke at den positive virkningen av undertrykket var mindre enn den negative virkningen av overtrykket.

Diverse andre iakttagelser

Mineralullisolasjonen holder seg meget tørr selv i felt hvor det forekommer sterk kondensering. Det er bare ytterskiktet, ca $\frac{1}{2}$ — 1 cm, som kan bli sterkt nedfuktet når det ligger an mot kondenseringsflaten. En annen ting er at i vegger som står utsatt for sterke, vedvarende klimapåkjenninger i lange tider, vil islaget vokse innover i isolasjonen, slik man kjenner det fra fryseromsvegger.

Små rifter i et tett sperreskikt kan medføre lokal kondensering, og vanddampen vandrer i slike tilfelle rett gjennom isolasjonen og kondenserer mot ytterpappen i flekker like overfor hullene i sperreskiktet.

I felt med innvendig betongvange 5 cm, mineralullisolasjon 10 cm og utvendig betongvange 5 cm forekommer det meget sterk fuktighetsutfelling i løpet av den første vinteren. Senere holder feltene seg bra tørre. Nedfuktingen i løpet av den første vinteren skyldes byggfuktighet i den indre vangen som presses gjennom isolasjonen mot koldsiden når det blir varmegjennomgang gjennom veggen. Fersk betong har normalt et innhold av ikke kjemisk bundet vann på vel 100 l/m³.

ERFARINGER FRA PRAKSIS. KARAKTERISTISKE TREKK VED ENKELTE TYPISKE ARSAKER TIL KONDENSERING

Kondensering p. gr. a. luftgjennomgang

Forekommer helst i godt ventilerte betongtak med isolasjon på innvendig side, men har også forekommet i kolde tretak. Himlingen har gjerne en komplisert form med mange muligheter for utettheter i sperreskiktet. Forekommer gjerne i forbindelse med ventilasjonsanlegg som arbeider med innvendig luftovertrykk. Inneluftens relative fuktighet behøver ikke være eksepsjonelt høy. Ytrer seg gjerne ved sterk tilsynkomst av fuktighet ved omslag til mildvær etter lange kuldeperioder. Dette skyldes is og rim som smelter. Det har forekommet at det drypper fra taket og at man hører vannet renne i skillevegger. Tørker hurtig ut og medfører neppe fare for råte, men har forårsaket misfarvninger og frostsprengninger. Har også forårsaket branntilløp p. gr. a. kortslutning i elektriske installasjoner.

Husk: *Ventilasjon mellom yttertak og isolasjon er absolutt nødvendig i de fleste isolerte tak, men da må dampsperrskiktet som regel alene også overta lufttettingsfunksjonen. Det krever derfor ekstra omhyggelig utførelse.*

Kondensering p. gr. a. dampdiffusjon

Forekommer i hus med høy relativ fuktighet i inne-luften. Dårlig ventilasjon og tung, inntengt luft er en god indikasjon. Likeledes sterk dugging på vinduer, bak møbler, i skap etc. som står inntil yttervegger. Forekommer gjerne i leiligheter hvor det er små barn og mye vask og tørking inne. Konstruksjonsfeil: tett

ytterhud og manglende eller dårlig dampsperrskikt, ingen ventilasjon i isolerte tak. Ved isolerte tak med meget damptett tekking, f. eks. papptak, og manglende ventilasjon, er det fare selv om inneluftens fuktighet ikke er eksepsjonelt høy. Fuktighetsangrepet på konstruksjonene er ofte vanskelig å oppdage. Man må først kjenne mugglukst eller trække gjennom takbordene. Trematerialene er da gjerne sterkt angrepet av råte og kan plukkes i stykker med fingrene. Det er gjerne dugg og fine dråper på undersiden av takpappen.

Kondensering p. gr. a. fuktighetskilder inne i selve konstruksjonen

Forekommer hvor fuktige eller dårlig tørkede materialer blir bygget inn mellom to meget damptette skikt. Hvor det er organiske materialer tilstede, kan det medføre råte som beskrevet ovenfor. Ofte kan et damptett skikt bare på materialets ene side være tilstrekkelig til å forårsake skader, idet det som regel vil forekomme temperaturgradienter i konstruksjonene. Hvis temperaturen faller mot den side hvor det damptette skiktet befinner seg, vil størstedelen av fuktigheten bli drevet mot skiktet og tildels kondenseres. Tørkingen tilbake mot varmestrommen kan ta meget lang tid. Dette er en almindelig årsak til ødeleggelse av linoleum på betonggulv, og det er en vesentlig årsak til blæringen i papptak og lignende tak.

Kapillærkondensasjon og absorpsjon

Kondensering i denne form er årsaken til at bjelkelag og andre trematerialer i gulv over ikke utgravd kjeller råtner, når det mangler ventilasjonsåpninger i grunnmuren.

Luftfuktigheten i hulrommet under gulvet vil være nær metningspunktet, og selv om gulvmaterialene vanligvis vil ha litt høyere temperatur enn luften, så vil de allikevel absorbere adskillig mer fuktighet enn det som skal til for å overskride faregrensen for råteangrep. Ved mindre svingninger i temperaturforholdene vil det også kunne forekomme overflatekondensasjon av vann som slår seg ned i dråper på materialene. Kapillærkreftene vil suge vannet inn i materialene.

Dette fenomenet kan også være en av årsakene til at det dannes seg fuktighet under gulvbelegget i betonggulv direkte på bakken, f. eks. i kjellergulv. Selv om det er god drenering under huset, så kan luften i kultlaget være mettet med vanddamp. Betongen vil absorbere fuktighet fra luften og transportere fuktigheten til overflaten ved spredningstrykk og kapillærsugning. Luften under det tette gulvbelegget vil bli mettet, og kondensering vil forekomme ved små temperaturendringer.

Kondensering p. gr. a. flere sammenvirkende årsaker

De ovenfor skisserte karakteristiske trekk ved enkelte forekommende former for kondensering er ment som en rettesnor ved vurdering av muligheter for, og årsaker til, skader p. gr. a. fuktighet.

Man må imidlertid være oppmerksom på at årsaks- og virkningsforholdet sjelden vil være så skjematisk og enkelt som her er antydnet. Svært ofte vil det foreligge en kombinasjon av flere forskjellige årsaker, gjerne i form av en vekselvirkning.

Man må dessuten være oppmerksom på at skader p. gr. a. kondensering tross alt bare utgjør en beskjeden del av alle forekommende fuktighetsskader også i bygninger. De aller fleste slike skader vil kunne tilbakeføres til vann som opprinnelig er tilført konstruksjo-

nene på annen måte, f. eks. ved lekkasjer av regnvann. Dette vannet kan så danne fuktighetskilder inne i selve konstruksjonene, og disse kan igjen føre til typiske kondenseringsskader. Det er en almindelig foreteelse f. eks. ved terrasser og flate tak over oppvarmede rom.

Når man står overfor et tilfelle av fuktighetsskader i hus, og skal forsøke å finne årsaken, gjør man derfor klokt i først å undersøke grundig om det foreligger muligheter for at vannet kan ha kommet inn i konstruksjonene på annen måte, før man konsentrerer etterforskningen om en eventuell kondensering.

ANDRE UNDERSØKELSER

De tidligere omtalte forsøk, som er utført av Institutt for bygningsteknikk, NLH, har i alt vesentlig frem-

bragt de samme resultater som undersøkelsene ved NBI, så langt undersøkelsene har gjort det mulig å studere de samme fenomener. Dette er av særlig verdi fordi det har vært benyttet forskjellig metodikk, forskjellige konstruksjoner og forskjellige påkjenninger. Resultatet av undersøkelsene ved NLH er gjengitt i følgende publikasjoner av Asbjørn Torp og Trygve Græe:

«Luftstrømnings betydning for fuktighetsvandring og kondensasjon i bindingsverkskonstruksjoner». Melding nr. 15 fra Norges landbrukshøgskole. Bygg nr. 1 — 1961. — Artikkel.

«Fuktighetsvandring i bindingsverksvegger ved forskjellige temperaturer på kald side av vegg». Bygg nr. 4 — 1961. — Artikkel.

De to artikler foreligger også i særtrykk.

Konstruksjon av massive tak

Av arkitekt MNAL Trygve Isaksen,

Norges byggforskningsinstitutt

DK 69.024

I redegjørelsen er statiske problemer ikke berørt. Dimensjonering av varmeisolasjon, dampsperrsjikt og luftesystemer er behandlet forholdsvis utførlig. Oppløste tak, dvs. oppforede og doble tak er tatt med. Et valg av konstruksjon over gitt lokale er belyst ved et regneeksempel. Erfaringer fra undersøkelser i forsøkshus og på vanlige tak er nevnt under omtale av de respektive taktyper, vanlig forekommende skader likeså.

1.0 Generelle betraktninger.

1.1 Definisjoner.

I et massivt tak er alle lag i konstruksjonen lagt oppå hverandre, i intim kontakt med hverandre. Når vi lufter isolasjonen rikelig, har vi ikke lenger med et

massivt tak å gjøre. Siden lufting har vist seg å være påkrevd i en rekke massive konstruksjoner, må luftede tak tas med her. Av samme grunn behandles oppløste tak, fordi de i mange tilfelle vil være de billigste og best egnede.

Et flatt tak har helning under 5° (1:10), hellende tak er her alle med større fall. Takene består ofte av de samme materialer. Varmeisolasjon, dampsperrsjikt og luftesystem dimensjoneres stort sett ut fra samme forutsetninger.

1.2 Hvordan uteklima og påkjenninger ovenfra virker på flate og på hellende tak.

Virkningene er for en stor del bestemt av takvinkelen. På det flate taket vil regn og stående overflatevann lett få store virkninger om der er de ubetydeligste huller i tekningen. Solstrålenes asfaltnedbrytende virkning vil ofte være størst på et sterkt hellende tak, f. eks. ved foten av skalltak.

Fig. 1 viser en påkjenning som ingen av takene står seg mot i lengre tid. Damehæler er tekningenes verste fiender, mest utsatt er tekningen når underlaget mykner i solvarmen, jeg nevner her plastisolasjon som i såkalte utrafikerte tak sjelden beskyttes av stiv avretning oventil. De flate tak vil alltid være utsatt for „uberegnetlig” trafikk så lenge der er god adkomst til dem.

Tynne tekninger på hellende tak skades lett av blikkenslagere under uunngåelig montasjebeid, selv om underlaget er stivt nok, se *fig. 2*.

Det er lettere å lufter isolasjon på hellende tak fordi vanddampen blir hjulpet av naturlig oppdrift i luftstrømmen. *Vinden* vil angripe takene på forskjellig måte, nyere engelske målinger har gitt resultater som fremgår av *fig. 3* og *4*. Av *fig. 4* ser man at meget lette tak må forankres skikkelig. Man ser videre at tekningen like ved de verste vindhjørner enten må sitte godt fast i underlaget eller være belastet. For lufting og uttørring av tak er vi interessert i de gjennomsnittlige vindhastigheter og trykk.

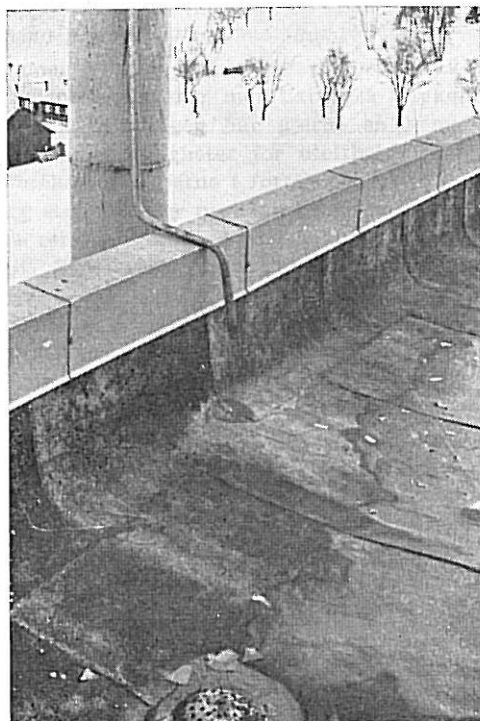


Fig. 1. Damp og kokende vann ødelegger tekningen.

1.3 *Inneklima og påkjenninger innenfra* virker stort sett likt på flate og hellende tak.

Konstruktøren må kjenne temperaturer og fuktighet i romluften før han dimensjonerer varmeisolasjon og dampsperrer. Han må vite om taket kan nedfuktes lokalt av „vått” maskineri nær taket. Generelt kan man si at dess varmere og fuktigere romluften er, dess kraftigere må isolasjon og dampsperre gjøres og dess rikeligere må luftsystemet dimensjoneres om taket skal holde seg tørt slik at varmetapet blir minst mulig. Et sterkt forenklet eksempel på dimensjonering av varmeisolasjon vil vise hvor avhengig isolasjonen er av temperaturer og fuktighet i romluften:

Romluftens damptrykk $p_{di} = 17,54$ mm Hg
 „ temperatur 1) $t_i = +22^\circ\text{C}$
 „ „ 2) $t_i = +30^\circ\text{C}$
 Uteluftens temperatur $t_u = +20^\circ\text{C}$
 „ damptrykk $p_{du} = 0,6$ mm Hg

Varmeovergangsmotstander:
 $1/a_i + 1/a_u = 0,20$ m² h °C/kcal

Bæresystemets varmemotstand settes = 0,10 „,-

Takets varmemotstand uten egentlig varmeisolasjon = 0,30 m² h °C/kcal

Duggpunktstemperatur t_d for $p_{di} = 17,54$ mm Hg er +20°C.

1) $t_i - t_d = (22 - 20)^\circ\text{C} = 2^\circ\text{C}$

Totalt temperaturfall over taket = 42°C

$t_i - t_d = 2^\circ\text{C} = \text{ca } 5\%$ av 42°C

Da må $1/a_i = 5\%$ av takets totale varmemotstand hvis dugging skal unngås eller så vidt forekomme ved $t_u = -20^\circ\text{C}$.

Om $1/a_i$ kan settes = 0,15 m² h °C/kcal har vi total varmemotstand i taket:

$$m = \frac{0,15}{5} \cdot 100 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/kcal} = 3,0 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/kcal}$$

og varmeisolasjonens motstand = $3,0 - 0,3 = 2,7$ m² h °C/kcal.

I dette tilfelle må velges et meget godt varmeisolasjonsmateriale, mineralull, styropor eller ekspandert kork.

a) Mineralull eller styropor, $\lambda = 0,035$ kcal/m h °C
 $d_{\text{nodv}} = 2,7$ m² h °C/kcal gir $d_{\text{nodv}} = 9,5$ cm og praktisk tykkelse = 10 cm

b) Ekspandert kork, $\lambda = 0,04$ kcal/m h °C
 $d_{\text{nodv}} = 10,8$ cm og „praktisk” tykkelse = 11 cm
 Her vil antakelig isolasjonsmaterialets pris være avgjørende også for valg av konstruksjon.

2) $t_i = +30^\circ\text{C}$

$t_i - t_d = 10^\circ\text{C}$

Totalt temp.fall = 50°C og $t_i - t_d = 20\%$ av 50°C.

Settes atter $1/a_i = 0,15$ m² h °C/kcal, er nødvendig total varmemotstand

$$m = \frac{0,15}{20} \cdot 100 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/kcal} = 0,75 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/kcal}$$

varmeisolasjonens motstand = $(0,75 - 0,3)$ m² h °C/kcal = 0,45 m² h °C/kcal. I dette tilfelle kan man velge et tyngre, anorganisk isolasjonsmateriale, f. eks. gassbetong, hvis praktiske λ antas lik 0,15 m h °C/kcal i den første tiden etter at tekningen er lagt på. Nødvendig tykkelse blir 0,067 m = 7 cm om gassbetongen plasseres på et betongdekke.

Eksemplene er bare rå overslag basert på en bestemt verdi av $1/a_i$. Overgangsmotstanden vil kunne senkes betraktelig hvis man ventilerer lokalet slik at der oppstår luftstrømmer langs taket. Konstruktøren bør få greie på slike forhold av byggets varmetekniske konsulent.

Aggressive gasser fra produksjon i lokalet kan ødelegge armering i taket. For noen år siden ga den svenske byggforskningen ut en rapport om hvordan gasser fra



Fig. 2. Tynne tekninger skades lett selv på bordtak. Bordene vises gjennom tekningen.

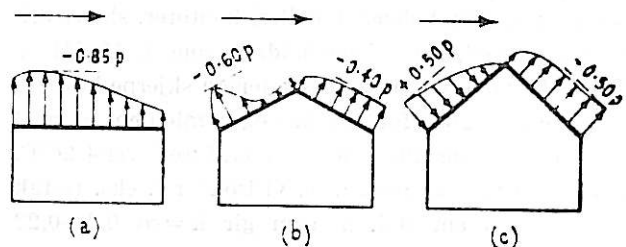


Fig. 3. Engelske målinger av trykkforhold over tak med forskjellig helning.

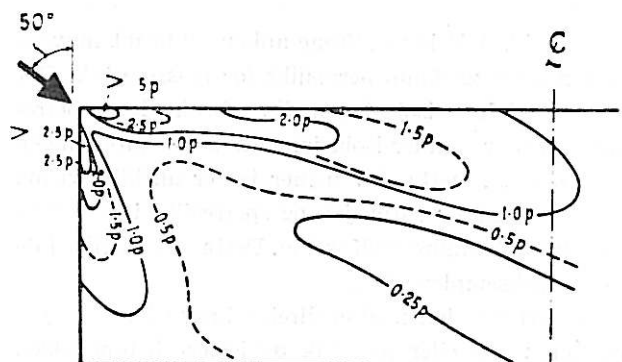


Fig. 4. Engelske målinger av trykkforhold på 6° pulttak.



Fig. 5 a. Massive konstruksjoner.

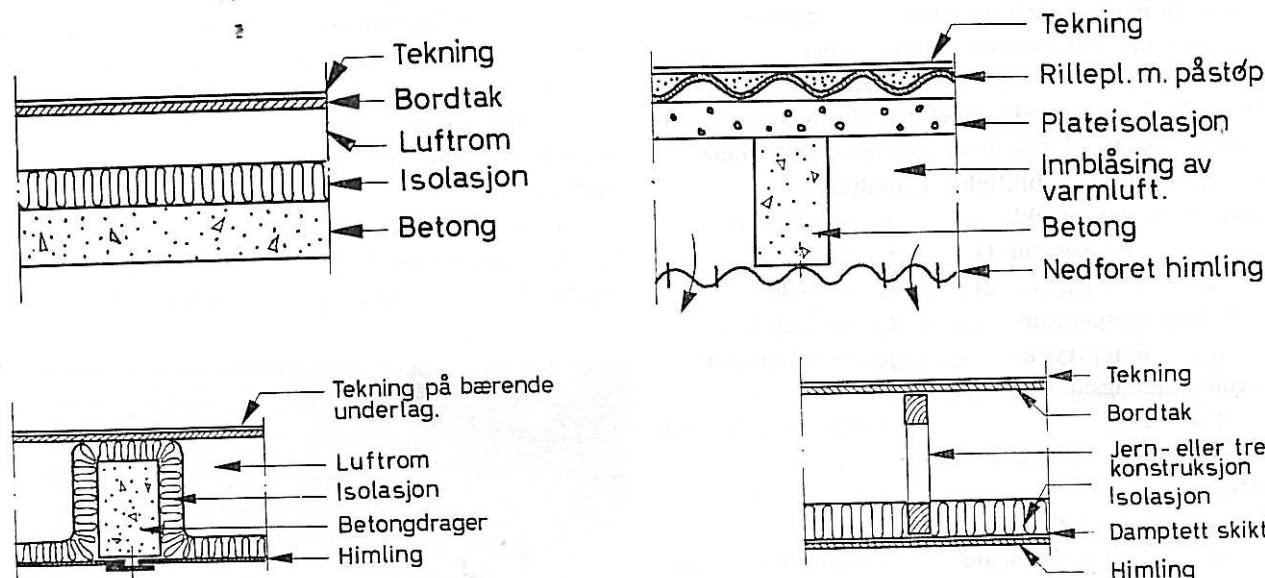


Fig. 5 b. Oppløste tak.

stålproduksjon skadet armerte lettbetongplater. Konstruktøren må spørre seg for hos materialleverandør og evt. korrosjonseksperter i tvilstilfelle.

1.4 Byggeforskriftenes krav.

Kap. 5, § 5: Minstekrav til varmegjennomgangstallet (k) for tak over boliger, hoteller, kontorer, skoler o.l. er 0,9—0,8—0,7—0,6 i henholdsvis sone I, II, III og IV. Det er overlatt bygningsrådene å skjærpe bestemmelsene med 10% for sykehus og gamle hjem og med 20% for badeanstalter med temperaturer over +20°C. Kravene er meget moderate, vi isolerer f. eks. treetak med 10—15 cm steinull som gir $k = ca\ 0,3—0,22\ kcal/m^2\ h\ ^\circ C$.

Kap. 22, § 2 og 3: Forskriftenes krav om takteknings tykkelse og kvalitet er utilstrekkelige og forældede.

Kap. 22, § 4: Forskriftene anbefaler brukt innvendige nedløp og dampsperrsjikt for massive tak. Det anbefales å lufte isolasjonen eller å bruke dampsperrsjikt på romsiden av isolasjonen hvis hovedteknningen er damptett. Dette eller mener jeg er uheldig, vi må ofte ty til både ventilasjon og sperrsjikt i konstruksjonen for å hindre nedfukting. Dette var tilfellet i de to regneeksemplene foran.

Forskriftene har med et direkte krav til ventilasjon mellom bord- eller platetak og isolert betongdekke, slik at råte i bordtaket kan unngås og istappdannelser

ved takskjegget forhindres hvis bygget har utvendige taknedløp. — Det siste kravet blir ofte ikke fulgt, det hender at arkitekten plasserer takrennen helt inntil veggen slik at det blir umulig å få luftet taket ved overgangen til veggen.

Kap. 23, § 3: omhandler takfall (minst 1:75) og takflate pr nedløp:

for 3'' soil	maks.	50	m ²	tak
„ 4''	„	250	„	„
„ 5''	„	450	„	„

På utrafikerte tak lager vi gjerne fallet større, 1:40 anser vi passer som nedre grense for 2 lags papptekninger. Dette fører med seg at det som regel blir 100—150 m² for hvert 4'' nedløp. Forskriftene forlanger at nedfallsrør skal isoleres mot oppvarmede rom og at man må varme dem opp når de passerer uoppvarmede rom. Der er videre krevd at nedløpene skal forsynes med vannlås hvis de munner ut under vinduer eller i balkonger og er knyttet til kloakknett.

2.0 Hovedtyper av aktuelle tak.

2.1 Både flate og hellende tak kan plasseres innen 4 hovedtyper som presenteres i fig. 5 a og b.

2.1.1 Massivt tak med bærende og varmeisolerende funksjoner atskilt. Betongdekke m/uluftet eller luftet varmeisolasjon av plass-støpt lettbetong, lettbetongblokker, lettbetonggrus, treullcementplater, styropor, ekspandert kork.

Tabell 1. Nødvendige minstetykkelser (i cm) av varmeisolasjon i massive tak.

Varmeisol. materiale	Sone I			II			III			IV		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1. Lettbetongblokker på betongdekke, m/tynn avretning.....	14	16	18	16	18	—	19	—	—	—	—	—
2. Rikelig luftet lettbetong på betongdekke. Tynn avretning.....	11	12	14	12	14	17	15	17	19	18	20	—
3. Lecagrus, 10—20 mm, 4 cm avretning. Betongdekke A/F = 1/1500...	8	9	11	10	11	13	12	13	15	14	16	19
4. Styropor uten avretning. Betongdekke.....	2,5	3,0	3,0	3,0	3,0	4,0	3,5	4,0	4,5	4,0	5,0	5,5
5. Ekspandert kork uten avretning. Betongdekke.....	3,0	4,0	4,0	4,0	4,0	5,0	5,0	5,0	6,0	6,0	7,0	7,5
6. Treullcementplate på betongdekke. Luftet gruslag, avretning. Papp over plate.....	8	9	11	10	11	13	12	13	15	14	16	18

2.12 Massivt tak med selvbærende varmeisolasjon vanligvis av armerte lettbetongplater.

2.13 Oppforet tak på betongdekke som oftest isolert med mineralullmatter.

2.14 Doble tak hvor f. eks.:

1) Luftet selvbærende varmeisolasjon ligger forholdsvis høyt over en nedforet, uisolert himling. Mellomrommet brukes til innføring av forvarmet friskluft til lokalet.

En uisolert himling er også i noen tilfelle brukt under massivt tak med betongdekke. Typen brukes over fuktige lokaler.

2) Bord- eller platetak over en høyisolert, mest mulig damp tett himling. Konstruksjonen brukes over varme, fuktige lokaler.

3.0 Hva vi vet om takene.

3.1 Massive, flate og hellende tak.

3.11 Dimensjonering av varmeisolasjon.

Tabell 1 viser minste-tykkelse av forskjellige isolasjonsmaterialer vi idag bruker i takene. En del kommentarer er nødvendige.

1) Vanninnholdet er for lettbetongblokkene satt = 10 vol%. Blokkene inneholder så mye vann når de kommer til byggeplassen, og de blir som regel våtere før tekningen legges. Romvekt 440 kg/m³. λ_{10 vol} = ca 0,17 kcal/m h °C. Dette er et gunstig tilfelle når konstruksjonen er uluftet eller dårlig luftet.

2) Vanninnholdet er nå regnet etter byggeforskriftene = ca 4 vol% som gir λ = 0,12 kcal/m h °C.

Ventilasjonen er plassert over varmeisolasjonen. A/F¹ = 1/750 og tilslag i varmetap er satt til 10%. λ = 0,13 kcal/ m h °C.

3) Lecagrus med kornstørrelse 10—20 mm viser seg ved prøveboringer å være meget tørr hvis luftingen er som foreskrevet, vi kan gå ut fra at varmelednings-

tall λ = 0,085 kcal/m h °C. Vi har aldri målt varme-gjennomgangen i et luftet Leca-tak, vi har imidlertid undersøkt luftgjennomgangen i små prøver og resultatene tyder på at det gjennom en 1 meter bred stripe tvers over et 10 m bredt tak med 10 cm Lecafylling ved vindstyrker på 2 sek.m rett mot den ene ende-åpningen går vel 200 l luft pr time. Hastighet inne i taket blir da vel 1 cm/sek. Åpningene til det fri er plasert i veggene slik at vi får trykk + sug til drivkraft. Åpningenes størrelse er 50 cm², 1 i hver ende. Utelufttemperatur settes lik -20°C, inneluftens temperatur = +20°C. Vi vil finne varmetapet p.g.a. ventilasjonen. De 200 l luft som er gått igjennom pr time er oppvarmet til gruslagets middeltemperatur. Denne finner vi i følgende oppstilling:

		Temp.fall
1/a _u	= 0,05 m ² h °C/kcal	
Tekning	—	1,9 °C
Avretning	0,02 „	
Lecagrus	$\frac{0,10}{0,085} = 1,18$ „	31,4 °C
Betong	0,10 „	2,7 °C
1/a _i	= 0,15 „	4,0 °C
m	= 1,50 m ² h °C/kcal	40,0 °C

Middeltemperaturen i Lecalaget vil være ca -2,4°C og luften er da oppvarmet 17,6° som gir et ekstra varmetap på:

0,24 kcal/kg °C · h × 0,26 kg = 0,062 kcal/°C h eller 0,062 kcal/°C · h × 17,6 °C = 1,1 kcal/h fordelt over hele feltet. Nedkjølingen blir da 0,11 kcal/m²·h på den kalde vinterdagen, og må ventes i sone II, III og IV.

De undersøkte tak har alle hatt praktisk talt tørr isolasjon og A/F = omkring 1/1500. Vi vet det ikke, men vi tror luftgjennomgangen reduseres noenlunde proporsjonalt med størrelsen av åpningene. A/F = 1/1500 skulle da gi en gjennomgang på ca 130 l/h

¹ hvor A = total eff. flate av kanalåpning, i yttervegg + evt. lyrer inne på taket. F = takflate som betjenes av åpningene.

under samme forhold som nevnt ovenfor. Nedkjølingen blir da ca $0,07 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$. I bredere tak med åpninger på hver side vil luftgjennomgangen avta noenlunde proporsjonalt med breddeøkningen. I tabell 1 er da regnet med ekstra varmetap $0,1 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$ som et slags middel.

4) I beregningene er styroporens praktiske λ -verdi satt = $0,03 \text{ kcal/m h } ^\circ\text{C}$. Vi har hittil ikke målt fuktinnholdet i noe tak isolert med styropor. Lufting av styropor behøver sikkert ikke dimensjoneres for kraftig, men vi bør undersøke om stoffet i så tilfelle

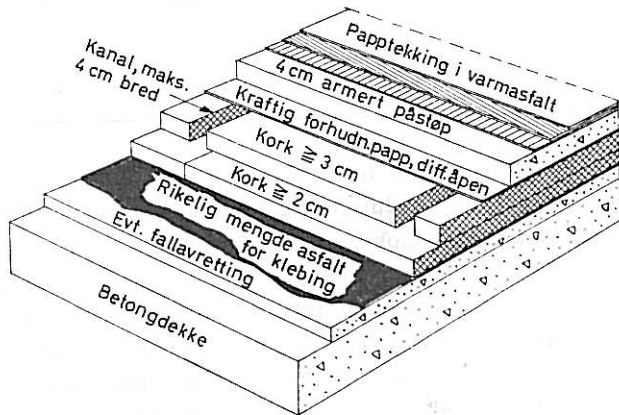


Fig. 6. Eksempel på korkisolert massivtak.

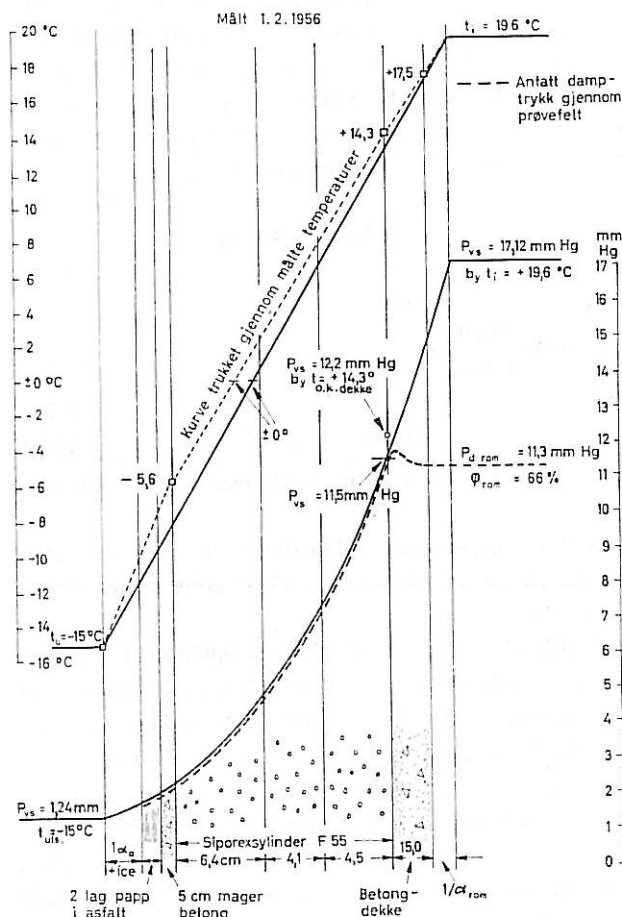


Fig. 7. Målte temperatur- og fuktighetsforhold i massivt, uluftet tak.

må beskyttes av ekstra dampsperrsjikt på romsiden. Som regel er platene limt til dekket med varmasfalt. Styropor har vi ikke målt luftgjennomgang i, men vi antar at den er forholdsvis lufttett og at vi ikke behøver å regne med ekstra nedkjøling i kaldt vær på grunn av litt ventilasjon.

5) Vi har regnet med at vanninnholdet i korken er ca 5 vekt%, et resultat vi er kommet til ved målinger i gode tak hvor korken er beskyttet på romsiden av et godt dampsperrsjikt og hvor eieren har passet godt på taket sitt. Vi har da regnet med $\lambda = 0,04 \text{ kcal/m h } ^\circ\text{C}$, skjønt tallet synes oss noe høyt etter målinger utført av H. B. Jespersen. De samme målinger viser at vanninnhold ikke har stor innvirkning på varmeledningstallet. En sparsom ventilasjon vil ikke nedkjøle taket merkbart. Fig. 6 viser en av flere mulige utførelser av et korkisolert tak.

6) Treullcementplater var tidligere mye brukt som isolasjon i massive tak, men våre undersøkelser viste at platene falt sammen når de var lagt inn mellom to betongsjikt og ble meget våte. Når luftingen er god og platen beskyttet mot dekket med et effektivt sperrsjikt, har platene greidd å holde konsistensen. Treullcementplaten er meget luftåpen, og vi kan neppe lage A/F større enn $1/1500$. Det har vært vanlig å lufte platen med ca 3 cm tykt makadamsjikt, dette sjiktet må antas å ha noenlunde samme luftgjennomgang som vi fant for Lecagrusen. Vi bør kanskje regne med noe større nedkjøling enn i Lecatakene p.g.a. den åpne platen. Skjer luftingen utelukket gjennom gruslaget fordi vi beskytter platen med diffusjonsåpen forhudningspapp før grusen legges ut, vil nedkjølingen bli minimal. Materialets varmeledningstall er satt = $0,10 \text{ kcal/m h } ^\circ\text{C}$. Makadamsjiktets varmemotstand er satt = 0.

3.12 Fuktighetsbalanse i uluftede tak med betongdekke.

Da undersøkelsene av massive tak begynte i 1948, fant man at det noen steder fantes gode, tette tak like ved siden av elendige tak med akkurat samme oppbygning. Det ble diskutert hvorvidt vanddamp fra rommet hadde skylden eller om vann fra byggetiden ble stående inne i taket. Vi fant årsaken i 1954—55 under målinger i et større forsøkshus. Fig. 7 viser en grafisk fremstilling av målte temperatur- og fuktighetsforhold i takfeltet. Det fremgår at metningstrykket i gassbetongens poreluft nærmest betongdekket selv i det kalde været ligger over romluftens damptrykk. Vanddamp fra rommet kan følgelig ikke diffundere opp i taket. At gassbetongen var bortimot 99% hygroskopisk mettet, viste målingene av vanninnholdet i lettbetongen, det var ca 16—18 vol% i sjiktet nærmest betongen. Svenske målinger oppgir ca 4 vol% som hygroskopisk metning. — Vår løsning av problemet: godt—dårlig tak over samme lokaler, sier da a-

Tabell 2. Vanninnhold i luftet og uluftet, armert gassbetongisolasjon

Tak over	Damptrykk mm Hg		Fuktighet i volumprosent a) gassbetong b) avrettingslag	Type takteking Når tekkingen ble lagt Bemerkninger
Papirfabrikk (over papirmaskin), Oslo	1955	14,5	a) 24,7—26,8	Asfaltpapp
	1956	17,7	a) 15,8—17,7	1948 Tekkingen skadd
Taklaboratoriet, Trondheim	1955		a) 8,7— 8,0	Asfaltpapp
	1956	11,4	a) 9,2— 8,3	1953. Varmt sommervær
	1957		a) 6,9—10,6 b) 8,0— 7,8	Tekkingen fin
Papirfabrikk, lager, Drammen	1955	8,0	a) 7,6	Asfaltteking
	1956	8,0	a) 7,5	1948 Noen blærer
Papirfabrikk, lager, Drammens-området	1955	6,2	a) 7,4	Asfaltpapp
	1956	9,1	a) 4,1	1949—50 Blærer reparert hver sommer
Sveiseverksted, Oslo	1955	4,4	a) 2,5	Asfaltpapp
	1956	4,1	a) 1,6	1952 Tekkingen ganske bra
Baderom, Oslo-området	1955	4,1	a) 2,5	Asfaltpapp
	1956	6,4	a) 2,1	Vinteren 1949 Blåselamper brukt
Sveiseverksted, Oslo	1955	3,7	a) 2,3	Asfaltpapp
	1956	4,1	a) 1,7	1950 Blærer og valker i tekkingen Utvendige takrenner og nedløp ødelagt av is
Papirfabrikk (over papirmaskiner) Isolasjonen meget godt ventilert	1955	12,0	a) 5,1 ⁿ — 1,7 ^s b) 10,8 ⁿ —12,4 ^s	Asfaltpapp
	1956	20,2	a) 2,3 ⁿ — 1,2 ^s b) 3,8 ⁿ — 6,6 ^s	1953—54 n = nordre del s = søndre del Tekkingen dårlig på sydfloyen Tekkingen utmerket på nordfloyen

det gode taket har vært tørt fra begynnelsen av og det dårlige har vært vått fra begynnelsen av. Det gode taket ble tekt mens isolasjonen var tørr. I det dårlige taket rakk isolasjonen å bli våt (eller rakk ikke å bli tørr) før tekningen ble lagt ut. Byggherrene hadde altså vært heldige eller uheldige mot bedre vitende. — Alle våre målinger både i forsøkshus og på vanlige tak bekrefter at vann blir stående i uluftede tak. Av dette skulle følge at man ikke bør bruke tung uluftet isolasjon på betongdekke, ja, det er et spørsmål om man bør bruke uluftede materialer i det hele tatt uten beskyttelsesanordninger mot nedbør og vannsøl. Vær også klar over at mye vann i en slik konstruksjon før eller senere vil ødelegge pappteekningen og i mange tilfelle også avretninger og varmeisolasjonsmateriale. Fig. 8 viser et typisk tilfelle. Her må det opplagt en ombygging til.

3.13 Grense for bruk av uluftede armerte lettbelongplater.

Våre og andres målinger har vist at slike plater tørker ut om sommeren, og at de gjerne blir våte om

vinteren og dess våtere dess kaldere vinteren er. Tabell 2 viser også hvordan damptrykket i rommet virker på vanninnholdet. Vi har derfor tillatt oss å anbefale lufting av platene når damptrykket om vinteren ligger på 9 mmHg i lokalet. Platene kan luftes bl.a. ved hjelp av et oppforet tretak eller av korrugerte asbestcementplater avrettet og tekt. Det



Fig. 8. Ødelagt tekning på massivt, uluftet tak.

siste taket i tabell 2 er bygd slik. Her er damptrykket over papirmaskinen målt = 20 mmHg, men luftrommet mellom platene og en nedforet himling formidler innblåsing av forvarmet friskluft. Konstruktør og ventilasjonskonsulent har altså løst saken meget godt. Taket var tørt ett år etter tekningen kom på og har holdt seg like tørt siden (8 år).

3.14 *Hvordan skal det massive taket luftes?*

Forholdet A/F er nevnt flere ganger, A er total effektiv flate av kanalåpninger i yttervegger + evt. lyrer inne på taket. F er den takflate som betjenes av åpningene. I byggdetaljblad (26).001 er satt opp A/F for en del isolasjonsmaterialer. Det oppgis i byggdetaljbladet at uttørkingseffekten av lyrer neppe er større enn 20—50% av en veggåpning.

Etter målingene vi gjorde på vanlige tak i 1960 er jeg kommet til at lyreluftede tak med tung plass-støpt lettbetong bør forbyes unntatt når takene har skikkelig helning og kanalene er korte. De flate, lyreluftede takene er nå modne for ombygging, 8—9 år gamle. Isolasjonen fryser i stykker etter hvert, det er et under at papptekningen holder. Fig. 9 viser hvor mye mindre vanninnholdet er i veggluftede enn i lyreluftede tak. Fig. 10 er laget etter målinger i forsøkshus, det sees at selv de uforholdsmessig store lyrer er dårlige luftåpninger for små kanaler når de er plasert inne på taket (kanal B). De store kanaler (120 cm²) slipper igjennom opp til 70 ganger så store luftmengder som de små 12 cm² kanaler gjorde. For lufting av faste, tunge isolasjonsmaterialer kan A/F passende settes lik 1/500—1/1000 når luftingen dekker en vesentlig del av materialets overflate.

Det har vel liten hensikt å gjøre åpningene til det fri større enn summen av kanalverrsnittene inne i taket. I et fast materiale som plass-støpt lettbetong er kanalene gjerne 6 cm², og det går 6 av dem på meteren, altså kanalverrsnitt = 36 cm² pr m på tvers av kanalene. Hvis nå taket er 12 m bredt, vil en 1 meters stripe av taket kunne ha en stk 36 cm² åpning i hver ende. Vi har da $\dot{A}_v = 72 \text{ cm}^2$, $\dot{A}_v/F = \frac{72}{120\,000} = \frac{1}{1670}$.

Det hjelper her lite å legge på åpningene i veggene, vi bør heller lage åpninger midt i taket ved hjelp av lyrer eller øke de små kanalenes tverrsnitt. Velger vi å lage 10 cm² store kanaler og bruke 5 pr meter, har vi anledning til å gjøre $\dot{A}_v = 100 \text{ cm}^2$. I den takstripen har vi nå $\dot{A}_v/F = \frac{100}{120\,000} = \frac{1}{1200}$.

Det er som en ser, ikke lett å lufte taket ved hjelp av kanaler inne i materialet.

Hvis vi i stedet støpte ut den lette isolasjonen og over den la korrugerte asbestcementplater, ville vi få lufttverrsnitt ca 150 cm²/lm regnet tvers av rillene. Vi kan da plasere veggåpninger med tilsammen 300 cm²

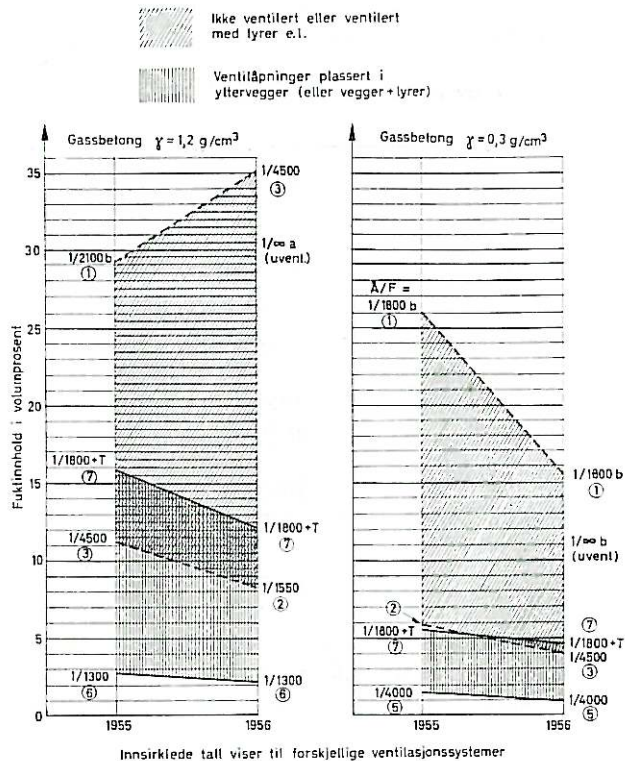


Fig. 9. Fuktinnhold i plass-støpt skumbetong avhengig av luftesystemet. Lagene i isolasjonen er framstilt hver for seg.

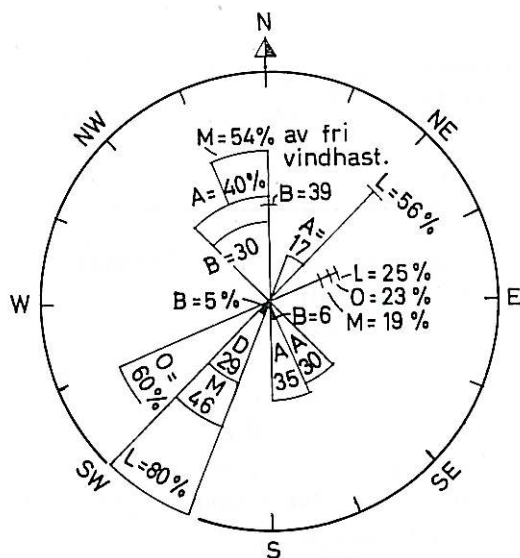


Fig. 10. Vindhastigheter i kanalene i % av fri vindhastighet fra forskjellige retninger.

areal og har $\dot{A}_v/F = \frac{300}{120\,000} = 1/400$. Siden plass-støpt

lettbetong er våt etter utstøpningen, burde luftingen faktisk gjøres slik som sist beskrevet, kanalene kan da sikkert være opptil 20 m lange uten avbrudd av lyrer.

Da vi regnet ut nedkjøling av Lecagrus p.g.a. ventilasjon satte vi vindhastigheten til 2 m/sek. Det er neppe tvilsomt at vi må regne med mye større nedkjølinger når vinden blåser med 5—10 ganger så stor hastighet, i hvert fall i nærheten av åpningene. I bygg-

detaljblad (26).303 er veggåpningen lagt høyt oppe, slik at en god del av underliggende grus kan beskyttes ved hjelp av pappremse under åpningen.

3.15 Når skal dampsperrsjikt innføres?

Dampsperrsjikt bør brukes når det er umulig å lufte taket tilstrekkelig.

Betongdekker er som regel ganske bra sperrer, og er isolasjonen åpen, har vi jo sett at den holder seg tørr selv når Å/F ligger omkring 1/1500 (i Leca tak). Nå bør man være på vakt når dekket støpes fullt av elektriske rør og bokser. Når lufting innføres øker man kanskje dermed også partialtrykkfallet hvis luftingen skjer f. eks. i et gruslag. Et regneeksempel vil vise hva vi kan vente oss. Vi fortsetter å se på det grusisolerte betongdekket hvor ca 200 l luft slapp igjennom en 10 × 1 m stripe av taket når vindhastigheten var 2m/sek. Vi fant at gruslagets middeltemperatur var ca -2,4°C og at luften holdt samme temperatur idet den forlot taket. De 200 l kan teoretisk ta med seg ca:

$$\frac{2,7 \text{ mg/g} \times 260 \text{ g} \times 253}{270 \cdot \text{h}} = 650 \text{ mg/h} = 0,65 \text{ g/h.}$$

Hvor stor er så damptransporten fra rommet opp i taket? Er passerende luft først mettet idet den forlater taket, vil midlere damptrykk i gruslaget være 50% av metningstrykket, altså ca 3,7 mmHg. Settes rommets damptrykk = 10,7 mmHg (ca 60% ved +20°C), blir drivtrykket = 7 mmHg. Gjennom 10 m² av et 15 cm tykt betongdekke vil da gå

$$\frac{0,4 \text{ g cm} \times 7 \text{ mmHg} \times 10 \text{ m}^2}{\text{m}^2 \text{ h mmHg} \times 15 \text{ cm}} = 1,9 \text{ g/h}$$

Vi ser at diffusjonsstrømmen blir ca 3 ganger for stor og at vanddampen vil kunne gå over i påstøpen. Her er da behov for et dampsperrsjikt lagt oppå betongen. Legger vi ut et lag diffusjonstett papp i asfalt, vil mindre enn

$$\frac{0,007 \text{ g} \times 7 \text{ mmHg} \times 10 \text{ m}^2}{\text{mmHg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}} = 0,5 \text{ g/h}$$

slippe opp i gruslaget.

Når selvbærende gassbetong skal luftes, er forholdene vanskeligere hvis da luftingen ikke er rikelig. 15 cm armert lettbetongplate er f. eks. luftet ved hjelp av korrugerte asbestcementplater. Å/F = $\frac{300}{150000} = \frac{1}{500}$. Gjennom kanalene passerer grovt regnet 50 m³/h ved vindhastighet 2 m/sek. I dette tilfelle vil oppvarmingen neppe bli stor, kanskje 3—4°C (fra -20° til -16°C). Vi kan kanskje heller ikke regne med at luften er mettet idet den går ut av taket, og antar at den bare kan ta opp 0,25 g/m³ og altså føre vekk ca 16 g/h.

Luften kan inneholde maks

$$\begin{aligned} &= 0,65 \text{ g vanddamp pr kg ved } \div 20^\circ \text{ C} \\ &= 0,95 \text{ ,, ,, ,, ,, } \div 16^\circ \text{ C} \\ &0,30 \text{ g} = \text{mulig opptak pr kg ved opp-} \end{aligned}$$

oppvarming. Passert luftmengde veier G = 50 · 1293 = 65 kg.

Gjennom platen kan teoretisk diffundere:

$$\frac{0,8 \text{ g} \times 9 \text{ mmHg} \times 15 \text{ m}^2}{\text{mmHg m}^2 \text{ h} \cdot \text{cm} \times 15 \cdot \text{h}} = 7 \text{ g/h}$$

Så lenge ikke kondensatet fryser, skulle der ikke være fare for nedfukning av konstruksjonen. Våre målinger i forsøkshus bekrefter forholdene. I slike tilfeller vil det likevel lønne seg å smøre platene med diffusjonstett maling mot rommet, man bør også tette igjen sprekker så godt som mulig.

Lufting er ikke vanlig i styropor på massive tak. Styropor blir som ekspandert kork limt fast i underlaget med varmasfalt, og underlaget grunnes med asfaltopplosning på forhånd. Hvor damptett denne limingen blir, er ikke undersøkt, det vil vel være sikrest å spesifisere at det skal legges ut et dampsperrsjikt før man limer platene fast. Styropors vanddampgjennomgang er i 22°C målt til ca 0,3 g/m²h $\frac{\text{mmHg}}{\text{cm}}$ o: den

er omtrent like utett som en forhudningspapp på asfaltbasis. Styropor bør luftes over fuktige lokaler, særlig hvis dampsperrsjiktet sløyfes. Jeg har sett reklame for en korrugert papp på bekbasis. Pappen sies å være sterk nok til å tåle inspeksjonstrafikk i solvarme uten at rillene klapper sammen. Holder dette stikk, vil pappen foruten å tjene som ventilasjon også virke slik at temperaturen i tekningen senkes.

3.16 Hvor høy og hvor lav kan temperaturen bli i tekninger på massive tak?

Vi har ikke målt selv. Tyske og engelske målinger tyder på at vi må regne med +75° til +80°C som maksimum og et minimum på ca 6°C lavere enn minimumstemperaturen i uteluften en månelys vinter natt. 75°—80°C kan vi få når tekningen er blitt svart og ligger direkte på høyisolierende materiale som f. eks. styropor og ekspandert kork. Legger vi ventilasjon mellom tekning og varmeisolasjon vil vi kunne minske maksimumstemperaturene og heve minimumstemperaturene. Dette betyr meget for asfaltens levetid.

3.17 Snosmelting og plasing av nedløp.

Kan man varmeisolere et uluftet massivt tak så godt at snøen ikke smelter på det? Svaret er avgjort nei, tørr snø kan ha varmeledningstall ned i 0,04. Kan man hindre at snøen smelter på kalde dager ved å lufte taket? Her må svaret bli noe usikkert, men vi har av erfaring fra forsøkshus lært at luftingen i hvert fall må være meget rikelig. Av dette følger at man aldri må bruke utvendige takrenner og nedløp på massive tak over oppvarmede rom. Vi har dessverre mange ferske eksempler fra nye bygninger ved NTH hvor konsulentene har glemt dette, istappene er da også opptil 1½ etasje lange, renner og nedløpsrør

skades stygt hvert år. *Fig. 11* viser et av mange tilfelle. De farligste tilfelle har vi når rennen ligger innkledt i en utkraget betonggesims. Varmekabler i renner og nedløp hjelper godt, men det vil som regel være mye enklere å føre smeltevannet ned inne i huset, evt. med elektrisk oppvarming av sluket.

3.2 Oppforede og doble tak.

3.21 Dimensjonering av varmeisolasjon.

Den mest brukte typen består av et betongdekke, mineralullisolasjon og et papptekt tretak. Lufting er oftest ikke vanskelig å få til, det er viktigere å huske på å beskytte mineralullen mot nedkjøling. Dette gjør man enklest ved å legge en diffusjonsåpen forhudningspapp over den. Hvis vi går ut fra at varmeisolasjonen mister 5—10% av sin motstand p.g.a. ventilasjon, økes praktisk λ -verdi fra 0,035 til = 0,037—0,038 kcal/m h °C. *Tabell 3* gir minstetykkelser av mineralull på 10 cm betongdekke når tretakets varmemotstand er sett bort fra, men ytre varmeovergangsmotstand (mineralull — lufting) satt = 0,10 m² h °C/kcal.

3.22 Lufting av oppforede og doble tak.

I byggdetaljblad (27).001 er vist en rekke detaljer av åpninger i vegg og ved møne av saltak. Jeg tror imidlertid at en av figurene, 211a er kommet inn i bladet uten at de nødvendige forbehold er tatt. *Fig. 12* gjengir tilfellet. Hvis taket er 15 m bredt, vil over-

høyden bli 2 meter, og bl. a. følgende skadetilfelle gjør at jeg betviler nytten av luftingen:

Et saltak med ca 7° helning var luftet ved raftene og hadde utvendige nedløp. Tre-fire vintre tok knekken på nedløp og renner. Mineralulltykkelsen var 4 cm, tilfarerne var 2 × 3". Taket lå over vanlige boligrom. Lufting i mønet er nødvendig når det ikke finnes kaldt loft.

3.23 Er tretak ubetinget sikkert som underlag for papptekninger?

Det hender ikke sjelden at tretaket senhøstes slås sammen så vannet spruter av bordene fordi vi så altfor sjelden bruker beskyttelse mot nedbør. Bruker vi samtidig bred taktro, ikke sjelden 6", vil vi risikere at tekningen sprekker når bordene tørker og krymper. Vi har sett at papptekningen har greidd seg når det øverste laget er limt med rikelige mengder varmasfalt. Forklaringen kan være at den hurtigste uttørringen skjedde først når varmen kom i været o: mens klisterasfalten var forholdsvis myk.

3.24 Dampsperresjikt.

Doble og oppforede tak bør over fuktige lokaler forsynes med dampsperresjikt under mineralull. Hvis ikke, må luftingen dimensjoneres forholdsvis rikelig og større nedkjøling av varmeisolasjonen kan bli resultatet.

Tabell 3. Minstetykkelser av mineralull på 10 cm betongdekke.

Sone I			Sone II			Sone III			Sone IV		
a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
3	4	4	4	4	5	4	5	6	5	6	7

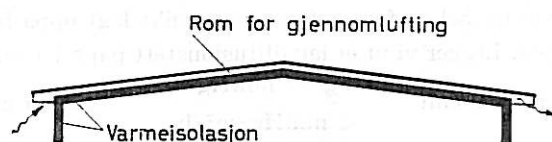


Fig. 12. Gjennomlufting mellom varmeisolasjonen og takflaten. Ved brattere tak enn 15° blir luftstrømmen så treg at det må sørges for avtrekk ved møne.

3.25 Snøsmelting og plasering av nedløp.

Doble tak kan meget vel ha utvendige nedløp, for de oppforede er det sikrest å legge nedløpene innvendig. Det er absolutt påkrevd å varme opp slukene og isolere

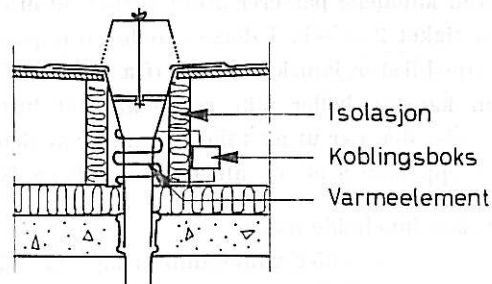


Fig. 13. Oppvarmet og varmeisolert sluketrakt i dobbelt tak.



Fig. 11. Utvendige takrenner må aldri brukes på massive tak over oppvarmede lokaler.

rørene der de passerer luftrommet mellom mineralull og overtak. *Fig. 13* viser hvordan dette kan gjøres.

3.26 Dobbel tak over meget fuktig lokale.

En treforedringsbedrift har løst fuktighetsproblemerne ved innføring av forvarmet friskluft mellom himling og isolert overtak. Denne løsningen lot seg ikke gjennomføre ved en annen bedrift i samme bransje. Det var opprinnelig foreslått støpt betongdekke isolert med 10 cm lettbetong, dette mente fabrikkens folk var for dårlig, de ville heller lage et dobbelt tak og henge en høyisolert, dampnett himling under fagverk av tre som allerede var planlagt. Overhøyden mellom himlingen og bordtaket var stor, man kunne arbeide oppe på himlingen. Man hadde fått tilbud på en himling av småkorrugerte aluminiumplater. Problemene var nå: Hvor stor varmeisolasjon trengtes for at himlingens underside skulle holde seg tørr? Hvordan skulle platene tettes i omlegg? Etter besøk i lokalet ble man enige om at relativ luftfuktighet muligens kunne komme opp i 80—90% over maskineriet som lå svært nær. Temperaturen kunne muligens bli så høy som +30°C. Til 90% ved +30°C svarer damptrykk = 28,6 mmHg som har duggpunkt ved ca +28,2°C. $t_i - t_d = 1,8^\circ\text{C}$ som er 3,2% av totalt temp.fall = 56°C (t_u ble forlangt satt = -26°). Er $1/a_i = 0,15 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}/\text{kcal}$ vil totalmotstand bli $\frac{0,15}{3,2} \times 100 = 4,7 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}/\text{kcal}$ og takets nødv. k-verdi = 0,21 kcal/m² h °C. Regner man at mineralull og overgangsmot-

stander må ta hele temperaturfallet, blir minstetykkelsen av mineralull = ca 16 cm.

Det høyeste damptrykk vi har målt over lignende maskineri er ca 20 mmHg i temperatur +33°C. Den foreslåtte isolasjonstykkelse skulle da være mer enn stor nok. — Nå ville bedriftens folk gjerne vite hva som skjer når lokalet kjøles ned i helgen. Himlingen har meget liten varmekapasitet og vil hurtig følge med i den alminnelige nedkjøling av lokalet. Det er da nødvendig å lufte ut fuktigheten så grundig som mulig, ellers vil himlingen bli dekket av vanndråper temmelig snart i kaldt vær. — Dampsperrsjikt fant vi lettest kunne leges ved å sprøyte fugekitt inn i alle omlegg eller ved å kombinere fugekitt med diffusjonstett papp. Aluminiumplatene fikk skruefeste under 2" × 4" og dobbelt lag papp ble lagt imellom. Mineralullen ble lagt oppå platene. Ytterveggene i lokalet var 1½ steins kompakt tegl, og kondensvannet rant nedover innsiden. Det verste er å få til en dampbarriere der himlingen støter mot veggen. Bedriften ville prøve å forsegle hele veggen fra himlingen og over gesims for å unngå at damp trengte forbi kanten av himlingen og kom opp i taket. Bedriften ble anmodet om å installere ventilasjonsanlegg som helst holdt et undertrykk i lokalet. Luftovertrykk i lokalet vil være farlig for konstruksjonen idet luft som vil kunne strømme gjennom evt. små utettheter i himlingen, vil føre med seg mye damp.

Eksemplet viser da at man bør være forsiktig når man har med varme, fuktige lokaler å gjøre.

Undersøkelser av vegger i prøvehus

(Betonghulsten, lettbetong, skallmur)

Av sivilingeniør ANNANIAS TVEIT, Norges byggforskningsinstitutt

I INNLEDNING

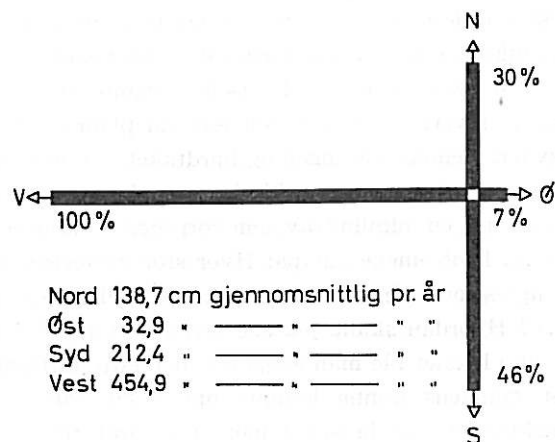
Norges byggforskningsinstitutt har siden 1950 utført en rekke undersøkelser av varmegjennomgangen i forskjellige slags vegger. De første undersøkelsene som omfattet målinger av varmegjennomgangen i mineralullisolerte bindingsverksvegger, ble utført i bebodde hus. Da målingene iblant måtte utføres i rum hvor folk oppholdt seg, oppstod vanskeligheter med varmestrømsmålingene på grunn av ustabile temperaturforhold osv. Erfaringen fra disse undersøkelsene førte til bygging av et spesielt vegglaboratorium for disse målingene.

Det fremgår av *fig. 1* at vegglaboratoriet er en lang, lav bygning med en total lengde av 29 m og bredde 3,5 m. Skillevegger deler laboratoriet opp i små prøverom med 4 eller 6 prøvevegger av bredde 1,3—1,5 m og høyde 3,0—3,2 m. Prøveveggene er adskilt fra hverandre slik at det er forholdsvis enkelt å skifte dem ut. Rummene er oppvarmet med termostatkontrollerte rør-ovner som er plasert midt på gulvet, og i hvert rum er det utstyr for regulering av luftfuktigheten.

Forsøkshusets lengderetning løper omtrent nord-syd, slik at alle prøvelfeltene som er plasert side om side på langveggene, vender mot ØNØ eller VSV. Rundt laboratoriet er det forholdsvis åpent, slik at prøveveggene har praktisk talt ikke noen skjerming mot vær og vind. Klimatiske forhold ved vegglaboratoriet gjør at vestveggene er utsatt for sterk vind og slagregn, østveggene derimot praktisk talt ikke. *Fig. 2* viser slagregnfordelingen ved forsøkshuset, gitt som gjennomsnittsverdier av daglige observasjoner i 14-årsperioden 1940—1953. Vegglaboratoriets orientering og beliggenhet medfører at vestveggene normalt får noe mer direkte solskinn enn østveggene. På grunn av den forskjellige klimapåkjenningen har det av de forskjellige veggtypene alltid vært brukt to prøvelfelt, et vestvendt og et østvendt.

Varmetapet gjennom veggene blir vanligvis målt ved hjelp av termoelektriske varmestrømsmålere på veggens innside. I noen tilfelle hvor den relative luftfuktighet skulle holdes svært høy, har det vært brukt noen spesielle målekasser. Ved massiv-vegger er varmetapet bare målt midt på vegg høyden. Ved vegger med hulrum er varmetapet målt over hele vegg høyden.

Varmestrommene og temperaturdifferensene blir registrert en gang hver 1—1½ time. Alle vanlige meteorologiske observasjoner blir tatt en eller to ganger daglig.



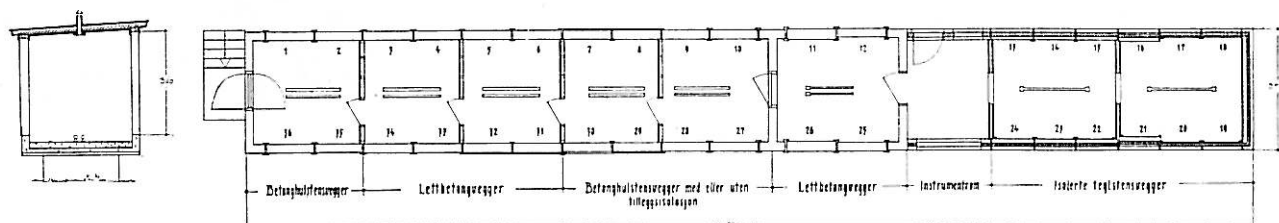
2. Slagregnfordelingen ved forsøkshuset, gitt som gjennomsnittsverdier av daglige observasjoner i 14-årsperioden 1940—1953.

II BETONGHULSTENSVEGGER

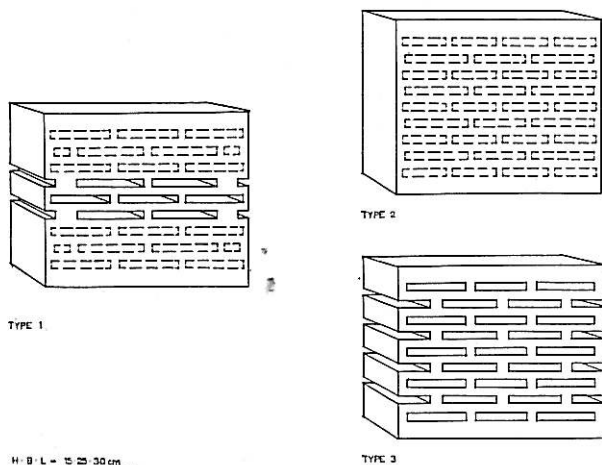
De første veggene som ble undersøkt var 24 vegger av betonghulsten, 15x25x30 cm. Prøveveggene ble oppført i 1953/54. For å få arbeidsutførelsen i overensstemmelse med vanlig god praksis ble alt mur- og pussarbeide overlatt et murerfirma. Blokkene som ble brukt var av tre forskjellige typer, men hadde alle 9 rader av 8 mm luftspalter, se *fig. 3*. Blokkvekten var 1400, 1500 og 1700 kg/m³ tilsvarende rumvekt av omkring 1700, 1800 og 2000 kg/m³ for betongmaterialet. Den maksimale vannoppsugningsevne for blokkmaterialet var, regnet i samme rekkefølge, 33, 12 og 23 vol.-%.

Samtlige vegger var pusset på inn- og utside i 15—20 mm tykkelse i to påkast, med noe tynnere mørtel i første påkast enn i siste. Første påkast stod natten over, og feltene fikk siste påkast om morgenen den påfølgende dag og ble brettsturt. Sammensetningen av utvendig og innvendig puss var for de fleste av feltene k:c:s = 1:3:12 og 2:1:9 i volum. Fugenes utførelse var variert noe, slik at det f. eks. var brukt fylte fuger, to mørtelstrenger og også sjablongmuring.

Målingene ble startet opp ett år etter at veggene var oppmurt og gikk uten avbrudd fra november 1955 til mai 1956. For 20 av prøveveggene var lufttemperatur og fuktighet på rumsiden 20 °C og 30—55 %, for 4



1. Vegglaboratoriet er en lang, lav bygning med en total lengde av 29 meter og bredde 3,5 meter.



3. Blokkene som ble brukt, var av tre forskjellige typer, men alle hadde 9 rader av 8 mm luftspalter.

vegger var tilsvarende tall 13 °C og 50—85 %. Fuktigheten i rumluften var ikke kontrollert i denne måleperioden, og den varierte derfor endel, avhengig av uteklima og av veggfuktighet p. gr. a. regngjennomslag. Høsten 1955 var det en betraktelig mengde slagregn slik at en hel del av vestveggene viste gjennomslag av regn i fugene og var svært fuktige da frostperioden begynte omkring midten av desember.

I en måleserie som ble utført 1957/58 var det også tatt med endel betonghulstensvegger med utvendig kledning og med eller uten tilleggisolasjon. På et par vegger ble det brukt en kledning av asbest-cementplater på vertikale 5/4" x 4" uhøvlede bord, c:c = 30 cm, som var spikret på veggen med stålstift. Luftspaltene mellom utvendig puss og kledning var i direkte kontakt med uteluften og var beskyttet oventil med et horisontalt bord. Veggene hadde vært målt i 1955/56 uten noen ytre kledning. På et annet par vegger som også hadde vært undersøkt tidligere, ble det utvendig lagt et lag 20 mm sydd glassvattmatte. Mattene var opphengt vertikalt med buttskjøter og festet til veggen med vertikale 1" x 4" uhøvlede bord, c:c = 30 cm. Utvendig ble det brukt asbest-cementplater. Luftspaltene ble ikke avstengt ved nederkant av kledning, men overdekket med et bord oventil for å hindre inntrengning av slagregn.

I denne måleserien var det også tatt med fire vegger av den letteste type betonghulsten som ble målt i 1956. To av disse veggene var målt i 1955/56, mens to var nye. Veggene var helt like, bortsett fra stussfugene, som i det ene tilfelle var utført med to mørtelstrenger, i det annet tilfelle var fugene murt med spesiell sjablone. Liggefugene var lagt ut med sjablone.

Rumtemperatur og fuktighet var i måleperioden 1957/58 stort sett som i 1955/56, men uteklimaet var gunstigere med mindre slagregn og mer solskinn.

For veggene av de letteste blokk-typene ble det i 1955/56 funnet varmegjennomgangstall i området 0,9 — 1,0 kcal/m²h°C, sammenlignet med 1,0 — 1,3 kcal/m²h°C for veggene av de tyngste blokkene. Ved de veggene hvor det ikke ble observert noe gjennomslag av regn på veggens innside, ble det målt omtrent samme varmegjennomgang for øst- og vestvendte vegger. For de vestvendte veggene, som viste mer eller mindre tegn til gjennomslag, ble det målt et betraktelig høyere varmegjennomgang enn for de tilsvarende østvendte vegger av samme utførelse.

Veggene uten asbest-cementplate viste 10 % lavere varmegjennomgangstall i 1957/58 enn 1955/56. Dette må tilskrives gunstigere ytre klima. Prøveveggene for hvil-

ke det var brukt sjablone for såvel ligge- som stussfuger, gav 4 % lavere varmegjennomgang enn tilsvarende vegger hvor bare liggefugene var lagt ut med sjablone.

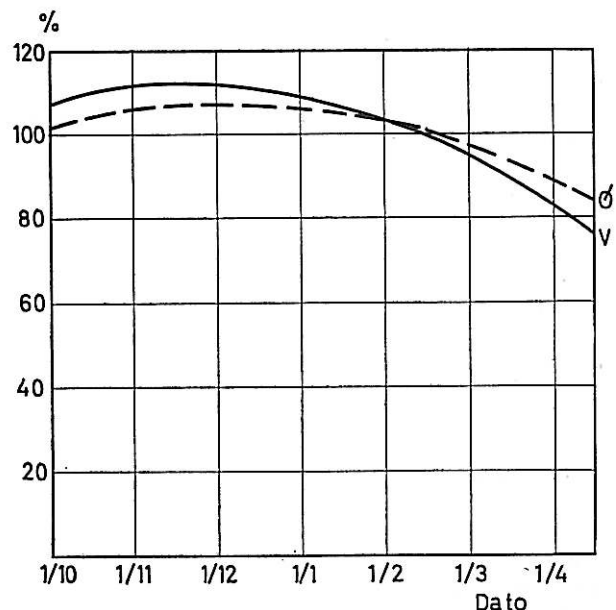
For veggene med asbest-cementplater med eller uten tilleggisolasjon ble målt k-verdiene 0,54 og 0,76 kcal/m²h°C. For de samme veggene uten isolasjon ble i 1955/56 målt ca. 1,2 kcal/m²h°C.

Økningen i varmemotstand er således ca. 1,0 m²h°C/kcal for veggene med kledning og tilleggisolasjon og ca. 0,5 for veggene med bare utvendig kledning. Økningen i varmemotstand kan hovedsakelig bli tilskrevet tre faktorer:

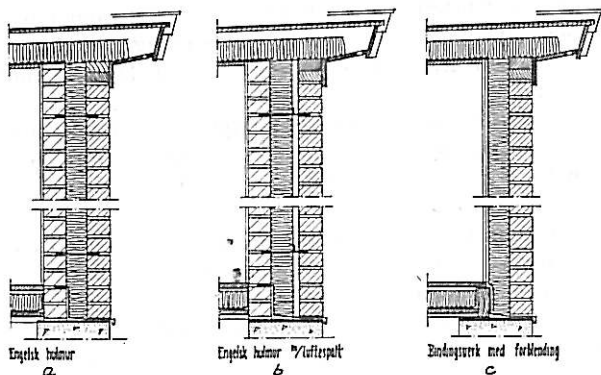
- A Tilleggsmotstand p. gr. a. kledning og isolasjon.
- B Gunstigere klimaforhold.
- C Veggene er tørket ut under beskyttelse av den utvendige kledningen.

For veggene med tilleggisolasjon antas beregningsmessig 0,70 m²h°C/kcal eller 70 % av den totale økningen i varmemotstanden å skyldes faktor A, sammenlignet med 0,15 m²h°C/kcal eller ca. 30 % ved veggene med utvendig kledning uten ekstra isolasjon. Faktor B og C vil således tilsammen utgjøre 0,30, resp. 0,35 m²h°C/kcal, for veggene nevnt i samme rekkefølge som ovenfor, eller ca. 30 %, resp. 70 % av den totale økning i varmemotstanden. Det er vanskelig å avgjøre hvor meget som faller på C, men de 10 % synkning i varmegjennomgangen for det ubeskyttede feltet antyder at faktor C er dominerende.

Varmegjennomgangen i veggene varierte betraktelig med årstiden, fig. 4, og det ble funnet en sterkere variasjon for vestvendte enn østvendte vegger. Dette må forklares ut fra forskjellige påkjenninger fra slagregn for øst- og vestvendte vegger, dels kan det også skyldes forskjell i strålingsforholdene. I fig. 4 er vist variasjonen av $\frac{Q}{\Delta t}$ i måleperioden 1955/56, uttrykt i prosent av middelverdien av $\frac{Q}{\Delta t}$ for hele måleperioden. Q er varmestrømmen målt på veggens innside, og Δt er temperaturforskjellen mellom rumluft og uteluft. $\frac{Q}{\Delta t}$ -verdiene er for både øst- og vestretning gjennomsnitt-



4. Varmetapstallets variasjon i fyringssesongen for østvendte og vestvendte veggfelt. (Stiplet linje for østvendt, heltrukket linje for vestvendt).



5. I 1955 ble vegglaboratoriet utvidet til å omfatte 12 vegger av disse utførelsene.

verdier for 12 prøvevegger. Varmegjennomgangen i vestveggene var vel 20 % høyere i første enn annen halvdel av måleperioden, mot bare 8 % for østveggene. Den større varmegjennomgang i første halvdel av måleperioden kommer av høyere veggfuktighet og at varmeavstrålingen er større enn varmeinnstrålingen i dette tidsrum.

Resultatene fra måleperioden 1955/56 viste at varmegjennomgangstallene for betonghulstensveggene kunne være tildels meget høyere enn de tall en regnet med (0,9 — 1,3 mot 0,75 — 0,9 kcal/m²h°C). Årsaken var blant annet redusert isolasjonsevne på grunn av veggfuktighet fra slagregn. Dette ble bekreftet ved målingene i 1957/58 på vegger med god slagregnsbeskyttelse. Gunstigere klimatiske forhold, som ved målingene 1957/58, kunne gi 10 % lavere varmegjennomgang. Som ventet var varmegjennomgangstallene for veggene av de letteste blokkene de gunstigste, da varmeledningsevnen for det faste materialet i høy grad er avgjørende m. h. t. blokkenes isolasjonsevne. Fuktinnholdet i veggene bestemmes først og fremst av tettheten av den utvendige pussten, samtidig som en transport av fuktighet innover i veggen kan begrenses og forhindres ved en riktig utforming av blokkene og fugene. De sjablongmurte vegger viste således ingen tegn til gjennomslag av regnfuktighet.

III SKALLMURER

Vegglaboratoriet ble i 1955 utvidet til å omfatte 12 vegger av følgende utførelse (se fig. 5a, b og c):

- engelsk hulmur med 10 cm mineralull eller annen isolasjon,
- engelsk hulmur med 10 cm mineralullplater festet til innervangen med spesielle metallbindere. 3 cm luftspalt mellom mineralullplatene og ytre vange,
- 2" x 4" bindingsverksvegg med mineralullplater og forblending av tegl. 13 mm gipsplate og dampsperre innvendig.

Alle yttervanger var i fuget mur av hårdbrent hullteglsten. Innervangene var av lettbrent hullteglsten og pussten. I bunnen av hulrummet var det for drenering av dette lagt inn et sinkbeslag, og åpne stussfuger i første skift tjente som dreneringsåpninger. Dampsperreren i taket var bare trukket frem til innervangen slik at veggens hulrum stod i direkte forbindelse med ute-luften. For disse veggene ble varmemotstanden og varmestromfordelingen målt over hele veggghøyden og varmegjennomgangstallene ble beregnet på basis av det tilsynelatende midlere varmetapet for hele veggflaten. For å kunne beregne overgangsmotstandene og varmemotstanden av de enkelte veggsgjikt, ble ved siden av luft-

temperaturene, overflatetemperaturene på begge sidene av inner- og yttervangerne målt i flere høyder. Målingene ble startet høsten 1956 og pågikk gjennom 4 fyringssesonger, med mindre endringer av enkelte prøvevegger i mellomtiden. Ved siden av varmestrommålingene ble det utført slagregnundersøkelser m. v. på vegger av samme konstruksjon.

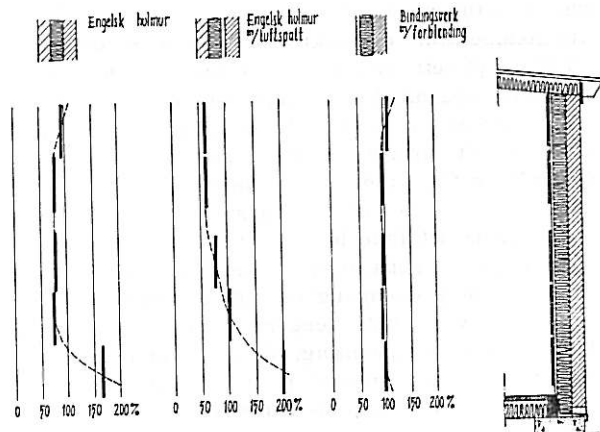
For de østvendte veggene med 10 cm mineralullisolasjon ble varmegjennomgangstallet funnet å være omkring 0,35 — 0,37 kcal/m²h°C. For de vestvendte veggene av samme konstruksjon var tallene noe høyere, nemlig fra 0,41—0,47 kcal/m²h°C. De noe høyere verdiene for vestveggene torde forklares ut fra en virkning av vind og slagregn.

For prøvevegger med 10 cm vermikulittfylling ble det 1956/57 målt $k = 1,12$ kcal/m²h°C for vestvegg og 0,56 kcal/m²h°C for østvegg. Det høye varmegjennomgangstallet for vestveggen kom av at isolasjonsmaterialet var blitt fuktig p. gr. a. regngjennomslag og hadde sunket sammen slik at den fylte bare halvparten av hulrummet. Øverste del av veggen var derfor som en vanlig engelsk hulmur, og nederste halvpart ikke nevneverdig bedre på grunn av fuktigheten i isolasjonsmaterialet. Vermikulittfeltene ble derfor pusset utvendig sommeren 1957 og nytt isolasjonsmateriale ifyllt. For etterfølgende vinter ble funnet varmegjennomgangstallene 0,59 kcal/m²h°C for vestvegg og 0,47 for østvegg, altså betydelig gunstigere verdier enn året før. Imidlertid hadde materialet sunket 10 — 15 % også i denne perioden.

For bindingsverksveggen med forblending ble funnet varmegjennomgangstallene 0,27 — 0,31 kcal/m²h°C for vestvegg og 0,24 — 0,29 for østvegg, hvilket er i svært god overensstemmelse med de teoretiske varmegjennomgangstall basert på en λ -vekt for mineralull i området 0,03 — 0,035 kcal/m²h°C.

Ved første øyekast virker den store forskjellen mellom varmegjennomgangen i bindingsverksveggen med forblending og hulmuren med samme tykkelse av isolasjonslaget, overraskende og usannsynlig. Forskjellen skyldes imidlertid en markert kuldebro ved veggens avslutning nedentil, slik at varmen ledes i veggens plan gjennom innervangen til grunnmuren og ut. Eksempler på varmestrommens fordeling over veggghøyden, hvorav kuldebroens effekt fremgår tydelig, er vist i fig. 6.

Innvirkningen av kuldebroen har vært undersøkt ved hjelp av relaxasjonsregning. Den teoretiske undersøkelse gav litt lavere varmegjennomgang nederst på vegg enn det som ble målt, hvilket forøvrig er svært naturlig, da det bl. a. vil være en viss innvirkning av konveksjon. Dette vil også medføre at kuldebroens innvirk-



6. Eksempler på varmestrommens fordeling over veggghøyden. Virkningen av kuldebroen fremgår tydelig.

ning ikke blir bare lokal, men strekker seg relativt langt oppover veggene.

Veggene med luftspalt utenfor mineralullisolasjonen gav ikke den forventede virkning p. gr. a. en sterk konveksjon i spalten. Konveksjonsstrømmene gav en meget skjev varmestrøms- og temperaturfordeling, og luftspalten kan neppe anbefales.

Dreneringsåpningene i nederste sjikt gav ikke målbar økning av varmetapet, men ble funnet å ha en gunstig trykkutjevneende virkning slik at faren for inntrengning av slagregn² gjennom yttervengen blir sentslig redusert.

For isolasjon av skallmur kan det imidlertid bare anbefales å bruke fuktbestandige og ikke sugende materialer, da det alltid kan være visse muligheter for inntrengning av regnfuktighet. I så henseende synes mineralullmaterialene å være tilfredsstillende.

IV LETTBETONGVEGGER

Hosten 1954 ble 12 av betonghulstensfeltene revet og erstattet med prøvevegger av lettbetong som Leca, Ytong og Siporex.

Veggmaterialene var i form av blokker, plater, staver og elementer med rumvekter fra 450 til 700 kg/m³. Utførelsen av veggene m. h. t. muring og overflatebehandling varierte fra vegg til vegg og ble bestemt av materialfabrikantene i samråd med laboratoriets folk.

For gassbetongveggene var det brukt limte fuger eller fuger i tykkelsen 2 — 8 mm murt som fylte fuger eller med to adskilte mørtelstrenger. Som fugemørtel ble for de mest knase fugene brukt en spesialmørtel. Forøvrig ble det anvendt en aktivert kalk-cementmørtel eller ren cementmørtel. Veggene av lettaggregatbetong, en skallmur og en blokk-mur ble murt med 2 mørtelstrenger av aktivert kalk-cementmørtel i 3 — 8 mm tykkelse. Bortsett fra en vegg, skallmuren som var 30 cm, var tykkelsen av samtlige vegger 25 cm. I skallmurens hulrum var fylt løs Leca. Overflatebehandlingen var gjort dels med puss i mer tradisjonell form, dels med tynnpuss med en utvendig kledning av asbest-cementplater på vertikale eller horisontale bord og lekter og diffusjonsåpen papp.

Fuktinnholdet i materialene ble bestemt i leverings-tilstand og varierte fra 2,5 til 12,5 vekt-%, litt forskjel-

lig for de forskjellige materialer. Målingene ble startet høsten 1957 like etter at veggene var ferdige, og av den grunn ble det den første vinteren ikke tilført noe ekstra fuktighet for at veggene skulle få anledning til å tørke ut. Fra høsten 1958 ble derimot rumfuktigheten kontrollert til 45 % RF. For kontroll av fuktinnholdet i veggene og fordelingen av dette, ble det med regelmessige mellomrum boret ut prøver av veggmaterialiet i tre høyder.

Den første fuktmåling ble foretatt ca. ½ år etter at veggene var oppført. For gassbetongveggen med den høyeste utgangsfuktighet var fuktinnholdet bare ubetydelig lavere enn ved starten, men det hadde foregått en meget sterk forskyvning slik at ca. 70 % av det totale fuktinnholdet var konsentrert i de ytterste 10 cm av veggene. For gassbetongveggene med den laveste utgangshastighet var det ingen nevneverdig endring. Veggene av lettaggregatbetong hadde i løpet av første vinteren tørket adskillig ut og viste også en meget sterk forskyvning av fuktinnholdet.

I løpet av etterfølgende vår og sommer tørket alle de fuktigste veggene ut meget sterkt, slik at det ett år etter var svært liten forskjell på fuktinnholdet i de forskjellige veggene. De opprinnelig tørreste veggene lå imidlertid fremdeles noe gunstigere an. Senere har det foregått en ytterligere utjevning, og veggfuktigheten har etter ca. 2 års tid tilsynelatende stabilisert seg i området 2 — 4,5 vekt-%, litt forskjellig fra de forskjellige materialene. Senere har det stort sett bare foregått sesongmessige forskyvninger av fuktinnholdet. Ingen av veggene har vist noen alminnelige tegn til akkumulering av regnfuktighet, selv om det i et par vegger har vært en mindre lokal inntrengning av regnfuktighet gjennom riss i overflaten.

Resultatene fra varmestrømsmålingene stemte svært godt overens med fuktmålingene. Varmegjennomgangen i de fuktige veggene sank etter hvert som veggene tørket ut og hadde noenlunde stabilisert seg allerede etter ett år, uten noen utpreget forskjell på østvendte og vestvendte vegger. Varmegjennomgangstallene for veggene lå i området 0,35 — 0,60 kcal/m²h°C, alt etter veggens utførelse og materialets rumvekt og struktur og veggens fuktinnhold. Veggene med ytterkledning hadde som rimelig er de laveste varmegjennomgangstall. De ekvivalente varmeledningstall for veggmaterialene ble funnet å ligge i området 0,1 — 0,19 kcal/m²h°C.

Beskyttelse av lettbetongvegger

Av laboratoriesjef *Sven D. Svendsen*,

Norges byggforskningsinstitutt

DK 69.022.32: 666.973

I. Innledning

Lettbetong hører med blant de nye materialer fra etterkrigsårene som har skapt litt av en omveltning i veggtyper her i landet. Som rimelig kan være, gjelder dette særlig Østlandet hvor de største fabrikkene ligger, men lettbetong brukes ellers i større eller mindre grad over hele landet. Denne ekspansjonen har ikke foregått helt smertefritt og uten at det har forekommet en del skader av forskjellig art. Brorparten av disse skadene skriver seg fra klimapåkjenninger, og da i særlig grad fra slagregn som trenger inn i lettbetongveggene og blir årsak til gjennomslag, frostsprengning, korrosjon, senket varmeisolasjon og utblomstringer.

Det kan være så mange årsaker til disse skadene, men meget taler for at særlig tre av dem har primær betydning. For det første brukes lettbetong hovedsakelig i massive vegger, altså i vegger hvor kravene til tetthet er særlig store. For det annet dreier det seg om materialer som har en rekke spesielle egenskaper, både i forhold til hverandre og i forhold til andre byggematerialer. Det er en absolutt betingelse for et førsteklasses resultat at de som planlegger og de som utfører bygget, kjenner disse egenskapene og tar det nødvendige hensyn til dem. For det tredje er det dessverre fremdeles en vanlig oppfatning her i landet at det er overflatebehandlingen i form av spekking, maling eller pussing som alene må ta det fulle ansvar for den massive veggens tetthet. Dette er fullstendig galt, bl. a. fordi det alt for ofte fører til at hele trykkfallet fra vinden får virke over et tynt, ytre sjikt i veggen. Skal man være sikret en tett massiv vegg, er det absolutt nødvendig at også mur- eller støpearbeidet tilfredsstiller temmelig strenge krav.

Disse synspunktene fører til at beskyttelse av lettbetongvegger blir et meget stort emne som omfatter lettbetongens egenskaper, arbeidsutførelse ved ulike veggtyper og alle aktuelle former for ut-

vendig overflatebehandling. Det har derfor vært nødvendig å skjære stoffet ned slik at bare hovedpunktene behandles.

II. Typer av lettbetong

Det er i alt fire fabrikata av lettbetong som i noen vesentlig grad blir brukt i yttervegger her i Norge, gassbetongene Siporex, Ytong og Durox samt lettaggregatbetongen Leca. De tre typer gassbetong lages etter praktisk talt samme prinsipp med kalk og cement som bindemiddel og finmalt kvartssand som tilslagsmateriale, men med en viss variasjon i blandingsforholdene fra type til type. Ved hjelp av aluminiumpulver eses materialet opp under utstøpingen slik at det får mengdevis av forholdsvis store, atskilte porer omgitt av finporøse skillevegger. Det skjæres så til i de ønskede dimensjoner og dampherdes under høyt trykk og høy temperatur i autoklav. Materialet leveres med romvekter som varierer trinnvis fra 0,4 kg/dm³ til 0,7 kg/dm³. Leca fremstilles av cement og et tilslagsmateriale som består av rundaktige korn av brent, ekspandert leire. Lettbetongmassen støpes ut som vanlig betong i vibrerte stålformer, og herdingen foregår i dampkammer med høy temperatur og fuktighet, men med normalt trykk. Materialet leveres vanligvis med tørr romvekt 0,7 kg/dm³.

Gassbetongens egenskaper kan variere noe fra fabrikat til fabrikat, men ulikhetene er så vidt små at vi her kan betrakte dem som ett materiale. Styrken varierer selvsagt meget med romvekten, og trykkfastheten for de tyngre kvalitetene er forbau-sende god. Gassbetong er imidlertid forholdsvis sprø, og sett i relasjon til andre konstruksjonsmaterialer er den til en viss grad ømfintlig for mekaniske påkjenninger i form av f. eks. slag og skjærkrefter som angriper på veggflaten.

Sugeevnen er meget stor og virker i to etapper, — først som en meget rask og kraftig korttids-suging inn i de ytterste materialsjikt og deretter

som en langsom og langvarig ettersuging innover i materialet. Sugingen foregår bare i det finporøse kapillarnett i celleveggene idet porene fra esingen er for store til å kunne transportere fuktighet kapillært.

Gassbetong har et visst tørkesvinn som man ikke bør se helt bort fra, selv om det p. g. a. autoklavherdingen er betydelig mindre enn for beslektede materialer. Det er ellers karakteristisk for gassbetong at disse volumbevegelser er størst ved fuktinnhold som er så lave at man bare sjelden støter på dem i praksis.

Gassbetongens frostbestandighet har et par underlige trekk som har stor betydning i praksis. Så lenge overflaten er ubehandlet, kan materialet tåle meget harde påkjenninger av vekselvis nedfukting og frysing uten å få skader. Blir overflaten derimot gitt en eller annen form for tettende behandling, kan det godt hende at gassbetongen fryser i stykker under de samme påkjenningene. Årsaken til dette ligger antagelig i at frostskafer først inntreffer når de store porene helt eller delvis er fylt av vann. Under nedkjølingen vil temperaturfallet langsomt drive vann fra de varmere indre delene av materialet ut mot overflaten. Hvis denne er ubehandlet, tas fuktigheten opp av luften etter hvert som den transporteres ut. Hvis overflaten imidlertid er dekket med et materiale som transporterer fuktigheten langsommere enn gassbetongen selv, vil vann etter hvert kunne akkumulere i gassbetongens ytterste sjikt. De større porene kan da etter hvert bli fylt, og vi får en frostskafe akkurat i dette sjiktet.

Enhver gassbetong inneholder temmelig store mengder av vannløselige salter. Fuktes materialet kraftig ned, vil en del av disse saltene bli løst opp og følge fuktigheten på den videre vandringen i veggen. Når vannet så når inn- eller utvendig veggflate og fordunster, krystalliserer saltet ut igjen og det oppstår saltsprengninger eller utblomstringer. Vi kjenner enda svært lite til mekanikken ved slik saltvandring, men det er liten tvil om at faremomentet øker sterkt når fuktighetens mengde og transporthastighet øker.

Ved samme romvekt har Leca noe lavere trykkstyrke enn gassbetong, men materialet er til gjengjeld seigere og mindre utsatt for mekaniske skader.

P. g. a. sin oppbygning har Leca forholdsvis lite av det finporete og forgrenete kapillarsystemet som er så karakteristisk for gassbetong, og sugeevnen er derfor liten. Dette fører igjen til at frostbestandigheten blir meget god og at muligheten for salttransport er svært beskjedne. På den annen side står de grove porene i stor utstrekning i forbindelse med hverandre. Dette gjør at materialet blir

temmelig åpent for vanntransport ved trykkfall og tyngdekraft og også for luftgjennomgang. I praksis betyr dette at Leca-veggen så å si alltid må gis en tett overflatebehandling på både inn- og ytterside.

Materialets tørkesvinn er betydelig større enn gassbetongens, og det endrer seg også jevnere med variasjonene i fuktighetsinnhold. Denne egenskapen hos Leca er det spesielt viktig å være klar over i praksis.

III. Forholdsregler ved muring og støping

Lettbetong brukes i mange forskjellige veggtyper, og de viktigste av disse er:

Murte og limte lettbetongvegger med blokk eller stav

Murt skallmur i Leca.

Gassbetongvegger med stående eller liggende elementer.

Betongvegg med lettbetongisolasjon ut- eller innvendig.

Det vil føre alt for langt å behandle disse veggtypene hver for seg, men nedenfor er det punktvis satt opp en rekke generelle forholdsregler som bør følges i størst mulig utstrekning ved muring og støping. Før vi går over til å behandle disse punktene, skal vi imidlertid summere opp de viktigste og farligste lekkasjetypene ved lettbetongvegger:

Gjennomgående sprekker og riss i veggen.

Dårlig fylte eller oppsprukne murfuger.

Feil i støpeskjøter.

Riss og sprekker i overflatebehandlingen.

I tillegg til dette kommer lekkasjer i andre konstruksjonsdeler som vinduer, ventiler, beslag og takteking. Selv om slike lekkasjer lett kan føre til nedfukting og skader i lettbetongveggen, må de imidlertid regnes for å ligge utenfor denne redegjørelsen.

A. Beskyttelse av lettbetongen i byggetiden.

Det er bare halv hjelp å gi lettbetongveggen en førsteklasses tetting mot slagregn hvis man samtidig tillater at materialene blir kraftig fuktet ned i byggetiden. Etter det som tidligere er sagt om materialegenskapene, kan en slik nedfukting føre til frostskafer og saltsprengning i gassbetong og til svinnsprekker i Leca. Lettbetongen bør derfor beskyttes mot fuktighet under transport og på byggeplass så langt det er praktisk gjennomførlig. Et minstekrav må være at den lagres under skikkelig overdekning, og at murkronen blir beskyttet når det ikke arbeides på den. Lettbetongen må også alltid få en viss uttørkingstid etter at den kommer fra autoklav eller dampkammer. Dette er særlig viktig når det gjelder Leca.

I visse tilfelle, spesielt der hvor lettbetongen settes i forskalingen for en betongvegg, kan det være uråd å hindre en sterk nedfukting av den. En bør da vente med puss eller annen overflatebehandling til veggen har kvittet seg med en god del av over-skuddsvannet. Dersom veggen i tørketiden må beskyttes med slagregn, vil den beste løsningen være å gjennomføre bare en arbeidsoperasjon av overflatebehandlingen i første omgang, f. eks. i form av tynngrunning eller annen grunning. Resten av arbeidet må da utstå til veggen er tørket tilstrekkelig ut.

B. Forholdsregler mot veggsprekker.

Det regnes ofte som noe av en naturlov at det alltid må forekomme gjennomgående sprekker i murte og støpte vegger. Det er sikkert meget vanskelig å unngå slike sprekker helt, men like sikkert er det at antallet må kunne reduseres kraftig hvis det blir tatt egnete forholdsregler. Disse problemene blir imidlertid tatt opp i et eget samtaleprogram i dette kurset.

C. Murverksfuger.

Erfaringer fra praksis og fra laboratorieforsøk viser entydig at i en massiv, murt vegg er fugene normalt de farligste innfallsporene for slagregn. Dette gjelder selv ved materialer som har så sterk kapillær suging som gassbetong. Undersøkelser i de siste årene har klarlagt at dette hovedsakelig skyldes svikt i arbeidsutførelsen, at fugene — og særlig stussfugene — ikke blir skikkelig fylt under muringen. Arbeidsteknisk sett er det fullt gjennomførlig å mure slik at samtlige fuger blir fylt helt ut i murlivet, men dette vil kreve en viss omlegging av både tankegang og teknikk på arbeidsplassen.

Ved muring i lettbetong blir det ofte foreskrevet delt fuge, altså bruk av to mørtelstriper. Der klimaet ikke er spesielt værhardt, skulle dette være fullt forsvarlig forutsatt at hver stripe gjøres minst 6—8 cm bred og at alle fuger er helt fylt i stripens fulle bredde. I værhardt klima bør det imidlertid brukes kompakt fylte fuger.

Prinsippet om fylte fuger er like aktuelt ved liming av lettbetong som ved muring og gjelder også der spesielt stussfugene.

En annen årsak til lekkasjer i mørtelfuger er riss og sprekker i fugen. Dette kan komme av at det er brukt for fet mørtel. Murmørtel må aldri være fetere — og kan vanligvis gjøres noe magrere — enn blandingsforholdene i NS 422 tilsier (se tabell på s. 66). Ved muring i gassbetong vil en god del av vannet i fugemørtelen raskt suges opp, slik at mørtelen i løpet av meget kort tid stivner. Skal sprekker unngås, må derfor en blokk eller stav i slikt

materiale aldri flyttes eller slås ut av stilling etter at den er lagt på plass. Fugesprekker kan man også få ved Leca hvis lettbetongen er gjennomvåt når den mures. Materialet har da ingen sugsevne, blokkene «flyter» i mørtelen og har meget lett for å komme ut av stilling.

D. Fuger mellom gassbetong-elementer.

Det er vanlig praksis å bruke mørtel eller lim i de horisontale og vertikale fuger ved slike elementer. Disse fugene har imidlertid en tendens til å sprekke opp og bli utette fordi bevegelsene gjerne blir større enn ved små enheter. Det vil ganske sikkert være bedre om slike fuger i stedet ble utført som monteringsfuger med to-trinns tetting, men dette vil selvfølgelig kreve en viss omlegging fra fabrikkens side.

E. Muring og støping i lodd og plan.

Der hvor lettbetongveggen skal pusses utvendig, blir det bare sjelden stilt krav om at muring og støping skal gi et ytre murliv som er i lodd og plan. Resultatet er at slike vegger svært ofte er meget ujevne og har store svanker. Ujevn pusstykkelser er imidlertid en av de vanligste årsakene til riss og sprekker i pussene og dermed til skader i lettbetongen. Jo jevnere og planere murflaten er, desto lettere er det å gi den en teknisk riktig puss. Det burde derfor i enhver arbeidsbeskrivelse være stilt klare og bestemte krav til den murte eller støpte veggens toleranser hva lodd og plan angår. Hvor strenge disse toleransene skal være, avhenger av arkitektens krav til den pussete platens planhet, men de bør formes slik at pusstykkelser på mer enn 15—20 mm helt unngås. Av samme grunn må det kreves at sår og dårlig fylte fuger må være flikket og at fremstikkende fugemørtel skal være fjernet før flaten står ferdig for pussing.

IV. Behandling av gassbetongflater

Av det som tidligere er sagt om materialegenskapene, fremgår det uten videre at gassbetong i mange tilfelle kan stå ubehandlet uten å få skader. Eksempler på slike ubehandlede vegger finner vi særlig på Østlandet, men de forekommer også i andre strøk, som f. eks. i Narvik. Av mange grunner vil imidlertid bruken av slike ubehandlede vegger være nok så begrenset, bl. a. spiller klimahensyn en stor rolle. I strøk med meget harde slagregnpåkjenninger vil nemlig en slik vegg få gjennomslag gjennom fugene i løpet av meget kort tid dersom den ikke er eksepsjonelt godt murt. Der hvor slagregnperiodene er lange og luftens uttørkingsevne liten, vil det heller ikke kunne bli noen fuktighetsbalanse i veggen. Fuktigheten vil etter hvert ved kapillarsuging trenge

lenger og lenger inn til gjennomslag finner sted. Under særlig ugunstige forhold vil også den ubehandlete veggen kunne få frostskafer.

Med mange av de nyere gassbetongproduktene er det mulig å få en veggflate som er meget jevn og pen, og som hva utseendet angår, godt kunne klare seg med en tynn malingfilm. Her kommer imidlertid gassbetongens egenskaper igjen inn i bildet. Der som veggen skal gis en behandling, må det stilles særdeles strenge krav til de overflatematerialene som brukes, de må være meget tette mot slagregn utenfra og meget åpne mot dampdiffusjon innenfra. Dette doble kravet vil øyeblikkelig sjalte ut en lang rekke malings typer. Oljemalinger og plastmalinger av f. eks. PVC-typen er alt for damptette, mens de fleste komposisjonsmalinger og cementmalinger er for utette mot fuktighet utenfra. I det hele tatt skal men være meget forsiktig med å bruke maling direkte på gassbetong, selv om det ikke kan sees bort fra enkelte typer som f. eks. plastmalinger på PVA-basis vil kunne gi brukbare resultater. I tilfelle må man imidlertid regne med at det alltid er nødvendig å bruke minst to strøk, og malingfilmens tetthet må bedømmes etter dette.

Det normale er derfor at gassbetongveggen behandles med en eller annen form for puss, enten med vanlig «gammeldags» puss eller med en av de nye, tynne pusstypene. Også ved valg av pusstype og ved selve utførelsen av arbeidet er det i høy grad nødvendig å ta hensyn til gassbetongens egenskaper, og selvsagt også til de aktuelle påkjenninger som pussene vil kunne få fra klimaet eller fra mekaniske angrep. Nedenfor skal en først punkt for punkt gå gjennom arbeidet ved vanlig puss, og det er da naturlig å dele dette opp i 3 arbeidsoperasjoner, forbehandling, tynngrunning og selve pussarbeidet.

A. Forbehandling av underlaget.

Underlaget må først gjøres så velegnet som overhodet mulig for pussene. Skadde eller løse blokker eller blokkdeler skal skiftes ut, avstandsklosser av tre fjernes og alt synlig jern hugges av 1—2 cm innenfor murlivet og slemmes over med ren cementvelling. Alle sår i overflaten og alle dårlig fylte fuger flikkes med samme mørtel som skal brukes til grovstokkingen, og fremstikkende fugemørtel meisles bort. Deretter børstes veggen omhyggelig ren for støv, saltutslag og løse korn med en stiv skurebørste eller med piassavakost (fig. 1).

Det neste skritt er å sørge for at flaten har riktig sugeevne. Som før nevnt suger gassbetong temmelig sterkt, og en må derfor alltid regne med at den må vannes. Vanningen skal være så kraftig at overflaten helt mister sin sugeevne, det vil si til den

raske korttidssugingen er avsluttet. Det bør derfor alltid brukes slange og dusjspreder som vist i fig. 2. Den vannmengden som tilføres veggen på denne måten er forbausende liten (omtrent 1 volumprosent) og spiller bare en ubetydelig rolle for veggens totale vanninnhold.

B. Tynngrunning.

Ved vanlig puss på gassbetong skal det *alltid* brukes tynngrunning 1:2½ som kastes eller kastes på underlaget. Tynngrunningen øker pussens heft-



Fig. 1. Børsting av underlaget.



Fig. 2. Fukting av underlaget.

fasthet meget sterkt, jevner ut eventuelle variasjoner i sugeevnen og fører til en kraftig forsterkning av gassbetongens overflate. Dessuten vil tynngrunningen gjøre pussen mer motstandsdyktig mot slagregngjennomgang så sant den utføres helt dekkende og forseglar alle fuger og riss.

Tynngrunningsmørtelen skal ha en temmelig tykk vellingskonsistens, og den skal føres på underlaget i en tykkelse av $1-1\frac{1}{2}$ mm (se fig. 3). Det beste resultatet oppnår man hvis påføringen gjøres med bred gresskost, men kasting kan også brukes. I så fall må man passe spesielt godt på at tynngrunningen ikke får for stor tykkelse. I strøk med sterke slagregnpåkjenninger er det særlig om å gjøre at tynngrunningen totalt forseglar alle fuger. Skal man klare dette, må mørtelen enten i sin helhet kastes på veggen eller først kastes ut og deretter kastes omhyggelig over fugene.

C. Pussarbeidet.

Som mørtel for grovstokkingen skal det brukes KC 20/80 i værhardt klima og KC 35/65 i annet klima. I meget moderat klima, altså i typiske innlandsstrøk, kan den svakere KC 50/50 brukes, men normalt bør man unngå en så porøs mørtel. Sammensetning i volumdelar for disse forskjellige mørtelene er gitt i tabellen nedenfor som er utarbeidet på grunnlag av NS 422.

Skal edelpuss brukes på gassbetongvegger, må



Fig. 3. Tynngrunning med kost.

Kvalitetsbetegnelse	Kalk	Cement	Sand	
			Langsom bl.	Aktivering
KC 20/80	1	2	10	13
KC 35/65	1	1	7	9
KC 50/50	2	1	11	14

det stilles spesielt strenge krav til arbeidsutførelsen. Som underpuss for edelpuss må ikke brukes svakere mørtel enn KC 35/65, og i værhardt klima må det anvendes KC 20/80.

Som tidligere nevnt er gassbetongen ømfintlig for store skjerpåkjenninger som virker på overflaten. Slike skjærkrefter får man særlig p. g. a. svinn i pussmørtelen. Det er derfor av avgjørende betydning for et godt resultat at mørtelene ikke gjøres fetere enn det som tabellen foreskriver, og at sanden tilfredsstillende kravene i NS 422. Av samme grunn bør det heller aldri brukes ren cementmørtel som puss på gassbetong.

Grovstokken skal alltid kastes på flaten. Trekkes den på, vil det dannes store luftblærer bak den som reduserer heftfastheten meget sterkt og som gir utmerkete angrepspunkter for frostsprengning. Det er en meget stor fordel om det klarer seg med ett påkast som da må være 8—12 mm tykt, og i hvert fall ikke tykkere enn 15 mm. Tykke, tunge påkast øker faren for sigeriss og for svinnskader. Dersom det må brukes flere påkast, skal hvert av dem aldri være tykkere enn ca 10 mm, og tiden mellom dem må minst være 2—3 døgn. Ofte vil det være nødvendig med ny vanning foran hvert påkast. Eventuell brettsskuring skal ikke overdrives fordi skuringen trekker bindemiddel ut av pussen og opp til overflaten.

De nye pusstypene som har fått så stor utbredelse nettopp i forbindelse med gassbetong, er *tynnpuss* og *edelslemming*. (Navnet *edelslemming* er nylig lansert av fabrikantene og dekker en hel gruppe av materialtyper som tidligere har gått under mange forskjellige navn). Tynnpuss utføres med et kostet grunningsstrøk og et tykkere påtrekk (4—6 mm) gjort med stålbrett, og denne pusstypen kan derfor benyttes selv om veggflaten er noe ujevn. Ved edelslemming brukes to kostede strøk, og denne behandlingsmåten krever derfor en temmelig jevn overflate.

Tynnpuss og edelslemming er nær beslektet. De består i alminnelighet av hvitcement, knuste mineraler, tilsetningsstoffer og eventuelle fargepigmenter. Korngraderingen for mineralene holdes under streng kontroll helt ned i cementens kornområde, og dette er en av hovedårsakene til at disse pusstypene har så gode tekniske egenskaper. En første-klasses tynnpuss eller edelslemming er nemlig overordentlig tett mot slagregn og meget åpen for damp-

gjennomgang. Det ligger i sakens natur at disse materialene alltid fremstilles på fabrikk og markedsføres som tørrmørtler. Dette burde også kunne sikre en jevn kvalitet.

Ved bruk av tynnpuss og edelslemming må fabrikkens bruksanvisning følges i detalj. Særlig viktig er det at følgende regler overholdes strengt:

Forbehandlingen, inklusive rensing og fukting, av overflaten skal være som for vanlig puss, hvis ikke noe annet er spesielt foreskrevet i bruksanvisningen.

Det må alltid brukes to gangers behandling utført med kost eller stålbrett. Dersom overflaten skal gis en spesiell struktur med stenkapparat eller trykkluftpistol, må dette komme som en tredje behandling.

Etter som praktisk talt alle disse materialene er på cementbasis, må det legges spesiell vekt på at pussene holdes fuktet de 4—5 første døgn.

Tynnpuss og edelslemming har to svakheter i forhold til vanlig puss: de er mer utsatt for skadelig uttørking (p. g. a. pussens lille tykkelse), og de har noe lettere for å bli skjemet av saltutslag. De tekniske fordeler ved materialene er imidlertid ellers så store at man bør foretrekke en slik tynn pusstype der hvor veggflatens jevnhet tillater det. Det er dessuten meget som taler for at vi etter hvert vil få stadig bedre og mer hensiktssvarende kvaliteter av tynnpuss og edelslemming.

Der hvor klimaforholdene er særlig ille, bør man fortsatt være varsom med å bruke pusset gassbetong, i hvert fall til erfaringsmaterialet blir større. I slike tilfelle vil man imidlertid kunne få en fullgod beskyttelse av gassbetongveggen ved å bruke en ytre, luftet kledning i form av trepanel, eternitt eller metallplater. Veggen går i så tilfelle over fra å være massiv til å bli oppløst.

V. Behandling av Lecaflater

Som tidligere nevnt krever Leca-materialets åpne struktur en tett behandling utvendig. Samtidig er materialets overflate relativt ujevn slik at behandling med f. eks. maling, tynnpuss og edelslemming direkte på Leca faller bort. Det må først gjennomføres en grunning med en mørtel som er forholdsvis tykflytende, og som kastes på veggen. Som grunningsmørtel brukes normalt samme mørtelsammensetning som for tynngrunning på gassbetong, 1:2½, men i mer moderat klima kan også KC 20/80 benyttes.

Lecaveggen må *aldri* vannes før pussarbeidet tar til, og har vært vært særlig regnfullt gjennom lengre tid, må veggen først få tørke noe ut. Grunningen kastes på veggen i ca 5 mm tykkelse og til fullstendig dekning. Den skal ikke bearbeides på veggen, men trekkes av med rettholt i flukt med de ytterste Lecakornene. Grovstokkingen kastes på minst — og helst — 1 døgn etter grunningen. Grovstokkingsmørtelen og hele pussarbeidet ellers utføres nøyaktig som allerede beskrevet for gassbetongveggen. I stedet for å bruke vanlig puss, kan selvsagt både tynnpuss og edelslemming benyttes etter at den spesielle Lecagrunningen er påført. I så fall kan det første kostede strøket for disse pusstypene sløyfes. Også edelpuss kan brukes direkte på Lecagrunning.

VI. Konklusjon

Det er liten tvil om at lettbetongene er kommet for å bli her i landet, og det er sannsynlig at de i fremtiden på enkelte områder vil kunne komme til å få en betydelig øket anvendelse. Desto viktigere er det at disse materialene blir riktig behandlet. Antallet av skader i forbindelse med lettbetong har vært unødvendig stort de siste årene, men vi får tro at bedre kjennskap til materialegenskapene, høyere kvalitet på veggutførelsen, riktigere valg av overflatebehandling og mer korrekt pussteknikk etter hvert vil kunne bedre dette forholdet.

TREVEGGER

Av arkitekt MNAL SVEN ERIK LUNDBY, Norges byggforskningsinstitutt

Selv om prisen på trematerialer har steget noe i de senere år, og forholdsvis mer enn prisen f. eks. på lettbetong, er nok forholdet fremdeles det at det er 3 typiske småhusvegger som skiller seg ut som driftsøkonomisk fordelaktige:

Trevegger med enkle kledninger og mineralullisolering. Skallmurer med mineralullisolering.

Lettbetongvegger med lettbetong av lav romvekt og med limte eller knase fuger.

Det er riktigst å betrakte disse konkurrerende veggtypene som en gruppe fordelaktige yttervegger.

I praksis har utviklingen de siste årene ført til en avklaring, hva treveggen angår. Mange av variantene er etterhvert falt ut av bildet, og noen få typer er blitt stående igjen som typiske og aktuelle.

Veggene med hulrom er mer eller mindre forsvunnet, og veggene med mineralull i hele hulrommet dominerer.

Hovedårsaken til at de såkalte tradisjonelle treveggen er gått så sterkt tilbake, er nok at de driftsøkonomisk sett er vesentlig dårligere, og at de hva anleggskostningene angår ikke byr på fordeler.

Den forbedrede hulveggtypen ($k = \text{ca. } 0,65$) som kom etter krigen med blank papp på innsiden av bindingsverket og porøs, asfaltlimt trefiberplate og ett lag impregnert papp på utsiden av bindingsverket, er også mindre aktuell i dag. Ved siden av rent driftsøkonomiske forhold har det også bidratt til å sette veggen i miskreditt at det har vært noen få branntiløp p. g. a. overledning i den aluminiumbelagte innvendige pappen. Dette motvirkes forresten i dag ved en oppruting av aluminiumfolien.

Vi må vel si at erfaringene med de mineralullisolerte veggvariantene har vært gode. En almindelig vegg basert på 2" x 4" bindingsverk, med enkle kledninger og hele hulrommet isolert med mineralull, skulle få en k-verdi på ca. 0,32.

Det er ikke tegn til at mineralullen synker i veggene når materialene er utsatt for normalt spenn [1].

De to viktigste ting man har lært å passe på er at isolasjonsmaterialene beskyttes mot gjennomblåsing [2], og at det innvendige papplaget danner et effektivt dampperreskikt.

Det utvendige papplaget må med andre ord legges med klemte skjoter. Denne pappen kan da være en almindelig forhudningspapp. Utvendig papp bør helst trekkes frem på karmene og klemmes [3]. Den innvendige pappen, som også må legges med klemte skjoter, må være tilstrekkelig damp tett. Her er det en rekke velegnede papptyper på markedet, asfaltbelagt papp, papp med påklebet polyetylenfolie, rene polyetylenfolier osv.

Ellers viser utlektede flisfylte vegger seg å være svært fordelaktige i innenlandsstrøk med god tilgang på ren, tørr kutterflis.

Med en så god varmeisolasjon som en mineralullmatte i hele hulrommet, spiller kledningenes varmeisolasjon naturligvis liten rolle. Man har den fordel at man bare kan gå etter de kledningene som er mest økonomiske eller mest hensiktsmessige som overflate på veggene.

Interessen for selve isolasjonsmaterialet er nok økende. Vi har fått jevnere kvaliteter, mindre perleinnhold i steinullmattene osv. Formatene er mer presise og materialene på mange måter direkte lekke. Disse materialene er *billige*, ikke minst i forhold til hva de gir av varmeisolering. Vi er tjent med å få dem sammen satt slik at fibermengden gir maksimum varmeisolasjon. Vi har jo bare en viss veggtykkelse å fylle. Vi er f. eks. ikke tjent med noen priskrig hvis den fører til at romvektene drives så langt ned at konveksjon, gjennomblåsing og lignende forhold begynner å spille betydelig rolle. Noen sammenligning av romvekter er forresten ikke helt enkel. Her spiller fibertykkelser o. l. inn.

Sammenføyningene kan komme mer i sentrum igjen. Utviklingen av moderne limteknikk har vært ganske imponerende, og vi må regne med at det kan bli en utvikling også på slike felter som f. eks. oppsetting av innvendig kledning. Noe spesielt å peke på i denne retning er det vel imidlertid ikke.

Derimot har utviklingen av lamineringsindustrien skapt visse muligheter. Vi har allerede en rekke bygg hvor det er gjort bruk av limte, laminerte dragere. Stolpeavstandene kan da økes, eller ytterveggene kan avlastes ved tverrgående laminerte dragere. Lette, velisolerte yttervegger, glasspartier o. l. hører derfor like godt slike bygg til, som f. eks. curtain-walls-bygg. Vi vil i de nærmeste årene få vite hvor konkurransedyktige de enklere laminerte bjelkene blir. Foreløpig er kanskje de arkitektoniske mulighetene mer fristende enn de økonomiske.

Hvis vi stanser et øyeblikk ved de typiske velisolerte trehusveggene slik vi har dem i dag, er det kanskje først og fremst spørsmålet om isolasjon som interesserer. Kanskje er det økonomisk riktig å isolere *bedre* enn vi gjør i våre vegger med 10 cm mineralull?

Vi kan jo legge om bindingsverket fra 2" x 4" til 2" x 6", og øke senteravstanden på stenderne fra 60 til 90 cm. (Riktignok går vi da ut over hva Byggeforskriftene tillater, så vi må forutsette at vi får dispensasjon). Elastiske matter med høyde 87 cm vil passe liggende i et slikt bindingsverk. Får vi ikke 15 cm (6") matter, kan vi bruke 2 stk. 7,5 cm (3").

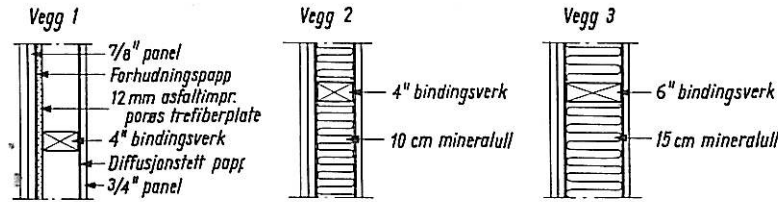
En slik enkel oppbygging av bindingsverket er antagelig å foretrekke fremfor stender + utlekting, som imidlertid fører med seg den fordel at de massive tre-partiene i veggen reduseres til krysningsflatene mellom stenderne og spikerslag, slik at veggen jevnt over blir meget godt isolert.

Professor *Granum* har særlig interessert seg for den økonomiske sammenligning av 4" og 6" trevegger, og skrevet om dette i BYGG [4]. I den nye utgaven av TREHUS [5] er de samme spørsmålene diskutert. Det er her en oversikt over de årlige driftsutgiftene (ekskl. vedlikehold) for 3 veggtyper, nemlig:

Vegg 1. Vegg med hulrom. 2" x 4" bindingsverk. Utvendig asfaltimpregnert trefiberplate, forhudningspapp og panel. Innvendig diffusjonstett papp og panel.

Vegg 2. Vegg med mineralullisolasjon. 2" x 4" bindingsverk. 10 cm mineralull, utvendig og innvendig papp og kledning.

Vegg 3. Vegg med mineralullisolasjon. 2" x 6" bindingsverk. 15 cm mineralull, utvendig og innvendig papp og kledning.



De tre bindingsverksveggene som er sammenlignet.

Det er gått ut fra følgende antatt byggepris og regnet med disse k-verdier:

	Antatt byggepris	k-verdi
Vegg 1. Vegg med hulrom	47,50 kr./m ²	0,65 kcal/m ² °C·h
Vegg 2. Vegg med 10 cm mineralullisolasjon	50,— kr./m ²	0,32 kcal/m ² °C·h
Vegg 3. Vegg med 15 cm mineralullisolasjon	55,— kr./m ²	0,22 kcal/m ² °C·h

Vegg 3 er dessuten belastet med en «romtapsomkostning» på kr. 2,— pr. m².

turforhold som i Trondheim (Oslo og Trondheim har praktisk talt samme graddagstall G = ca. 3850), gir følgende resultater:

En slik sammenligning for prisforhold og tempera-

		Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3	Alternativ 4
Rentefot	p	6 %	6 %	4 %	8 %
Avskrivn.tid	n	50 år	50 år	75 år	50 år
Energipris	p _v	6 øre/Mcal	9 øre/Mcal	9 øre/Mcal	9 øre/Mcal
Vegg 1	C _a · K _a	3,10	3,10	2,00	3,90
	K _v	3,60	5,40	5,40	3,60
	Sum	6,70	8,50	7,40	7,50
		kr./år			
Vegg 2	C _a · K _a	3,25	3,25	2,10	4,10
	K _v	1,80	2,65	2,65	1,80
	Sum	5,05	5,90	4,75	5,90
		kr./år			
Vegg 3	C _a · K _a	3,70	3,70	2,40	4,68
	K _v	1,22	1,82	1,82	1,22
	Sum	4,92	5,52	4,22	5,90
		kr./år			

Det fremgår av tabellen at vegg 1 ligger svært ugunstig an, uansett hvilke kombinasjoner av rentenivå, avskrivningstid og brenselpris man velger. En slik vegg bør derfor ikke brukes mer til vanlige helårshus. Vegg 2 og 3 med henholdsvis 10 og 15 cm mineralullisolasjon ligger nokså likt i årlige omkostninger. For de mest aktuelle kombinasjoner av pris- og rentenivå ligger vegg 3 gunstigst an. For steder med større graddagstall enn Trondheim/Oslo (G = ca. 3850) vil dette forhold bli enda mer utpreget. Bindingsverksvegger med større isolasjonstykkelse enn 10 cm er derfor høyst aktuelle, og man må gjøre regning med at slike vegger etterhvert kommer i bruk.

I området omkring økonomisk optimal isolasjon vil de årlige omkostninger ikke påvirkes nevneverdig ved en forandring av isolasjonstykkelsen med en tomme eller to opp eller ned. Veggtykkelser i hele området 10 til 20 cm fylt med mineralullisolasjon kan derfor være aktuelle. Dette er et faktum som åpner mulighet for bruk av mange veggtyper, f. eks. i «post and beam»-

utførelse med limte, laminerte trekonstruksjoner. Det vil på denne måten være mulig å øke isolasjonstykkelsen samtidig som treforbruket går ned.

Det er sikkert riktig å peke på dette forholdet i dag: I kaldere strøk kan vi med fordel isolere husene enda bedre enn vi gjør.

Enhver får bruke sitt praktiske skjønn om han vil vurdere fordelene ved bedre isolasjon så stor at det er riktig å velge f. eks. ca. 6" vegg. Trevegger har iallfall den fordel at de lett kan tilpasses tykkere isolasjonslag hvis man ønsker å bruke det.

I årene som kommer regner vi med ytterligere klar konsentrasjon omkring de velisolerte treveggene, med noen økning for enda bedre isolerte vegger.

Vi vil i øket grad kunne utnytte laminerte bjelker og stolper, og bør bruke mer trykkimpregnerte materialer i ytterkledninger, bunnsvill etc.

Totalt sett må man fortsatt regne med noen tilbakegang for treveggene, fordi alle veggtypene i gruppen «fordelaktig» har sine tilhengere. Her vil også trelast-

bransjens evne til å markedsføre sine produkter komme til å spille en rolle.

Teknisk sett skulle vi være over i en mer problemfri periode.

De velisolerte trehusene har vist seg å passe såvel i kalde, stille innlandsstrøk som i værharde kyststrøk. Her må bare kledningen utlektes etter de prinsipper vi har hørt om ellers på kurset.

Trevegger vil fortsatt vinne terreng i større bebyggelse, som curtain-walls (påhengsvegger) o. l. Her må da kledningene avpåsnes etter byggene, og det kan bare tenkes Eternit-kledning, gipsplater o. l. på grunn av kravene til brannsikkerhet. Hulrommene må være fylt med mineralull.

LITTERATUR

- [1] *Vikøren, Olav*. Synker mineralullen i bindingsverksvegger? En undersøkelse av 31 hus isolert med mineralull. Bygg 5, 1957, nr. 2, s. 29—32. (Norges byggforskningsinstitutt. Særtrykk, 22).

- [2] *Granum, Hans, Sven D. Svendsen og Amarias Tveit*. Lette treveggers vindtetthet. Oslo 1954. 71 s. (Norges byggforskningsinstitutt. Rapport, 7).

- [3] *Norges byggforskningsinstitutt*. Byggdetaljblad. Oslo nr. (21).601 Vindusomramming, utvendig. Trehus med stående, ikke utlektet panel. 1958 2 s.
- » (21).602 Vindusomramming, utvendig. Trehus med stående, utlektet panel. 1958. 2 s.
 - » (21).603 Vindusomramming, utvendig. Trehus med liggende, ikke utlektet panel. 1958. 2 s.
 - » (21).604 Vindusomramming, utvendig. Trehus med liggende, utlektet panel. 1958. 2 s.
 - » (21).605 Vindusomramming, utvendig. Trehus med asbestsement panel. 1958. 2 s.
 - » (21).606 Vindusomramming, innvendig. For trevegger. 1958. 2 s.

- [4] *Granum, Hans*. Økonomisk varmeisolering av bygninger. Bygg 7, 1959, nr. 5—6, s. 105—108, s. 135—140.

- [5] *Granum, Hans og Sven Erik Lundby*. Trehus 1961. Oslo 1961. 283 s. (Norges byggforskningsinstitutt Håndbok, 12).

Professor Hans Granum, NTH:

KULDEBROER

Generelt.

Med kuldebroer forstås partier av varmeisolererte konstruksjoner (vegger, tak osv.) hvor isolasjonen er vesentlig svakere enn i konstruksjonen ellers. Typiske eksempler på kuldebroer er vist i fig. 1—5. I mange slags konstruksjoner er det vanskelig eller umulig å unngå kuldebroer, og de er dessverre svært vanlige i de fleste bygninger.

Som kjent er det en rekke problemer og ulemper forbundet med kuldebroer. Disse problemene kan i det vesentligste sammenfattes i 3 punkter.

1. Kuldebroene fører til at den innvendige overflatetemperaturen blir ujevn, med lave temperaturer på områdene ved kuldebroen når det er kaldt ute. Dette kan i slemme tilfelle føre til kondensasjon på overflatene, ofte med tilhørende betydelige ulemper og skader på tapet, maling osv. De ujevne temperaturene kan også føre til såkalt støvkondensasjon som gir skittstriper eller skittflekker ved kuldebroene. Dette støvet er vanskelig å vaske vekk, og om en maler over, danner det seg påny etter noen tid. Den ujevne temperaturfordelingen kan også føre til «strålingstrekk» med noe nedsett behagelighet for opphold i rummet.
2. Kuldebroene fører til øket varmetap, som det kan være meget nødvendig å ta hensyn til både ved beregning av oppvarmingsbehovet og ved den økonomiske vurdering av vedkommende konstruksjon.
3. Kuldebroene kan føre til skadelige spenningstilstander i konstruksjonene på grunn

av ujevne temperaturer og derav følgende ujevne temperaturbevegelser, f. eks. i innvendig puss.

Kuldebroene fører også til ujevn temperaturfordeling på den kalde side (utsiden) av konstruksjonen. Dette gir seg ofte tydelig synlige uttrykk i rimmønster på vegger og tak, og fører ofte til ujevn nedfukting og derav følgende ujevn misfarging av treverk, maling o.l. Skadene blir størst utenfor kuldebroen hvor varmemstrømmen er svakest.

I de gamle, massive konstruksjonene, som f. eks. murhus med tykke, massive vegger eller trehus av laftet tømmer, var ikke kuldebroer noe problem. Problemet oppstår først ved lettere, godt isolerte konstruksjoner. Jo bedre isolasjonen er, og jo tynnere konstruksjonen er i forhold til isolasjonsevnen, desto større blir problemet. Ofte har de bærende materialer dårlige isolasjonsegenskaper. Dette er i høy grad tilfelle med metaller som stål eller aluminium. Det er også tilfelle med betong, selv om den riktignok leder varmen betydelig dårligere enn stål og aluminium. Ledningsevnen er allikevel ca. 40 ganger større enn for gode isolasjonsmaterialer som f. eks. mineralull. Innvendig isolerte betonghus gir derfor alltid store kuldebroproblemer.

I trekonstruksjoner volder kuldebroene sjelden noen egentlige problemer, hvilket henger sammen med at trevirket selv isolerer forholdsvis godt. Det har en ledningsevne bare ca. 4 ganger større enn de gode isolasjonsmaterialer.

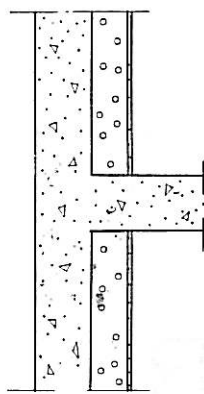


FIG. 1

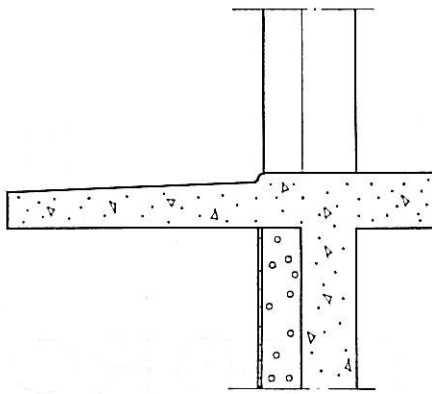


FIG. 2

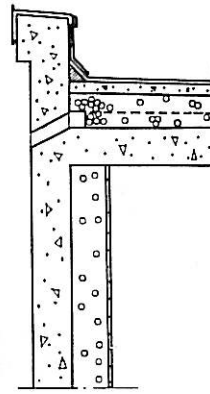


FIG. 3

Fig. 1. Kuldebro ved innvending isolert betonghus. Dekke eller skillevegg. — Fig. 2. Kuldebro ved balkong. utvendig isolert betonghus — Fig. 3. Kuldebro ved gesims. flatt tak.

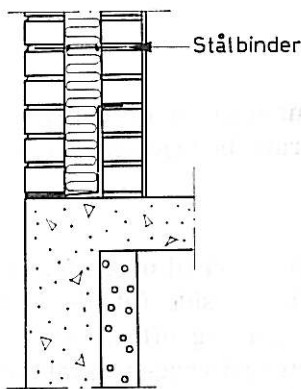


FIG. 4

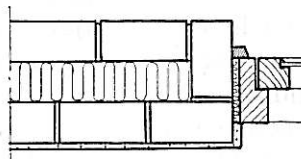


FIG. 5

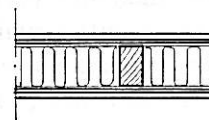


FIG. 5a

Fig. 4. Kuldebro ved grunnmur. Isolert skallmur av tegl. Stålbinder gir kuldebro av mindre betydning. Fig. 5. Kuldebro ved vindussmyg. Isolert skallmur i tegl. Kuldebroen gir et ekstra varmetap

$$q = \text{ca. } 0,2 \frac{\text{kcal}}{\text{°Ch} \cdot \text{m}}$$

Dette er allikevel mer enn nok til at vi må ta hensyn til det ved beregning av veggens k-verdi.

Problemer av lignende art som ved kuldebroer har vi også ved hushjørner og ved grunnmurer med isolerte kjellere, og likeså ved kjellerløse hus med gulvet rett på marken. Problemenes beregningsmessige og evt. eksperimentelle behandling blir i alle tilfelle prinsipielt det samme som for kuldebroer. I alle tilfelle dreier det seg om behandling av to- eller tredimensjonale varmestømmer.

Beregning av flerdimensjonale varmestømmer.

Ved beregning av varmegjennomgangstall o. l. forutsetter vi vanligvis endimensjonal, stasjonær varmestøm, som beregningsmessig lett lar seg håndtere. For å få en slik varmestøm

må vi egentlig ha store flater som er skiktvis homogene i flatenes plan, og konstante temperaturforhold. I praksis forekommer dette sjelden eller aldri, og våre vanlige varmetekniske beregninger representerer derfor ofte ganske grove tilnærmelser.

En mer generell formulering av beregningsproblemet har vi i den s. k. Fouriers differensialligning for en ikke-stasjonær, tre-dimensjonal varmestøm i et homogent materiale:

$$\frac{\delta^2 T}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 T}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 T}{\delta z^2} = \frac{c \gamma}{\lambda} \cdot \frac{\delta T}{\delta h}$$

hvor:

- $\frac{\delta T}{\delta x}$ = temperaturgradienten i x-retningen, og tilsvarende for de øvrige retninger.
- γ = materialets rumvekt.
- c = materialets spesifikke varme.
- λ = materialets varmeledningstall.

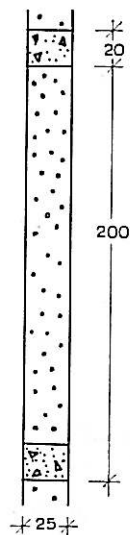


FIG. 6

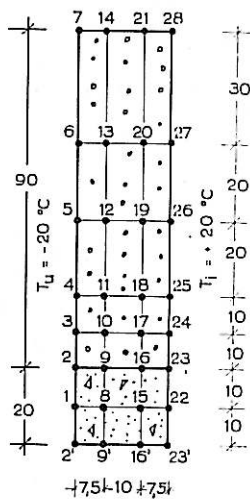


FIG. 7

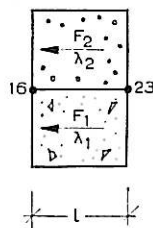


FIG. 8

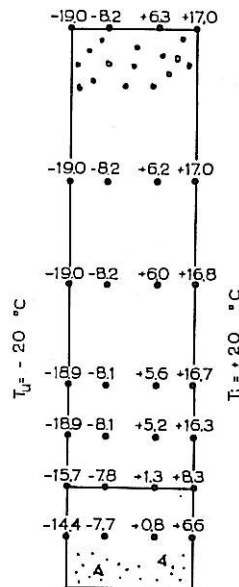


FIG. 9

Fig. 6. Betongsøyler med utmuring av lettbetong mellom søylene. — Fig. 7. Rutenett innlagt i veggen. — Fig. 8. Varmetransport mellom punkt 23 og punkt 16. Temperaturen tenkes konstant langs de vertikale linjer gjennom punktene. — Fig. 9. Beregnet temperaturfordeling i veggen.

(Uttrykket $\frac{\lambda}{c \gamma}$ kalles vanligvis materialets temperaturledningsevne.)

$\frac{\delta T}{\delta h}$ = temperaturendringen i tiden (h).

Denne ligning lar seg løse for visse forenkede spesialtilfelle*, men det er fåfengt å prøve å løse den eksakt for mer kompliserte tilfelle som vi har i nesten alle praktiske konstruksjoner.

Ved å gå tilbake til de betraktninger som ligger til grunn for oppstilling av ligningen, og ved å innføre endelige størrelser istedetfor differensialer, kan vi finne meget brukbare tilnæringsmetoder som er hensiktsmessige til praktiske løsninger av beregningsproblemet. Det dreier seg her om differenseligninger istedenfor differensialligninger. Løsningen av ligningene kan skje ved iterasjon (relaksasjonsmetoden) som kan gjøres «for hånd» som vist av dr. Schjødt i en artikkel i Teknisk Ukeblad nr. 2/1958 (NBI særtrykk nr. 27). Beregningene kan raskere og billigere utføres ved hjelp av elektroniske regnemaskiner, bare man har hensiktsmessige program klar for dette formål.

* Se f. eks. M. Egeskjold: «Kuldebroer». (Dansk Ingeniørforenings byggrasjonaliseringsutvalg. Publikasjon nr. 8.)

Metoden skal illustreres ved et enkelt eksempel for et to-dimensjonalt tilfelle og stasjonær varmestrøm.

Gitt en vegg (fig. 6) som består av betongsøyler, dimensjon 25×20 cm, med antatt varmeledningstall $\lambda_1 = 1,4 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ Ch}}$ og centeravstand = 2,0 m. (Veggens høyde antas stor). Mellom søylene er utmurt med lettbetong, tykkelse = 25 cm med antatt varmeledningstall $\lambda_2 = 0,14 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ Ch}}$. (For enkelhets skyld ser vi bort fra evtl. pusslag).

Temperaturfordelingen i veggen skal undersøkes når lufttemperaturen innvendig er $+20^\circ \text{C}$ og utvendig -20°C .

Overgangsmotstandene antas tilnærmet konstante og settes til

$$m_i = 0,15 \frac{\text{m}^2 \text{ Ch}}{\text{kcal}} \quad \alpha_i = 6,7$$

og

$$m_{ii} = 0,05 \frac{\text{m}^2 \text{ Ch}}{\text{kcal}} \quad \alpha_{ii} = 20$$

Vi legger inn et rutenett i veggen med så fin inndeling som vi ønsker, fig. 7. Jo nøyaktigere vi ønsker å bestemme temperaturfordelingen, desto finere må rutenettet være. Punktrekken

7—14—21—28 ligger midt i isolasjonsfeltet og så langt fra kuldebroen at vi uten nevneverdige feil kan anta en temperaturfordeling her som i en homogen lettbetongvegg.

Veggens samlede varmegjennomgangsmotstand er her:

$$\text{Innvendig overgangsmotstand } m_i = 0,15$$

$$\text{Lettbetong } m_1 = \frac{0,25}{0,14} = 1,79$$

$$\text{Utvendig overgangsmotstand } m_u = 0,05$$

$$\Sigma m = 1,99$$

$$k_2 = \frac{1}{\Sigma m} = \frac{1}{1,99} \cong 0,5 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C h}}$$

Temperaturfordelingen blir:

$$t_{28} = + 20^\circ \div \frac{0,15}{1,99} \cdot 40^\circ = 20 \div 3 = + 17,0^\circ \text{ C}$$

$$t_{21} = + 17 \div 36 \cdot \frac{7,5}{25} = 17 \div 10,8 = + 6,2^\circ \text{ C}$$

$$t_{14} = + 6,2 \div 36 \cdot \frac{10}{25} = 6,2 \div 14,4 = \div 8,2^\circ \text{ C}$$

$$t_7 = \div 20 + \frac{0,05}{1,99} \cdot 40^\circ = \div 19,0^\circ \text{ C}$$

Vi setter nå opp betingelsene for temperaturlikevekt for hvert enkelt punkt hvor temperaturen er ukjent. Som eksempel tar vi pkt. 16, som står i likevekt med 4 øvrige punkter, nemlig 15, 23, 17 og 9. Summen av varmetransporten mellom pkt. 16 og nabopunktene må ved temperaturlikevekt være lik null.

Den varmemengde som transporteres fra et punkt med temperatur t_n til et nabopunkt med temperatur t_0 i avstand l_n gjennom arealet F_n er pr. tidsenhet:

$$Q_{n-0} = F_n \cdot \frac{\lambda_n}{l_n} (t_n - t_0)$$

Betingelsen for temperaturlikevekt blir da:

$$\sum_1^4 F_n \cdot \frac{\lambda_n}{l_n} (t_n - t_0) = 0$$

Dersom varmen ledes mellom punktene gjennom to arealer med forskjellig varmeledningstall som f. eks. for pkt 23 til pkt. 16, vil faktoren ($F_n \cdot \frac{\lambda_n}{l_n}$) istedet bli ($F_1 \cdot \frac{\lambda_1}{l_1} + F_2 \cdot \frac{\lambda_2}{l_2}$) (fig. 8).

Varmetransporten regnes positiv når den skjer i retning mot det punkt vi setter opp likevekten for. Arealet F blir for to-dimensjonal varmestrøm en fast, vilkårlig høyde h ganger halve avstanden til nabopunktene på siden, altså f. eks. for varmetransporten fra pkt. 15

til pkt. 16. $F = (h \frac{7,5 + 10}{2}) \text{ cm}^2$. Størrelsen h inngår i alle ledd og kan således forkortes bort for vår to-dimensjonale varmestrøm.

Vi får på denne måten for pkt. 16:

$$8,75 \cdot \frac{1,4}{0,10} \cdot (t_{15} - t_{16}) + \frac{5(1,4 + 0,14)}{0,075} (t_{23} - t_{16}) + 8,75 \cdot \frac{0,14}{0,10} (t_{17} - t_{16}) + \frac{5(1,4 + 0,14)}{0,10} (t_9 - t_{16}) = 0$$

eller ordnet:

$$12,25 t_{15} + 10,3 \cdot t_{23} + 1,225 t_{17} + 7,7 t_9 - 31,44 t_{16} = 0.$$

På tilsvarende måte går frem for alle punkter hvor temperaturen er ukjent. Ved punkter som ligger på ytterflatene må vi istedenfor faktoren $F_n \cdot \frac{\lambda_n}{l_n}$ regne med $F_n \alpha_i$ resp. $F_n \alpha_u$ for varmestrøm loddrett på overflaten. Vi kan videre se bort fra evtl. varmestrøm i luften parallelt overflaten. (Egentlig vil denne forenkling gi en liten feil.) For punktene på linjen 1—22 vil på grunn av symmetrien, den resulterende varmetransport i veggens lengderetning bli lik 0, dvs. varmetransporten f. eks. fra pkt. 16 til 15 blir lik (motsatt fortegn) varmetransporten fra pkt. 16' til 15. I vårt regneeksempel får vi ialt 24 ligninger med like mange ukjente temperaturer. Et slikt lineært ligningssystem lar seg meget hurtig og enkelt løse ved hjelp av en elektronisk regnemaskin. Ligningen bør da oppstilles i form av en matrise som vist i tabell 1.

Ligningssystemet lar seg også løse «for hånd» ved suksessiv approksimasjon (relaksasjonsmetoden), men for litt mer kompliserte tilfelle (mange ukjente) gir dette et ganske brysomt arbeide.

På fig. 9 er vist den temperaturfordeling man får ved løsningen av ovennevnte ligningssystem.

Med de vanlige elektroniske regnemaskiner kan man løse lineære ligningssystem med ca. 100 ukjente ved hjelp av eliminasjonsmetoden. Det kan imidlertid ved en praktisk kuldebroberegning være aktuelt å bruke et nett med langt flere punkter, kanskje 300—400 punkter. Ved hjelp av en elektronisk regnemaskin kan også slike tilfelle løses ved å bruke maskinen til suksessiv approksimasjon.

Ved stasjonær tilstand er temperaturen i hvert punkt en veiet middelvei av temperaturene i de omgivende nabopunkter (4 nabo-

punkter ved to-dimensjonal og 6 nabopunkter ved tre-dimensjonal varmestrøm).

Temperaturen i hvert enkelt punkt kan derfor beregnes som en funksjon av nabopunktene temperaturer, se fig. 10 (2-dim. varmestrøm). Varmetransporten mellom pkt. n og pkt. o blir:

$$\Delta Q_n = \frac{2}{\lambda} \rho_n (t_n - t_o), \text{ hvor}$$

$$\rho_n = F_n \frac{\lambda_n}{l_n} \text{ for punkter inne i materialet, resp.}$$

$$\rho_n = F_n \cdot \alpha \text{ ved overflatene.}$$

Betingelsen for termisk likevekt er da (fig. 10)

$$\rho_1 (t_1 - t_o) + \rho_2 (t_2 - t_o) + \rho_3 (t_3 - t_o) + \rho_4 (t_4 - t_o) = 0$$

eller

$$t_o = \frac{\rho_1 t_1 + \rho_2 t_2 + \rho_3 t_3 + \rho_4 t_4}{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4}$$

Vi utnytter nå den egenskapen at problemet er løst når samtlige punkter tilfredsstillir ovennevnte likevektsbetingelse samt randvilkårene (lufttemperaturene etc.)

Vi starter med de gitte randtemperaturer og ellers tilfeldig valgte temperaturer for de øvrige punkter i systemet. Videre beregnes samtlige aktuelle verdier for ρ_n som «mates» til maskinen på kort.

Beregningen utføres nå ved at maskinen systematisk går igjennom samtlige punkter og forbedrer temperaturantagelsene etter ovennevnte betingelse. Maskinen «husker» så disse forbedrede antagelsene til neste omgang, — og løper punktrekken igjennom gang på gang inntil feilen er blitt så liten vi ønsker.

Det kan utarbeides standardprogram for slike beregninger både for to-dimensjonale og tre-dimensjonale systemer, — og metoden kan brukes for så mange punkter vi ønsker. Konvergenen er ved slike systemer så god at det spiller mindre rolle hvilke utgangstemperaturer som settes inn for de punkter hvor temperaturen er ukjent. Forsåvidt kan en godt sette samme temperatur for alle uten at det forlenger maskintiden vesentlig.

Når temperaturfordelingen er funnet, er det relativt enkelt å beregne varmetapet. Siden varmetransporten gjennom ethvert snitt langs veggene er det samme for alle snitt, kan vi f. eks. regne ut varmetransporten mellom linjene 1—7 og 8—14, og ta det som representativt for veggens totale varmegjennomgang. La oss som eksempel ta varmetransporten mellom pkt. 10 og 3. Den blir:

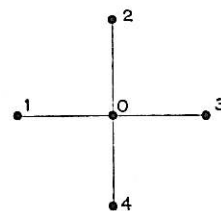


FIG. 10

Fig. 10. I et to-dimensjonalt system får hvert punkt (0) 4 nabopunkter. Mellom disse 5 punkter må det være temperaturlikevekt.

$$Q_{10-3} = F \cdot \frac{\lambda_2}{l} (t_{10} - t_3)$$

$$= h \cdot 0,10 \cdot \frac{0,14}{0,075} \cdot (t_{10} - t_3)$$

$$= 0,186 (t_{10} - t_3) \text{ for 1 m veggghøyde.}$$

Vi summerer nå opp varmetransporten mellom samtlige nabopunkter på de to linjene. I vårt tilfelle får vi på denne måten for veggfeltet fra A til B (20 cm betongsøyle + 1,8 m lettbetong) pr. m veggghøyde:

$$Q = 61 \text{ kcal/h.}$$

Veggens resulterende varmegjennomgangstall vil vi kalle k_r . Vi har da:

$$Q = k_r \cdot F (t_i - t_u) \text{ eller}$$

$$k_r = \frac{Q}{F (t_i - t_u)} = \frac{61}{2,0 \cdot 40} = 0,76$$

Beregnet på vanlig måte får vi:

$$k_r = \frac{k_1 F_1 + k_2 F_2}{F_1 + F_2} = \frac{2,6 \cdot 0,2 + 0,5 \cdot 1,8}{2,0}$$

$$= \frac{1,42}{2} = 0,71.$$

Altså et noe for gunstig resultat.

Vår beregning i dette tilfelle innebærer en tilnærmet løsning av ligningen:

$$\frac{\delta^2 T}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 T}{\delta y^2} = 0.$$

Leddet $\frac{c \gamma}{\lambda} \frac{\delta T}{\delta h}$ er bortfalt fordi vi har betraktet varmestrømmen som stasjonær i tiden, altså $\frac{\delta T}{\delta h} = 0$. Vi har altså sett bort fra evt. lagring eller tap av varmeinnhold i selve konstruksjonen. Hvis beregningen også skulle ta hensyn til variasjon i de gitte ytre temperaturbetingelser, måtte dette ledd være med, og det ville gjøre beregningen vesentlig mer komplisert.

Oppstilt i form av differense-ligninger ville vi i det tilfelle for hvert punkt (inne i materialet) fått ligningen:

$$\sum_1^4 \frac{\lambda_n}{l_n} (t_n - t_0) \Delta h = c \gamma (F_n \cdot l_n) (t_{0m} \div t_{0m-1})$$

hvor h = et valgt, kort tidsintervall hvor varmemstrømmen uten nevneverdige feil kunne betraktes som stasjonær.

t_{0m} = punktets temperatur i m-te beregningsomgang

t_{0m-1} = punktets temperatur ved nærmest foregående beregningsomgang (som maskinen «husker» og automatisk setter inn i beregningen).

Ved å gjennomføre en ny beregningsomgang for hvert nytt tidsintervall ville også dette tilfelle kunne forfølges beregningsmessig. I og for seg kan man vel utarbeide programmer for regnemaskinen også til slik bruk.

Et tre-dimensjonalt system kan i prinsippet beregnes på nøyaktig tilsvarende måte. Den eneste forskjellen blir at temperaturlikevekten for hvert punkt vil inneholde 6 ledd istedenfor 4, fordi hvert punkt i rum-systemet har 6 nabo-punkter, mens det i planet bare har 4. Betingelsen for temperaturlikevekt for hvert punkt blir altså her:

$$\Delta Q = \sum_1^6 F_n \cdot \frac{\lambda_n}{l_n} (t_n - t_0) \Delta h =$$

$$\gamma \cdot c (F_n \cdot l_n) (t_{0m} - t_{0m-1}) = 0$$

for stasjonær varmemstrøm.

Et eksempel på en slik beregning er vist i det følgende.

Laboratorieundersøkelser av kuldebroer.

Ved laboratoriet i Trondheim har to studenter, nå siv.ing. Ola E. Brekke og siv.ing. Arnold Ulvik våren og sommeren 1960 gjennomført målinger og beregninger av en to-dimensjonal kuldebro som særkursoppgave og av en tre-dimensjonal kuldebro som diplomoppgave.

To-dimensjonal kuldebro.

Fig. 11 viser den to-dimensjonale kuldebroen i snitt. Modellens høyde var 2,0 m. I et horisontalt plan 1 m over bunnen ble lagt inn ter-

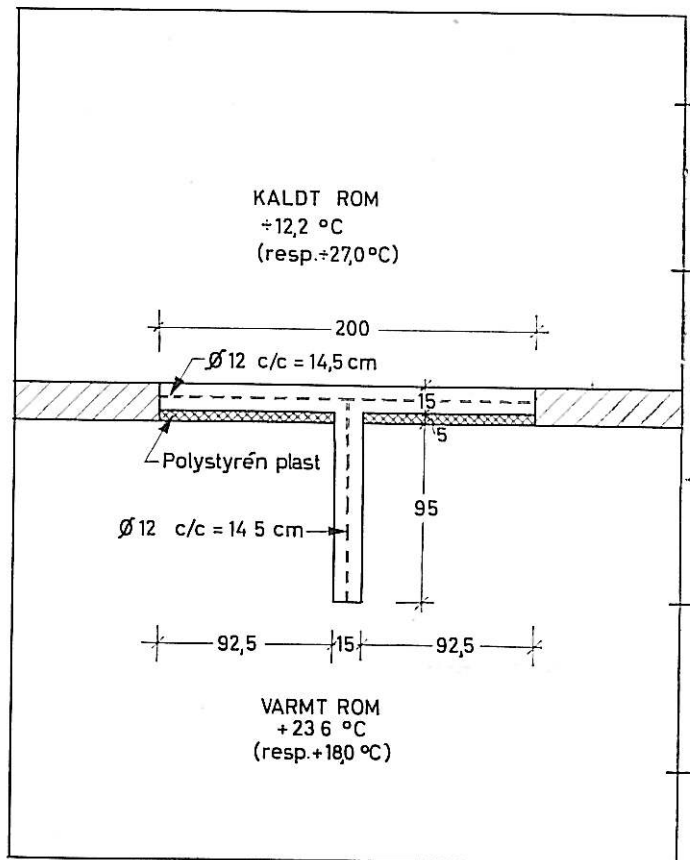


FIG. 11

Fig. 11. Snitt gjennom undersøkt to-dimensjonal kuldebro plasert i vegg mellom kaldt-rom og varmt-rom i laboratoriet.

moelementer, plasert som det fremgår av fig. 12. Termoelementene midt i vegg ble festet til armeringen. Modellen ble anbragt i åpningen mellom et kaldt rom og et varmt rom, hvor temperaturene kunne styres etter ønske. Det ble gjennomført målinger for et par kombinasjoner av temperaturer, og det ble parallelt utført en beregning av temperaturene i målepunktene etter relaksasjonsmetoden. I fig. 11 er vist resultatene av beregninger og målinger for en av temperaturkombinasjonene. Ved beregningene ble det forutsatt følgende varmeledningstall og overgangstall:

For armert betong: $\lambda = 1,4$ (stålet ble ikke betraktet for seg).

For polystyren-plast: $\lambda = 0,027$.

Utv. overgangstall: $\alpha_u = 20$ ($m_u = \frac{1}{\alpha_u} = 0,05$).

Innv. overgangstall: $\alpha_i = 6,7$ ($m_i = \frac{1}{\alpha_i} = 0,15$).

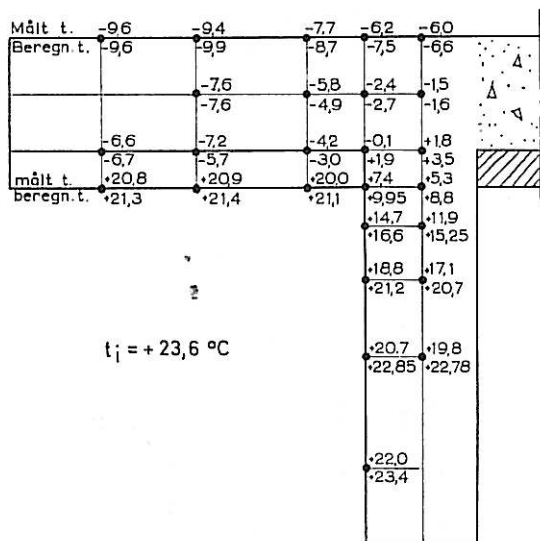


FIG. 12

Fig. 12. Temperaturfordeling i veggens bestemt ved temperatur $\div 12,2^\circ\text{C}$ i kaldt-rommet og $+23,6^\circ\text{C}$ i varmt-rommet. Øverste rekke er målte temperaturer. Nederste rekke er beregnede temperaturer.

Som det fremgår av fig. 11 var det noenlunde god overensstemmelse mellom de målte og de beregnede temperaturer. Differensen mellom målte og beregnede verdier var ingen steder større enn ca. 3°C . Differensen var størst ved den horisontale armeringen i skilleveggen, der hvor denne passerer igjennom isolasjonslagets plan. De målte temperaturer ligger der lavere enn de beregnede. Dette er helt forklarlig på grunn av stålets høye ledningsevne, og viser at armeringens bidrag til varmetransporten ikke bør neglisjeres. Det er mulig å ta hensyn til armeringens virkning ved å korrigere for stålets høyere varmeledningstall når en beregner overføringsfaktoren.

Veggens varmegjennomgangstall beregnet på vanlig måte uten hensyn til kuldebroen, gir $k = 0,46 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{Ch}}$. For samme veggfeltet med kuldebroen får en på grunnlag av målingene et gjennomsnittlig varmegjennomgangstall:

$$k = 0,76 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{Ch}}, \text{ dvs. en økning på } 65 \%.$$

Her må en være oppmerksom på at dette gjelder for en veggstripe på 2,0 m lengde. Da avstanden mellom kuldebroene kan variere, er det hensiktsmessig å angi virkningen som et ekstra varmetap q pr. l. m. kuldebro og $^\circ\text{C}$.

I dette tilfelle får vi:

$$q = \frac{4,0 \text{ m}^2 (0,76 \div 0,46) \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{Ch}}}{2 \text{ m}} = 0,60 \frac{\text{kcal}}{\text{m} \text{ } ^\circ\text{Ch}}$$

Denne størrelse kunne vi kanskje passende kalle «kuldebroens varmegjennomføringstall» (eller q -verdi).

Varmetapsberegningen for en vegg med slik kuldebro kan da settes opp på følgende måte:

$$Q = (k \cdot F + q \cdot L) (t_i \div t_u)$$

Hvor k = veggens varmegjennomgangstall, beregnet på vanlig måte

F = Det veggareal vi betrakter

q = kuldebroens «varmegjennomføringstall»

L = antall løp. m kuldebro innenfor det veggareal vi betrakter.

Kuldebroer av ovennevnte type forekommer kanskje særlig ved betongdekkers opplagring i ytterveggen. Om vi f. eks. har en brutto etasjehøyde = 3,0 m, vil vi begå en feil i varmetapsberegningen på ca. 40 % ved å neglisjere kuldebroene ved dekkene for den veggkonstruksjon vi her betrakter.

Tre-dimensjonal kuldebro.

Fig. 13 viser den undersøkte 3-dimensjonale kuldebroen, dannet ved korsformet sammenløp av uisolert dekke og skillevegg mot en innvendig isolert betongvegg. Modellen var anbragt i åpningen mellom kaldt- og varmtrummet, og var forsynt med ialt 192 termoelementer. Termoelementene ble lagt bare i en sektor, idet vi gikk ut fra at det på grunn av symmetrien ville bli tilsvarende temperaturfordeling i de andre sektorer.

Som isolasjon var også i dette tilfelle brukt 5 cm polystyren-plast, med et varmeledningstall $\lambda = 0,027$ målt i tørr tilstand.

Fig. 14, 15 og 16 viser den observerte (målte) temperaturfordeling ved en av de undersøkte kombinasjoner for følgende plan:

- Ytterveggenes overflate på utsiden (mot kaldtrummet).
- Ytterveggenes overflate på innsiden (mot varmtrummet).
- Dekkets overside.

For å lette oversikten er det på figurene også lagt inn isotermer. Som foto fig. 17 viser, var termoelementene nede i hjørnet mellom dekke og isolasjon (punktrekke 116—120) festet til kanten av isolasjonsmaterialet. Dette har åpen-

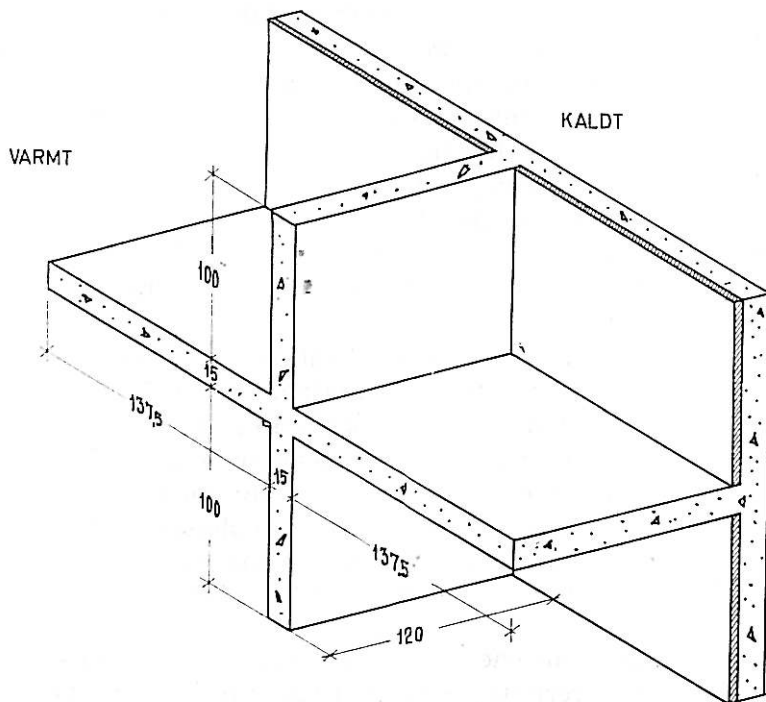


FIG. 13

Fig. 13. Den undersøkte tre-dimensjonale kuldebro.

bart ført til at det er observert 4—5° høyere temperaturer enn en ville fått dersom termoelementene hadde vært festet til betongen. Den sannsynlige virkelige fordeling av isothermene er antydnet stiptet på fig. 15. Vi ser at overflatemperaturene inn mot hjørnene innvendig både ved skillevegg og dekke synker 12—18° under lufttemperaturen, mest naturligvis inne i kroken. På den isolerte ytterveggflaten får vi en meget brå temperatursenkning kloss inn mot hjørnet, mens det på dekket (og tilsvarende for skilleveggen) blir et jevnere temperaturfall, som strekker seg mer enn 80 cm innover fra ytterveggen.

Temperaturfordelingen på den isolerte ytterveggflaten er her betinget av at vi har et høyisolerende materiale helt ut mot overflaten. Hadde vi istedet hatt f. eks. puss med kontakt direkte til skillevegg og dekke, ville vi sikkert fått en noe annen fordeling med mindre brå overgang.

Det er verdt å legge særskilt merke til hvor langt innover kuldebroens virkning strekker seg på dekke og skillevegg. Hadde vi hatt f. eks. en 30 cm stripeisolasjon på overflaten, ville det ført til at virkningene ville strekke seg enda

TEMPERATURFORDELINGEN PÅ YTTERVEGGENS UTSIDE.

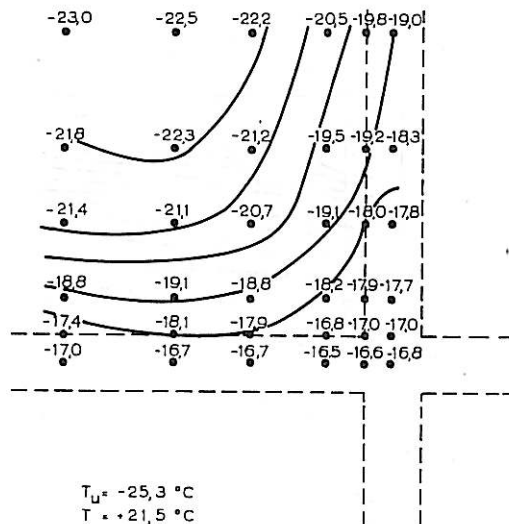


FIG. 14

Fig. 14. Den målte temperaturfordeling på ytterveggen kalde side (utside) ved temperatur i kaldt-rummet (på utsiden), $t_u = -25,3^\circ\text{C}$ og innetemperatur $t_i = +21,5^\circ\text{C}$.

lenger innover, — mer jo kraftigere isolasjonen var.

Det ble også i dette tilfelle gjennomført en beregning av kuldebroens virkning. Beregnin-

TEMPERATURFORDELINGEN PÅ YTTERVEGGENS INNSIDE. (ISOLASJONENS INNSIDE)

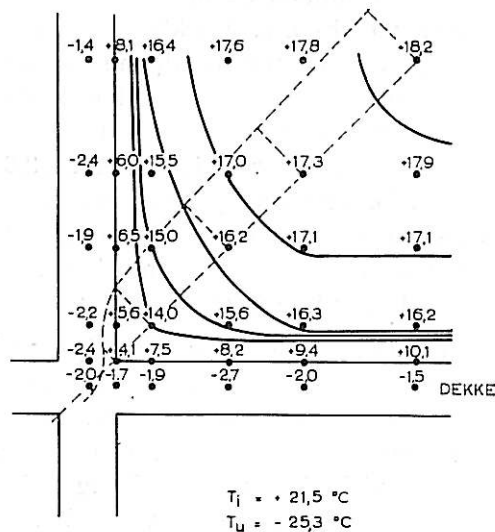


FIG. 15

Fig. 15. Den målte temperaturfordeling på isolasjonslagets innvendige overflate.

TEMPERATURFORDDELING VED OVERKANT DEKKE. HORIZONTALSNITT.

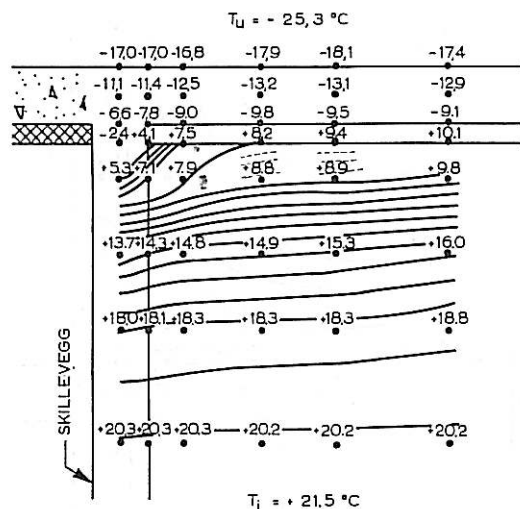


FIG. 16

Fig. 16. Den målte temperaturfordeling ved overkanten av dekket. Termoelementene ved overgangene mellom dekket og ytterveggs isolasjonslag var limt til isolasjonslaget.

gen ble gjennomført for et litt mer groymasket nett enn tilsvarende de innlagte termoelementer (men ellers slik at nettet for måling og beregning hadde stort sett felles knutepunkter). Beregningsnettet omfattet ialt 90 punkter og ligningene ble skrevet i matrisform for beregning med elektronisk regnemaskin. Beregningen tilsvarer løsningen av et lineært lignings-system med 90 ukjente. Maskintiden ble opplyst å være 32 minutter for denne beregning.

Tallverdiene av differensen mellom målte og beregnede temperaturer varierte fra 0 til ca. 6,5° C, med en gjennomsnittlig feil på ca. 2,8° C, altså en forholdsvis dårlig overensstemmelse. Ved en nærmere analyse av resultatene ser det ut til at den vesentligste grunn til uoverensstemmelsen ligger i følgende forhold:

1. Varmeledningstallet for polystyren-plast ble på grunnlag av separate målinger av dette i tørr tilstand satt til 0,027. På grunn av absorbert fuktighet ved dampdiffusjon har det virkelige varmeledningstall ved målingene sannsynligvis vært betydelig høyere, antagelig ca. 0,035.
2. På grunn av at betongen var temmelig fersk, og at det ikke ble tatt spesielt hensyn til armeringen, var sannsynligvis også

det antatte varmeledningstall for betongen $\lambda = 1,4$ noe misvisende.

3. Overgangsmotstandene m_u og m_i , som ved beregningene ble satt til henholdsvis 0,15 og 0,13, inneholder egentlig betydelige variasjoner. Selv om de nevnte tallverdier kan være noenlunde riktige på fri, vertikale flater, må en vente seg vesentlig andre (større) tallverdier inn mot hjørnene, kfr. neste avsnitt.
4. Feil som er kommet inn på grunn av termoelementenes plassering, — særlig ved kantene av isolasjonen. Det viser seg at temperaturobservasjonene på slike steder er særdeles lett påvirkelig av små forskjelligheter i termoelementenes plassering. Dette er derfor et punkt en må være særlig omhyggelig med ved slike målinger.

Spørsmålene om varmeovergangen ved materialoverflater er relativt godt utredet, ihvertfall teoretisk. Det er derfor i en beregning mulig å ta et visst hensyn til variasjonene, selv om det ikke er mulig å gjøre det fullt korrekt, da vi delvis mangler data for de parametre som inngår i beregningen.

Jeg skal her bare gi en antydning av problemene:

Varmeovergangen ved tørre materialoverflater skjer ved stråling, ledning og konveksjon, og uttrykkes som kjent på følgende måte:

$$Q = \alpha \cdot F (t_0 \div t_1),$$

hvor overgangstallet α innbefatter bidragene fra stråling α_s og fra ledning og konveksjon α_{lk} .

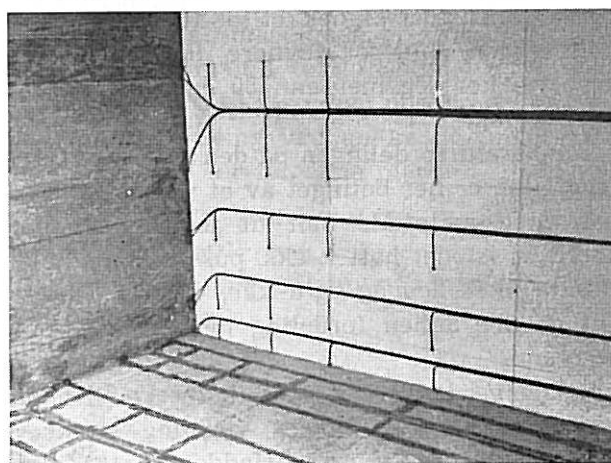


Fig. 17. Fotografi av kuldebroen med påmonterte termoelementer sett fra varm-rummet (innsiden).

Varmeoverføringen ved stråling kan uttrykkes slik:

$$Q_s = \Sigma F C_g \cdot \cos \varphi \left[\left(\frac{T_0}{100} \right)^4 \div \left(\frac{T}{100} \right)^4 \right] = \Sigma F \cdot \beta \cdot C_g \cdot \cos \varphi (t_0 \div t)$$

- C_g = flatenes gjensidige strålingstall
- β = en omregningsfaktor for å slippe 4. potens.
- φ = rumvinkelen regnet fra normalen på flaten
- t_0 = overflatetemperaturen på det flateelement vi betrakter.
- t = «motstrålingstemperaturen» = temperaturen på et flateelement beliggende i vinkel φ , som vår overflate står i strålingskontakt med.

Dersom de omgivende flater alle har temperatur t lik lufttemperaturen t_l , går dette over i vår vanlige formel,

$$Q_s = F \cdot \alpha_s (t_0 - t_l),$$

hvor strålings-overgangsmotstanden $\alpha_s = \beta \cdot C_g = \text{ca. } 4,0$ for vanlige byggematerialer. (og $F_1 \gg F_2$)

Dersom flaten står i strålingskontakt med flater som har lavere eller høyere temperatur enn luften, vil derimot strålings-overgangstallet gi et feilaktig bilde av forholdene.

Betrakter vi forholdene i nærheten av et hjørne mot en kald veggflate, fig. 18, vil vi for en stor del av rumvinkelen få en lavere motstrålingstemperatur enn lufttemperaturen, og dette har til følge at strålings-overgangstallet blir lavere. Strålingsovergangstallet kan for såvidt endog bli negativt, om den motstående flate er særlig kald. Har den motstående veggflate samme temperatur som den flate vi betrakter,

vil strålings-overgangstallet ihvertfall synke til ca. 2,0 helt inne ved hjørnet mellom to flater.

Varmeovergangstallet for ledning og konveksjon (som ikke kan adskilles) uttrykkes ofte ved følgende formel:

$$\alpha_{lk} = A v^n$$

hvor

v = lufthastigheten

A og n er konstanter ($n < 1,0$).

Dersom luftbevegelsen er kommet istand bare på grunn av et temperaturfall fra overflate til luft brukes ofte følgende formel:

$$\alpha_{lk} = B \cdot \Delta t^m$$

B og m er konstanter ($m = \text{ca. } 0,25$).

For vanlige innendørs forhold er $\alpha_{lk} = 2$ à 3 .

Det fremgår av disse formler at varmeovergangstallet avhenger av temperaturdifferensen, og blir mindre jo mindre temperaturspranget er fra overflate til luft. For det andre avhenger overgangstallet i høy grad av evtl. påtvungne luftbevegelser f. eks. p.g.a. vind. Ved vanlige utendørs forhold hos oss er $\alpha_{lk} = 15$ à 20 .

Parametrene i de gjengitte formler er vanligvis blitt bestemt for plane veggflater og relativt store lufthastigheter. I hjørner ved sammenløp av 3 flater vil luftbevegelsen bli hindret, og overgangstallet blir derfor mindre enn for plane flater. Ved varmeovergang ovenfra og nedover vil α_{lk} også være mindre enn ved varmetransport oppover eller mot vertikale flater, fordi konveksjonen i slike tilfelle blir mindre.

Alt dette bidrar til at det sikkert vil være riktig å regne med lavere varmeovergangstall (større overgangsmotstand) inn mot hjørnene, særlig i hjørner mot tilstøtende kjøle flater.

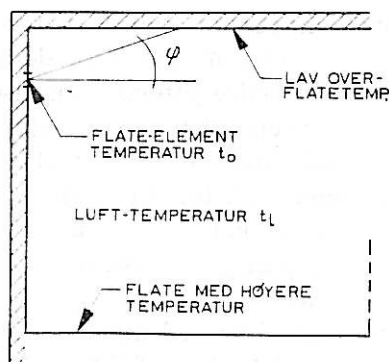


FIG. 18

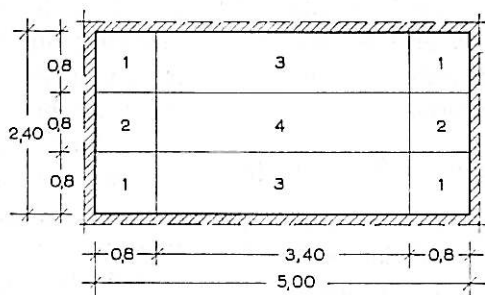


FIG. 19

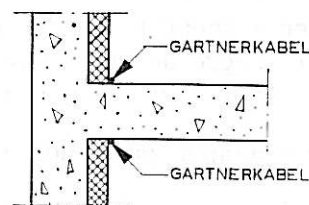


FIG. 20

Fig. 18. Strålingskontakt mellom et punkt på veggoverflaten og rummets øvrige overflater.

Fig. 19. Tenkt rum med ytterveggflate omgitt av kuldebro dannet av dekke eller skillevegg.

Fig. 20. Anbringelse av gartnerkabel i hjørnet ved kuldebroen.

Det eksempel vi har gjennomgått viser at en teoretisk beregning av en komplisert kuldebro kan by på problemer ved antagelsen om de parametre som inngår i beregningen, selv om beregningsmetoden i og for seg er tilfredsstillende.

Om en ikke stiller altfor store nøyaktighetskrav, kan en imidlertid få verdifulle opplysninger, ofte tilstrekkelige for å trekke viktige konklusjoner, ved en beregning av denne type. Ved hjelp av en elektronisk regnemaskin er arbeidet og omkostningene med beregning av en kuldebro ikke avskrekkende, selv om kuldebroen er tre-dimensjonal og forholdsvis komplisert.

Kuldebroens betydning for veggens bruksegenskaper.

En kuldebro av ovennevnte type vil som nevnt gi meget lave overflatetemperaturer inne i hjørnet. Ved den målingen som er gjengitt var laveste temperatur på innvendig veggflate = + 4,1° C ved lufttemperatur + 21,5° C. Dette svarer til at vi får kondensasjon i hjørnekroken allerede ved ca. 20 % relativ fuktighet. Den normale relative fuktighet i boligrum er hos oss ofte 40—60 % om vinteren. En kuldebro av tilsvarende type som den målte, vil derfor sikkert gi store hygieniske ulemper, — noe det også finnes nok av smertelig erfaring for. For å få et begrep om kuldebroens betydning for varmeøkonomien er i tabell 2 beregnet varmetapet gjennom ytterveggen i et rum som vist på fig. 19 (fri høyde = 2,4 m og fri bredde mellom skilleveggene = 5,0 m) for 4 forskjellige situasjoner.

Det fremgår av tabellen at kuldebroens virkning på det totale varmetap er prosentvis meget stor, slik at det må få stor betydning for den økonomiske vurdering av en slik veggtype. For begge de undersøkte tilfelle — vegg med og uten vindu — gir kuldebroene et tillegg i varmetapet på rundt regnet $275 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$. Om

kuldebroens virkning var blitt beregnet på grunnlag av de tall vi foran har vist (s. 79) for den tilsvarende 2-dimensjonale kuldebro,

$$q = 0,60 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^{\circ}\text{Ch}}, \text{ ville vi fått et tillegg på:}$$

$$Q = 0,60 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^{\circ}\text{Ch}} \cdot (5,0 + 2,4) \text{ m} \cdot 46,8^{\circ}\text{C} = 210 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Situasjon	Varmetap	Tillegg i varmetap p.g.a. kuldebro
	kcal h	
1. Yttervegg uten kuldebro, dvs. gjennomgående isolasjon ($\lambda = 0,035$, $m_i + m_u = 0,28$) Vegg uten vinduer.	337	0 %
2. Samme yttervegg med kuldebro på alle 4 sider. Vegg uten vinduer.	621	(284) 85 %
3. Yttervegg uten kuldebro, men med doble vinduer ($k=2,5$) svarende til 30 % av ytterveggarealet.	640	0 %
4. Yttervegg med vinduer som ovenfor, og med kuldebro på alle 4 sider.	913	(273) 43 %

Ekstratillegget p.g.a. den tre-dimensjonale virkning (hjørnetillegget) er altså i dette tilfelle ca. $65 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$, eller ca. 30 %.

Metoder til å avbøte kuldebroers virkning.

Det blir ikke her anledning til — og jeg har heller ikke materiale til — å gi noen uttømmende behandling av ovennevnte spørsmål. Jeg skal derfor bare gjøre et par bemerkninger om saken.

For kuldebroer i innvendig isolerte betonghus kan det generelt sies at deres skadelige virkning blir større jo bedre ytterveggen isolasjon er. Ved bruk av relativt tynne isolasjonsskikt av høyisolerende materialer som skumplast, kork eller mineralull, blir virkningen så stor at det er nærmest katastrofalt å tillate monolittisk sammenstøpning av dekke og skillevegg med ytterveggen.

Kuldebroens virkning blir avdempet om isolasjonslaget består av et tykkere skikt med relativt dårligere isolasjonsegenskaper, som f. eks. lettbetong. Om det her brukes isolasjonstykkelse på 15 à 20 cm, som vi minst bør ha for å ligge i nærheten av det økonomiske optimum

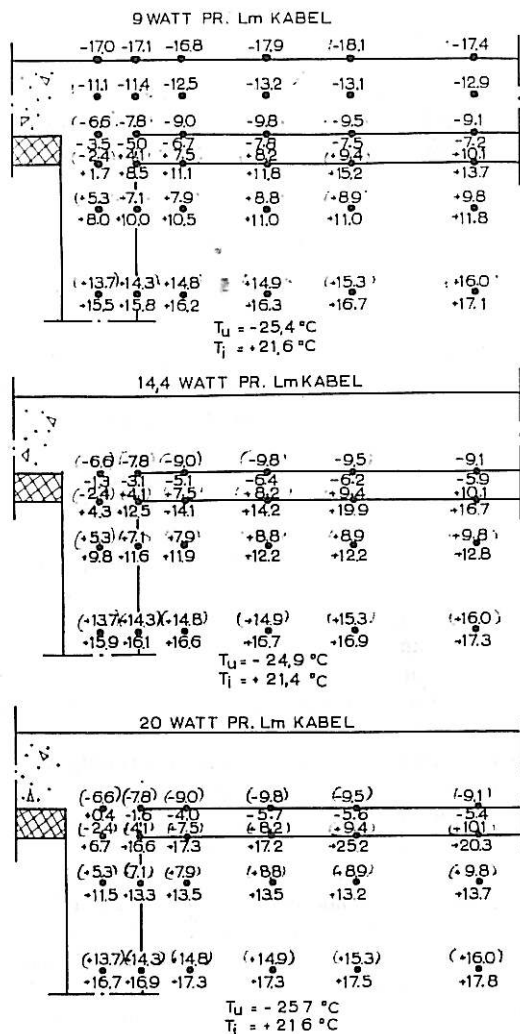


FIG. 21

Fig. 21. Observert temperaturfordeling ved overkant av dekket med og uten oppvarming ved hjelp av gartnerkabel. Øverste rekke (i parentes) viser temperaturerne uten varme fra gartnerkabelen. Nederste rekke viser temperaturene ved likevekt etter at det er satt strøm på gartnerkabelen, øverst 9 watt pr. l. m. kabel, i midten 14,4 watt pr. l. m., og nederst 20 watt pr. l. m.

for slike materialer i vanlige bolighus o. l., blir kuldebroens virkning såvidt avsvirket at det bare oppstår moderate ulemper på grunn av kuldebroen. I slike tilfelle har det neppe noen hensikt å bruke f. eks. stripeisolasjon av dekkene. Om stripeisolasjon kan det ellers ikke sies så mye godt. Skal den brukes, bør en i hvert fall ikke gjøre den for kraftig — det fører bare til at kald-sonen trekkes lengre inn. Betongen leder varmen så godt at noen centimeter fra eller til i den veien varmestrømmen må gå, monner lite som bremse. Noen vesentlig forbedring av varmeøkonomien oppnår vi derfor

ikke i noe tilfelle. Ved å bruke en svak kantisolering kan vi imidlertid oppnå å «mate varmen jevnere inn i dekket eller veggen» slik at overflatetemperaturene blir noe gunstigere fordelt.

Jeg skal til slutt nevne en metode til å avbøte kuldebroens virkning på som ble foreslått ved laboratoriet i Trondheim (av Tveit og Isaksen) og som ble nærmere undersøkt i før nevnte diplom-arbeide av Brekke og Ulvik.

På modellen vist i fig. 13 ble lagt inn varmekabler (vanlig gartnerkabel) i hjørnene mot yttervegg. Kabelen ble lagt i hjørnet på over- og undersiden av dekket og på begge sider av skilleveggen som vist på fig. 20. Kabelen ble presset mot betongen ved hjelp av stive feste-klemmer i ca. 20 cm avstand. Det ble utført temperaturmålinger med forskjellige effektforbruk i kabel målt i watt pr. l m kabel. Fig. 21 viser temperaturfordelingen i et snitt langs dekkets overkant for effektforbruk 9 watt/m, 14,4 W/m og 20 W/m. Til sammenligning er ført opp temperaturfordelingen ved samme ytre betingelser før effekten ble satt på varmekabelen.

Det fremgår tydelig av figuren at det på denne måten er mulig å høyne temperaturene mot hjørnene vesentlig med et relativt beskjedent strømforbruk. Selv om en på denne måte naturligvis ikke vil avbøte kuldebroens innflytelse på det totale varmetap, men tvert imot øke dette endel, vil en med enkle midler kunne forhindre fuktighets- og støvkondens hvor kuldebroen av en eller annen grunn ikke er til å unngå. Det mest effektive er å legge kablene synlig i hjørnene uten overdekning eller innkledning. Installasjonen blir da rimelig.

Ved de målinger som her er nevnt viste det seg at rundt regnet halvdel av effektforbruket på varmekabelen kom rumoppvarmingen til gode. Ved en økonomisk vurdering må en ta hensyn til dette.

LITTERATURLISTE

Schjødt, Rolf: Om relaksasjonsmetoden og en anvendelse av denne for beregning av kuldebroer. Teknisk Ukeblad nr. 22/1958. NBI særtrykk nr. 27.
Nevander, Lars Erik: Koldbrygger i veggkonstruksjoner. Byggmästaren nr. 40/1961.
Palm, Y. og Öberg, S.: Beräkning av två-dimensionell stationär värmeström med hjelp av elektronisk datamaskin. Byggmästaren nr. 40/1961.
Adamson, B. og Höglund, I.: Utforming av hörn vid sandwichelement. Byggmästaren nr. 2/1961.
Egeskjold, M.: «Kuldebroer». (Dansk Ingeniørforenings byggrasjonaliseringsutvalg. Publikasjon nr. 8.)

Diskusjon om sprekktyper i mur- og betongbygg

Innledere i denne diskusjon var direktør Øivind *Birkeland*, overingeniør Sverre *Fjeldstad*, sivilingeniør Sven D. *Svendson* og sivilingeniør Johannes *Moe*. Vi gjengir innledernes innlegg og et sterkt forkortet sammendrag av den etterfølgende diskusjon.

Birkeland:

Det er dessverre et sorgelig faktum at de nyere hus som vi bygger, er svært fulle av sprekker. Å forsøke å finne frem til hvorledes man skal unngå dette, tror jeg er en oppgave av primær betydning. Dessverre kan vi ikke her legge frem noen som helst oppskrift på hvorledes sprekker skal unngås. Vi må nøye oss med foreløbig å reise problemet, og der håper vi å få hjelp av deltagerne. Vi kan kanskje også diskutere botemidlene, men det er ennå svært mange forhold som må utredes før mer bestemte anvisninger kan gis.

La oss først se på hvilke sprekker vi skal tale om. Det er klart at vi her ikke går inn på f. eks. pusssprekker som skyldes pussens egenskaper, men bare sprekker som kan føres tilbake til selve konstruksjonen. Vi vil heller ikke i særlig grad gå inn på sprekker som skyldes et materiales iboende egenskaper, men mer på sprekker som skyldes samvirke mellom forskjellige materialer.

Som grunnlag for denne diskusjonen har vi alle sammen fått delt ut den etterfølgende oversikten over forskjellige sprekktyper. Denne oversikten gjør ikke på noen måte krav på å være komplett, og den systematikken som er brukt, kan i aller høyeste grad diskuteres. Den er bare satt opp for at vi skal ha et greit grunnlag for diskusjonen.

Oversikten omfatter bare sprekker som kan føres tilbake til selve konstruksjonen, og ikke sprekker som f. eks. er oppstått p. gr. a. pussens egenskaper.

1.0 Sprekker i murte vegger p. gr. a. betongens svinn, temperaturbevegelser og deformasjoner.

1.1 Horisontale sprekker ved øverste betongbjelke-lag. Sprekkene strekker seg tildels rundt hjørnet. Sprekkene synes å forekomme i størst utstrekning der hvor dekkets spennretning er i husets lengderetning, mindre der hvor plattens spennretning er tvers på huset.

Ved kryssarmerte plater synes det som man kan få den vipping opp av hjørnet som man skal ha, og den dermed følgende sprekkdannelse.

1.2 Horisontale sprekker, særlig i øverste etasje i lange hus hvor dekkets hovedarmering er i husets lengderetning. Synes å skyldes at øverste dekke trekker seg sammen og river med seg de små partier mellom vinduene.

1.3 Svinn + deformasjon av betongplater som fører til at lettvegger sprekker.

1.4 Bærende yttervegger ligger utenpå isolasjonen og beveger seg med temperaturendringer, mens innvendig bærende vegger står i ro. Fører til sprekker i lettvegger o. l. og skal også ha ført til sprekker i betongen. Særlig generende ved høye hus, men også lavere hus med mørke fasader har vært utsatt. Bevegelser av uisolerte tak når solen skinner (særlig under byggeperioden).

Fjeldstad:

Sprekker i murhus er i dag et meget utbredt og alvorlig fenomen, og skader av denne art ser ut til å ha øket sterkt i etterkrigsårene. Jeg vil først omtale noen sprekker som kan henføres til setninger i grunnen. Disse er som regel lette å finne årsaken til. Foruten rene setninger kommer også telehivninger inn i bildet, og man har flere eksempler på at utildekkede fundamenter har forårsaket betydelige skader på bygninger. Et sjeldnere tilfelle har man fra en yrkesskole, hvor hele belastningen fra tak ble overført til grunnen gjennom søylefundamentene. Mellom søylene var det armerte brystninger, og disse ble i 1. etasje utsatt for vertikalt oppadrettet jordtrykk mellom søylene med det resultat at brystningene sprakk enten i form av en vertikal sprekk med maksimum i overkant, eller i form av typiske skjærsprekker. Årsaken er her at fundamentene under selve søylen har sviktet noe med det resultat at de armerte brystningene har overtatt hele belastningen og gitt etter.

Den alt overveiende del av sprekker i murhus skyldes imidlertid en uheldig kombinasjon av materialer, hvor bevegelser i treverk eller betong forårsaker skader på veggene enten disse er utført av lettbetong eller tegl.

Vi skal begynne med å se på endel eksempler på hvorledes takstoler av tre har sprenget ut veggene der hvor takstolene ikke har tilstrekkelig horisontalforankring. Dette ser man i praksis ikke bare i småhus, men dessverre også i større bygg hvor man burde ha visst bedre og sørget for en forsvarlig opptagelse av horisontalkreftene.

Svært vanlig er også svelling av parkettgulv og vanlige tregulv med det resultat at ytterveggene får slik belastning at det kan oppstå riss eller sprekker. Dette forekommer spesielt i bygg hvor parketten er lagt i den tørre årstid, f. eks. i april — mai. Det hele ligger da pent og rolig inntil sommeren kommer med stigende luftfuktighet, og i slutten av juli og i begynnelsen av august får man som regel se skadene, idet gulvets ekspansjon da har nådd sitt maksimum. Vi har sågar eksempler på at parketten har ligget pent i over ett år, men så plutselig ekspandert ved en eksepsjonell høy luftfuktighet.

De største problemene får man imidlertid hvor dekkene er støpt av armert betong. Selv om man før krigen også har eksempler på sprekker i murvegger forårsaket av bevegelser i betongdekkene, er dette et typisk etterkrigsfenomen som faktisk stadig ser ut til å øke. Skadene kommer fortrinnsvis som horisontale sprekker tvers over gavlene, enten ved øverste dekke eller i overkant av øverste vindusrekke hvis det er vinduer i gavlen. Årsaken til disse sprekkene er svinn og plastisk deformasjon i betongplaten, samt temperaturspenninger. Svinnet fører delvis til en sammentrekning av hele betongplaten som sådan, og forårsaker en horisontal forskyvning av gavlspissen i forhold til nedenforliggende murvegg.

Ennvidere forårsaker svinnet en nedbøyning av pla-

ten som særlig gjør seg synlig i endefeltet ved at hovedarmeringen ligger i platen underkant og holder tilbake svinnet, med det resultat at platen krummer seg. Plastisk deformasjon under påvirkning av egenvekt etc., går i samme retning, og resultatet er en langsom nedbøyning av dekket som ser ut til å pågå i 3 — 4 år før forholdet stabiliserer seg. Dekket ligger opplagret på muren med en opplagshøyde på 10 — 15 cm, men i virkeligheten er belastningene her så små at dekket kun hviler på muren på de innerste cm såsnart nedbøyningene setter i gang. Dette gir igjen en skjev belastning på veggen og dermed et moment som kan være en medvirkende årsak til at sprekke kommer i den nærmeste underliggende svakhetssone i overkant av vindu i stedet for å komme direkte ved selve platen. Forøvrig vil opplegget nær innersiden av veggen føre til at platen løfter seg fra veggen i ytterkant og dermed ta med seg den lette gavlsplissen. Det samme fenomen gjør seg gjeldende i dekkene i underliggende etasje, men her vil vekten av overliggende vegg som oftest hindre riss. Det ser ut som om bevegelsene blir større jo tynnere dekkene er, uansett spennvidden.

Skadene er meget utbredt, og de forekommer på all slags veggmateriale. Verst ser det ut til å være på gavler av vanlig betong med innvendig isolasjon, dels fordi man her i tillegg til bevegelsene i dekkene også får inn svinnekraftene i betongen i selve gavlen, og fordi en vanlig betongvegg lettere får gjennomslag enn en vegg av tegl eller lettbetong. Dette må sees i forbindelse med betongens mindre absorpsjonsevne. Ved kryssarmerte plater kommer sprekke fortrinnsvis i hjørnene, og skyldes forøvrig de samme forhold. Av og til kan man også se lignende sprekker langs dekkene lenger nedover i etasjene. Dette er dog mer sjelden, da vekten av den overliggende vegg som regel er tilstrekkelig til å holde murverket på plass. Dette gjelder da skader på yttervegger. Når det imidlertid dreier seg om sprekker og riss i innervegger, får man selvsagt disse i samtlige etasjer når bevegelsene i dekkene setter i gang.

I tillegg til disse svinnfenomener og plastiske deformasjoner har man temperaturbevegelsene. I dekkene merker man disse kun i øverste dekke mot kaldt loft. Selv om man her har en god isolasjon, vil man allikevel om vinteren få et betydelig temperaturfall i dekket, og dette fører til nedbøyninger som går i samme retning som de som er forårsaket av svinn og plastiske deformasjoner. Dertil har man temperaturbevegelsene i selve ytterveggene. Disse kan være meget generende om veggen er innvendig isolert, idet betongen, den bærende del, da følger årstidenes temperatur. Vi har her i Oslo en rekke eksempler på skader oppstått p. gr. a. bevegelser i yttervegger, og særlig når disse er mørke og derved sterkt solabsorberende. De skader som disse bevegelser påfører bygningen, akselererer med høyden fra terreng og er alltid størst i de øverste etasjer.

Vi har også eksempler på bygninger hvor betongen delvis er utvendig isolert og delvis beskyttet med innvendig isolasjon. Ved høyhus fører dette til meget sterke spenninger i veggene og bevegelser i dekkene. Det kjedelige med sprekker forårsaket ved slike temperaturspenninger, er at de ikke stabiliserer seg, men stadig kommer tilbake år etter år.

De skader vi her har berørt, kan vanskelig føres tilbake til én årsak. Som tidligere nevnt dreier det seg her både om svinn, plastisk deformasjon og temperaturbevegelser. Feilene kan derfor tilbakeføres såvel til konstruksjonen som til utførelsen av arbeidet, samt ikke minst til de materialer som er anvendt i betongen.

Vi har dessverre mange dårlige sandtak her i landet, og uhyre mange eksempler på at det brukes mindreverdige sand både til betong og puss.

En annen årsak kan kanskje finnes i tidsånden med altfor meget forsering innen byggevirksomheten. Det er jo en sterk tendens i dag til å fjerne forskalingen så tidlig som mulig, og kanskje på et stadium hvor betongen ikke på langt nær har fått tilstrekkelig bæreevne. Den stadig større overgang til finérforskaling og stålforskaling gjør vel heller ikke saken bedre, idet man her jo er fristet til å bruke mer plastisk betong for å få pussfrie flater direkte.

Når det gjelder selve konstruksjonen, har man videre merket en tendens til tynnere dekker, hvilket i depne forbindelse beviselig fører til meget større deformasjoner selv om spennviddene er kortere. Jeg har et eksempel fra bygg hvor toppdekket er utført med 6 cm betong med 2 m spennvidde, hvor betongplaten er båret opp av tverrgående betongdragere. Bevegelsene var usedvanlig store, og man opplevet sågar at hele endefeltet løftet seg på grunn av kontinuiteten.

Det er tydelig at man nå må ta beregningsreglene for dekker i vanlig husbygging opp til revisjon, og ta mere hensyn til plastiske deformasjoner og svinn enn tidligere.

En måte å løse problemet på er muligens å løse opp systemet i statisk enkle konstruksjoner med fritt opplagte plater, eventuelt med prefabrikerte elementer og prefabrikerte plater. Vi har eksempler på at dette fører til et meget godt resultat. Jeg vil avslutte med et eksempel på et relativt stort hus i 3 etasjer og i 40 m lengde hvor samtlige etasjeskillere og vegger er utført av prefabrikert lettbetong uten noen kontinuitet i dekkene. Her har man da også unngått alle tegn på de vanlige riss som tidligere omtalt.

Svendsen:

Jeg har i grunnen ikke så mange momenter å føye til det som allerede er sagt, men jeg kunne ha lyst til å utdype bildet litt med noen eksempler på sprekker, tatt fra egne erfaringer. Det er da greiest å holde seg til det skjema som Birkeland allerede har satt opp.

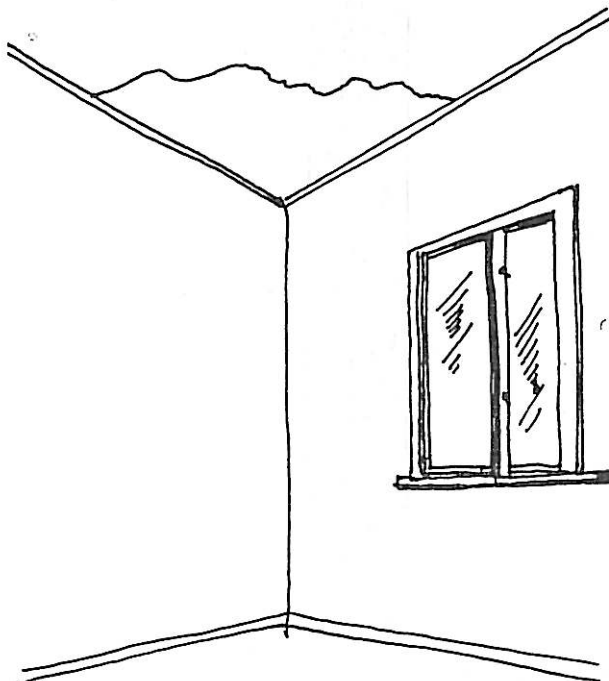


Fig. 1. Diagonal sprekk nær gavlhjørnet som tydelig henger sammen med sprekkdannelsen i ytterveggen.

- 1.1 Etter min erfaring er hjørnesprekker ved lofts-
bjelkelaget dessverre temmelig vanlige. Det fore-
kommer imidlertid også, særlig med lavere og
lettere bygninger, at det danner seg tilsvarende
sprekker ved andre bjelkelag. I enkelte slike til-
felle kan man på himlingen inne i huset finne en
diagonal sprekk nær gavlhjørnet som tydelig henger
sammen med sprekkdannelsen i ytterveggen
(fig. 1). Det er vel sannsynlig at det her dreier seg
om dekker som er armert som enveisplater, men
som i praksis får opplegg også på langveggene,
slik at de virker som toveisplater.
- 1.2 Den typiske gavlsprekken som både Birkeland og
Fjeldstad har snakket om, ser ut til å være en av
de vanligste og mest plagsomme sprekktyper vi
har. Den forekommer også i andre land, og jeg har
bl. a. sett svært mange eksempler på slike sprekker
i Göteborg-området. Denne sprekktypen kan
man også finne ved lavere bjelkelag, f. eks. mellom
1. og 2. etasje i toetasjes lettbetonghus. En slik
sprekk har jeg sett på en rekke hus i et større
boligområde i nærheten av Oslo.
En spesiell form for denne bjelkelagssprekken kan
man se forholdsvis ofte under første etasjes bjelke-
lag der hvor det er brukt grunnmurspapp. Her er
det jo på forhånd laget en sprekkkanvisning tvers
gjennom hele veggen, og selv små bevegelser vil
kunne få pussen utenfor til å sprekke kraftig opp.
Sprekker av denne typen finnes både på gavler og
lange fasader, såvel i småhus som i store fem-
etasjes blokker.
- 1.3 Svinn og andre deformasjoner i betong kan føre til
skader i mange forskjellige former. Dette gjelder
ikke bare bevegelser i dekkene — deformasjoner i
betongveggene kan ofte være like farlige. Jeg kan
nevne et nokså typisk eksempel fra en skole i Trøn-
delag. Her var sokkeletasjen i betong, innvendig
isolert med gassbetong. Gassbetongen var delvis
satt i forskaling, men på enkelte vegger var den
av en eller annen grunn murt opp etterat veggen

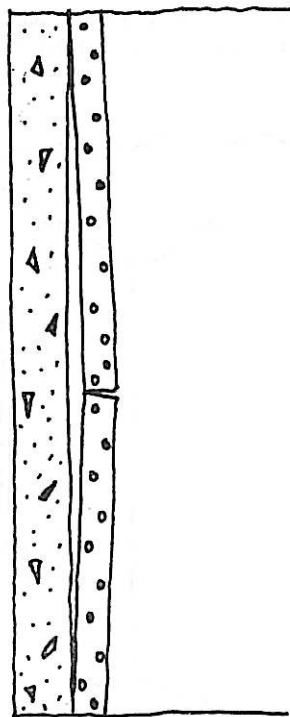


Fig. 2. Trykkbrudd av gassbetongisolasjon hvor yttervegg har trukket seg sammen og lasten er overført til indre vange.

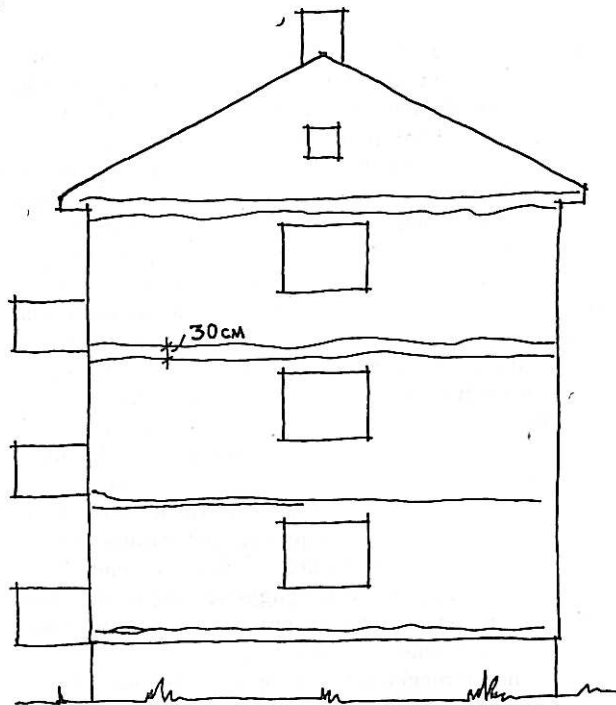


Fig. 3. Sprekker i stopeskjøten ved temperaturforskjell mellom ytter- og innervegger.

var støpt og uten direkte forbindelse med denne. Etter en tid oppsto det kraftige horisontale sprekker omtrent midtveis opp på den murte gassbetongen. En nærmere kontroll viste at gassbetongvengen regulært var knekket, slik det er antydnet på fig. 2. Svinn og andre deformasjoner hadde rett og slett forkortet betongveggen, og dermed var lasten overført på gassbetongen. Tilsvarende sprekker fantes ikke der hvor gassbetongen var støpt fast til veggen, og årsaken til dette må være at man her hadde små åpninger i fugene som kunne ta opp disse bevegelser.

Efter min mening ser det ut til at disse bevegelserne i betong etterhvert er blitt større, eller i hvert fall farligere, enn de var tidligere. Dette har ført til en øket skadefrekvens, ikke bare når det gjelder sprekker i lettbetongvegger o. l., men også i forbindelse med andre bygningsdeler.

- 1.4 Systemet med tversgående bærende vegger kan føre til ubehagelige overraskelser hvis man ikke tar tilstrekkelig hensyn til temperaturbevegelserne. Jeg har sett et nokså drastisk eksempel på dette i Trondheim i forbindelse med en rekke store boligblokker. Her var de ikke-bærende ytterveggene støpt i betong med forholdsvis lett armering, og det var brukt en meget god innvendig isolasjon. Dekker og yttervegger var ikke støpt sammen, men forankret til hverandre med kraftige armeringsjern. De bærende innervegger holdt året rundt en jevn temperatur på ca. $+ 20^{\circ} \text{C}$, mens det utvendige betongskallet varierte fra laveste vintertemperatur til godt over høyeste sommertemperatur (p. gr. a. solstråling).

Resultatet var at disse veggene sprakk i samtlige stopeskjøter, som i dette tilfelle lå såvel i underkant som i overkant av dekkene. Sprekkene forplantet seg til og med til de bærende gavlene slik det er vist på fig. 3. En nærmere undersøkelse bragte for dagen at de aller fleste stopeskjøter nok hadde vært temmelig skropelige fra begynnelsen av, og på den måten hadde virket som en slags sprekk-anvisning.

2.0 Til slutt har jeg lyst til å nevne litt mer spesiell form for oppsprekking i monolittiske betongbygg,
 4.0 som i grunnen ikke passer inn direkte i noen av Birkelands grupper. Det er klart at svinn o. l. kan føre til ganske store latente spenninger i mange slike bygninger. Disse spenningene er i og for seg ikke store nok til at de normalt fører til riss og sprekker, og bygningene kan derfor stå intakte gjennom lengre tid. Kraftige rystelser i grunnen, f. eks. fra sprengning eller peling i nærheten av bygningen, kan imidlertid være nok til at denne balansen forrykkes, og i løpet av kort tid kan man i uheldige fall få en kraftig oppsprekking. Jeg har sett flere slike tilfelle i de siste årene.

Moe:

Vi forutsetter som bekjent ved dimensjonering av normalarmerte betongkonstruksjoner at de sprekker, idet vi beregner konstruksjonene etter Stadium II. Denne form for sprekker hører til dem Birkeland karakteriserte som materialets iboende egenskaper, og grunnen til at vi kan godta en slik sprekke, som den man har i en vanlig armert konstruksjon, er jo at armeringsstålet står klar til å ta over de kreftene som betongen tok før sprekken oppsto. Derved vil vidden av sprekken holdes nede på en ganske bestemt grense, avhengig av belastningen, og vi generes ikke av disse sprekkenene. Vi vil her foretrekke å kalle dem riss. Riss i betongkonstruksjoner finnes overalt, men folk flest har aldri sett dem.

Hvis det oppstår strekkspenninger i en betongvegg, p. gr. a. svinn og spenningen øker, så vil man før eller siden få en strekk-kraft i veggen som er så stor at den er i stand til å slite betongtverrsnittet av. Den kraften vil da være lik $\sigma_s \cdot F_b$ hvor σ_s er lik betongens strekkstyrke og F er betongens tverrsnitt. Hvis nå alt er vel og bra, så er der da en armering tilstede som kan ta en like stor kraft, $\sigma_F \cdot F_a$ skal helst da være større enn den kraften som forårsaker bruddet i betongen. Vi kan altså ganske enkelt beregne den nødvendige armering av formelen

$$\sigma_F F_a \geq \sigma_s F_b$$

For hvis armeringsmengden er mindre, så vil ikke stålet være i stand til å ta kraften, stålet vil flyte, og sprekken vil åpne seg. Hvis vi nå setter strekkstyrken i betongen lik $0.1 \cdot K$, hvor K er betongens trykkstyrke, så får vi formelen

$$F_a \geq 0.1 \frac{K \cdot F_b}{\sigma_F}$$

hvor F_a er den nødvendige armering. Denne formelen minner svært mye om den formelen som er gjengitt i de to siste versjonene av Norsk Standard 427 for horisontal svinnarmering i vegger. Den eneste forskjellen er at NS 427 A, den siste versjon, har i stedet for 0.1 en faktor lik 0,04. NS 427 B, den forrige, hadde 0,03. Og i den gamle NS 427 hadde man verdier i området til 0,06. Vi ser altså at man ved revisjonene av Norsk Standard har hatt ganske store variasjoner på denne konstanten, og hele tiden ligger man langt under den faktor 0.1 som beregningsmessig ble funnet. Det er forskjellige grunner til at man heldigvis kan gå under 0.1. Blant annet vet vi at det vil være tilstede i et betongtverrsnitt visse interne spenninger som kanskje vil redusere σ_s til under $0.1 \cdot K$. Man kan jo også tenke seg at man får uttørring på overflaten og dermed trykk i indre del av veggen og strekk i ytterdelen, hvilket medfører riss i overflaten på betongen, slik at hele veggens tverrsnitt ikke er effektivt.

Dette med svinnarmering er et stort økonomisk spørsmål. Vi legger inn for mange kroner i svinnarmering i våre bygninger, og det kunne vært greit å vite om vi skulle benytte faktoren 0,03 eller 0,06. Vi har også praktisk fått litt erfaring med alle disse verdiene. Det kunne være interessant å høre om noen her har gjort noen som helst erfaring som kan fortelle om 0,06 er bedre eller verre enn 0,03.

Som jeg sa, kan armeringen ikke forhindre at sprekker oppstår, men den kan virke fordelende. Hvis inn-

lagt armeringstverrsnitt er så stort som $0.1 \frac{K \cdot F_b}{\sigma_F}$

så vil armeringen overta den kraft som forårsaket risset uten å flyte. Stålet vil sørge for at betongen blir slitt av ved siden av ved videre svinn.

Nå er det jo ikke så lett å regne ut disse svinnkrefte. Likevel kan man nok komme ganske langt ved beregninger, og det gjøres altfor få overslag vedrørende svinn og temperaturpåkjenninger i våre konstruksjoner i dag.

Imidlertid må man vel også i ganske stor utstrekning bruke et visst elastisk prinsipp basert på praktiske erfaringer ved innleggingen av armering. Man må da være oppmerksom på at hvis det ikke legges inn så mye armering at den kan fordele rissene, så kan man like godt la være å legge inn armering i det hele tatt. Det er enten/eller. Enten kan armeringen overta spenningen og fordele rissene, eller så flyter stålet straks risset oppstår, og da har man ingen glede av den armeringen man har lagt inn. Sprekker kan tenkes å forekomme av en av følgende tre grunner: Enten har man foretatt en for enkel analyse av konstruksjonen, eller man har gjort en eller annen tabbe når det gjelder den konstruktive utforming, eller årsaken kan være dårlig utførelse.

Når det gjelder forenklete beregninger, så er det jo helt elementært at selv om man antar et fritt opplegg, så bør man legge inn armering hvis det skulle være chance for at det allikevel er tilstede en viss kontinuitet. Jeg har merket meg spesielt at i støpte trappeopp-ganger finnes der svært ofte sprekker. Slike sprekker tror jeg ofte er oppstått fordi man har gjort altfor enkle antagelser om innspenningsforholdene og armert derefter. Andre sprekker som kan sies å være et resultat av beregningene, er de som skyldes gale eller mang-

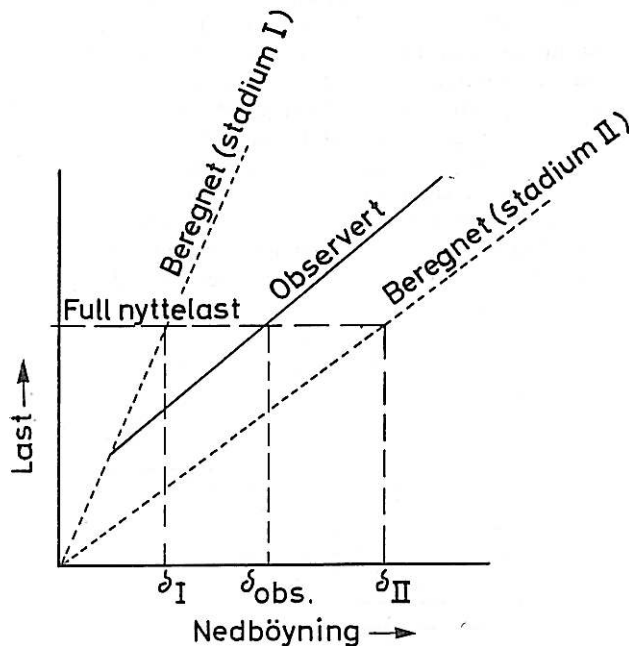


Fig. 1.

lende deformasjonsberegninger, og at man ikke tar hensyn til de deformasjonene man får. Når det gjelder nedbøyningsberegning, så er ifølge min overbevisning vår beregningsstandard ikke helt på høyde med situasjonen.

I fig. 1 er skjematisk vist sammenhengen mellom belastning og deformasjon for en bøyingspåkjent konstruksjon. I figuren er også inntegnet beregnede deformasjoner basert på konstruksjonens stivhet i henholdsvis Stadium I og Stadium II. Ved meget lave belastninger er den virkelige stivheten temmelig lik den beregnede i Stadium I. Etterat bøyingsrissene er oppstått, nærmer den effektive stivheten seg imidlertid sterkt mot tilsvarende verdi for Stadium II. Ved full nyttelast vil vi vanligvis ha en god del bøyingsriss. Det vil da være på den sikre siden — og fornuftig — å basere beregningene på Stadium II, hvilket våre forskrifter i dag ikke gjør.

Nå er det jo slik at ved alle deformasjonsberegninger må en også ta hensyn til de fortvilede langtidsdeformasjonene, og disse er jo vanskelig å forutsi. Men dette er ikke verre enn at man i forspent betong, hvor man er nødt til det, også klarer ganske nøyaktig å ta hensyn til langtidsdeformasjonene.

Jeg snakket tidligere om en viss følelse og et elastisk system for innlegg av armering. Man må forsøke å analysere hvor det virkelig er behov for svinnarmering, og så får man heller sløyfe armeringen hvor behovet er mindre påtrengende. Selv om standard forskrifter ikke kan være så elastiske, så kan man jo være det i noen grad i praksis.

En lang bygning som er fundamentert på fast fjell, vil være fastholdt i foten når den svinner. I fig. 2 er skjematisk vist en slik lang fasade med vinduer. Når bygningen trekker seg sammen, vil fundamentet forsøke å forhindre bevegelsen. Skjærspenninger oppstår, og disse vil være størst nær enden av bygningen og i de lavere etasjer. Her bør man derfor armere kraftig rundt vinduene, og spesielt i de hjørner hvor sprekker er inntegnet i figuren. I de øverste etasjene vil man også ofte få sprekker i de øvrige hjørner, p. gr. a. temperaturvariasjoner i fasaden med kraftig soloppvarming av den øverste delen. Her oppe i toppen av bygningen kan man derfor i større grad konstatere at sprekkenes fordeler seg jevnt på alle fire hjørnene.

Det har vært nokså mye snakk her om gavlsprekker, og i spesielt høy grad i murte bygninger. Men det ble vist at de også fantes i betongbygninger. En annen form for sprekker som har vært observert både her i landet og andre steder når det gjelder betongbygg med støpte yttervegger, er vist i fig. 3. Den har nøyaktig samme grunn som gavlsprekken, nemlig at betongplaten trekker seg sammen. Midt på bygningen er veggene lite stiv, og den kan trekkes inn når platen svinner. Men i hjørnet er platen fastholdt ved de to støpte veggene som virker som skiver, og derved slites platen over på tvers der, slik som figuren antyder. Jeg fikk rapportert et tilfelle hvor man hadde observert slike sprekker flere ganger. Man hadde derfor begynt å legge inn diagonalarmoring i dekket, slik som vist på

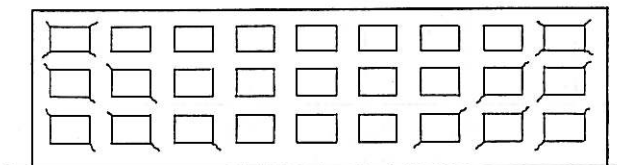


Fig. 2.

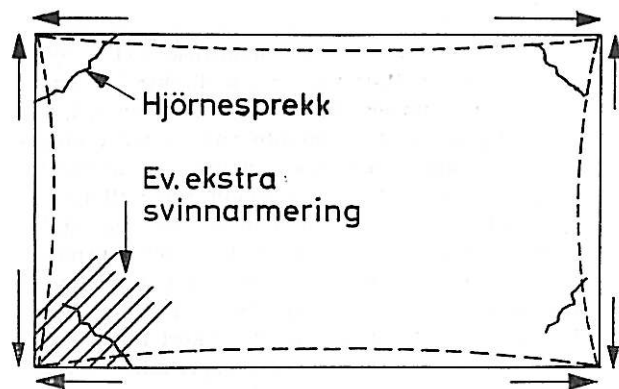


Fig. 3.

figuren. Sprekkenes var åpnere på undersiden enn på oversiden. De kunne ikke tenkes å skyldes en begynnende dannelse av bruddlinjefiguren.

Oftest er det slik at om en konstruksjon sprekker, så er det ikke noen katastrofe. Og det kan vi være glad for. Det har imidlertid hendt at det har skjedd ganske drastiske ting når sprekker har oppstått, og jeg skal i den forbindelse bare referere til en amerikansk konstruksjon, som riktignok ikke ville ha tilfredsstillt våre norske forskrifter. Det var en kontinuerlig ramme som var 240 meter lang, og hadde flere understøttelser. Den hadde en fuge midt på.

Rammen hadde ingen bøyearmering, og bøyingsarmeringen ved de innvendige stottene var som skjematisk vist i fig. 4. Denne ramme ble utsatt for meget store svinnpåkjenninger, det var jo 120 meter mellom fugene, og det oppsto store aksiale strekk-krefter i rammen. Den ble slitt av i et snitt hvor det ikke fantes armering, og (se fig. 4) styrtet ned. Nødvendigheten av å plasere fuger i lange bygninger er vi alle klar over. Det er målt deformasjoner i slike fuger på flere cm, så det er innlysende at fugene kan redusere svinn- og temperaturkrefter meget vesentlig.

Når det gjelder mangelfull utførelse, skal jeg være meget kort. Det er ganske interessant å merke seg at hvis betongen skulle bli litt for dårlig, så er i grunnen det ikke det verste som kan hende dersom veggene er godt armert; dårlig betong krever mindre svinnarmering enn god betong. Derimot er ved en og samme betongkvalitet selvfølgelig høyt vanncementtall meget ugunstig, og tidlig uttørring likeså. Det eneste jeg kan si er da at ved de raskeste byggemetoder og den kunstige uttørring av bygningene, som er vanlig i dag, må man jo vente at man får mer svinn og større sprekke-dannelser. Man får også større plastiske deformasjoner. De plastiske deformasjonene kommer jo da spesielt igjen i form av sprekker i lettvegger som står på konstruksjonene.

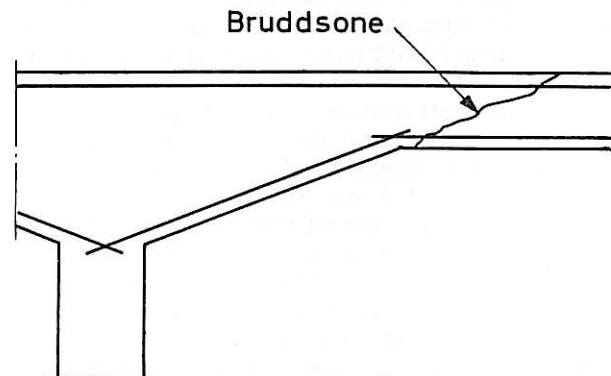


Fig. 4.

DISKUSJON

Professor Hans *Granum* omtalte et 13-etasjes bygg i Trondheim. Bygget har langsgående bærevegger. Gavlveggene, som har innvendig isolering, tjener som vindavstivning. Man fikk sprekker over dørene i skilleveggen nærmest gavlen, og betongdekket fikk sprekker på samme sted.

Arsaken til disse sprekkenes må være at gavlveggen går opp og ned i takt med utetemperaturen, mens skilleveggene har konstant innetemperatur. Temperaturbevegelsene er sannsynligvis ikke hele forklaringen på sprekkdannelsen. Mellomveggene får en ganske stor belastning med tilsvarende stor deformasjon, mens gavlveggene er nærmest ubelastet.

Da sprekker som skyldes bevegelser p. gr. a. temperaturforskjeller er vanskelig å reparere med gjenpussing (sprekkes størrelse vil stadig endre seg med årstidene), ble sprekken i dette tilfelle skjult ved å sette en gipsplate over dørene.

Sivilingeniør *Clement Holmsen* fremholdt at man ofte får sprekker i støpeskjøtene. Skal man forebygge sprekker, må man være ekstra omhyggelig med utførelsen av disse skjøtene. Om vinteren kan ofte sne og is komme ned i forskalingen, og man kan få en støpeskjøt som er den rene sprekkanvisning.

Sivilingeniør *Svein Atle Folkestad* omtalte en boligblokk hvor man hadde fått en rekke sprekker. Huset var bygget av limt lettbetongstav. Det var støpt vanlig grunnmur som sto på fjell. I huset hadde man horisontale sprekker i ytterveggene ved hjørnene, horisontal sprekke i overkant grunnmur (hvor grunnmurspappen var lagt), og dessuten en vertikal sprekke midt på grunnmuren (størst i overkant).

Folkestad spurte hvorledes man skal reparere slike sprekker, og fremfor alt hvordan man skal unngå dem. Når det gjaldt sprekken ved grunnmurspappen, mente han at det ville være en fordel om veggen var trukket litt utenfor grunnmurlivet slik at man kunne få en markert sokkel.

Direktør *Øivind Birkeland* nevnte at en metode å unngå sprekker p. gr. a. temperaturbevegelser er å isolere ytterveggene utvendig. I Israel, hvor man har store temperaturbevegelser i betongtak, har man forsøkt å legge opp betongplaten på to asbestcementplater. Den ene platen kan da sette seg fast i betongen og den andre i murverket uten at glidningen mellom dem hindres. Målinger har vist at friksjonen mellom platene er forholdsvis liten.

For å minske svinn og plastiske formendringer er det nødvendig å støpe god betong (betong med lite vann) og gi betongen gode herdningsbetingelser og lang herdetid for den belastes.

Overingeniør *Sverre Fjeldstad* mente at temperaturbevegelsene i betongdekker oftest arter seg som en vinkeldreining ved opplagrene. En betongplate som får en vinkeldreining ved opplegget, vil normalt ligge an

på den indre kant av ytterveggen. For å få lasten mere sentrisk på veggen, kan man ved innerkant av yttervegg legge inn en porøs trefiberplate (f. eks. 8 mm tykk og 8 cm bred). Den del av opplegget som blir igjen, er som regel mer enn tilstrekkelig ved de små laster det her er tale om.

Når det gjaldt reparasjon av sprekker, trodde *Fjeldstad* at bevegelsene i sprekken i det vesentlige er slutt når bygget er fire år gammelt. Man kan da ta chansen på gjenpussing av sprekken. Når det gjelder gavlsprekker, er det en sikker metode å dekke dem med panel eller kledning. Dette kan ofte gjøres uten å odelegge huset arkitektonisk.

En svensk metode å reparere sprekker på er å hugge ut pussens langs sprekken og så legge papp og netting før det pusses igjen. På den måten blir en eventuell bevegelse i sprekken fordelt over en viss strekning av pussens.

Sivilingeniør *Sven D. Svendsen* mente at det er vanskelig å få erfaring for hvor stor svinnarmering en sprekkefri vegg bør ha. Ofte er det slik at svinnet introduserer spenninger i veggen slik at denne er på bristepunktet. Veggen kan likevel stå i mange år uten sprekker. Blir så bygget utsatt for rystelser, f. eks. ved sprengningsarbeid i nærheten, kan man få ganske kraftige sprekkdannelser.

Når det gjelder reparasjonsarbeid, er det sannsynligvis gunstig å pusse igjen sprekken med mørtel tilsatt PVA. Man må da bruke en ganske sterk PVA-mørtel med noenlunde samme blandingsforhold som anbefales til industrigulv (PVA-innhold omtrent tilsvarende 25 % av cementvekten).

Den reparasjonsmetode som *Fjeldstad* nevnte, med papp og netting over sprekken, er beskrevet i Byggeforskningens Særtrykk nr. 57, «Skader på puss». Det er viktig at puss-stripen gjøres minst 10 cm bred og at pussens får en god forankring til begge sider.

Sivilingeniør *Johannes Moe* understreket at for å få en sprekkefri vegg er det nødvendig ikke bare å bruke den riktige mengde armering, men også å plasere armeringen riktig, dvs. konsentrere noe armering i de punkter hvor man venter sprekker. Trykkarmering er meget effektiv i høyde konstruksjoner for å begrense deformasjonene.

Moe nevnte også et eksempel på at avlastning av en konstruksjon kan frembringe sprekker. I et gammelt hus ble taket revet og erstattet med et nytt, lettere tak. Taket lå på betongsøyler, som gjennom årene hadde fått så stor plastisk deformasjon at den vesentlige del av lasten var overført til trykkarmeringen. Når så søylene ble avlastet, strakk jernet seg og rev av betongen slik at man fikk en rekke horisontale riss i søylene.

Sivilingeniør *Finn Robert Haugli* omtalte at PVA-mørtler har en meget lav E-modul (30 000 kg/cm² — 50 000 kg/cm²) og en meget stor boyestrekkefasthet, som er opptil 40 % av trykkfastheten. Boyestrekkefastheten for vanlige mørtler ligger omkring 15 — 20 % av trykkfastheten. Ved tilsetning av PVA blir ikke mørtelens trykkfasthet nevneverdig nedsatt.

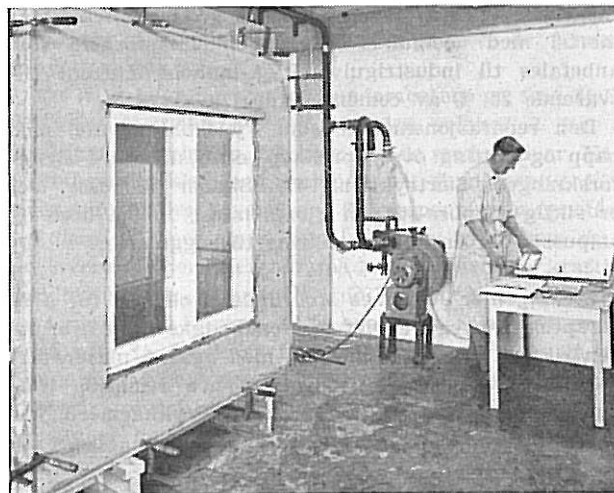
Tetthetskrav til vinduer

Av arkitekt MNAL SVEN ERIK LUNDBY, Norges byggeforskningsinstitutt

Da NBI begynte å orientere seg i utenlandsk litteratur om tetthetskrav til vinduer, måtte det slå en at de påkjenningene som ofte ble brukt ved laboratorieundersøkelser, var meget moderate i forhold til hva vi må være forberedt på i praksis her i landet [1]. En kjent forsker som *Cammerer* anga for eksempel at man måtte regne med et lufttrykk som svingte mellom 0,5 og 5 mm VS [2].

NBI interesserte seg tidlig for klimapåkjenningene, både slagregn [3], [4] og klimaforhold i sin almindelighet [5] og bygde sine første apparater for prøving av tetthet i vindusspalter for adskillig større trykkdifferanser enn det som var vanlig, f. eks. i Mellom-Europa. NBI's apparatur er gjengitt i flere av NBI's publikasjoner, f. eks. i rapportene 7 [6] og 28 [7].

Den består kort sagt av en tett kasse, hvor det vinduet som skal prøves settes inn i den ene side med helt tettet fuge mellom karm og åpning (se fig. 1).



1. Apparat for måling av vinduers vindtetthet. Laborant Maaö ved NBI's laboratorium i Trondheim foretar målinger av luftgjennomgang gjennom vinduer.

Prøvevindueene er såvidt mulig 120 x 120 cm karm-mål. En vifte blåser luft inn i kassen. Her kan det holdes bestemte overtrykk. De innblåste luftmengdene måles, og lekkasjene i vindueene kan på denne måten bestemmes.

NBI måler gjerne overtrykkene fra 10 til 70 mm VS i denne rekkefølge: 10 - 30 - 50 - 70 - 60 - 40 - 20 mm VS.

Vindstyrke måles hos oss gjerne i Beaufort's skala. Beaufort 0 er stille, 4 er laber bris (vindhastighet 5,3 — 7,4 m/sek.) og 12 er orkan (over 29 m/sek.). Vindhastighet i denne forstand er middelhastighet over en 10 minutters periode.

Momentanverdier på mer enn 50 % over eller under middelhastigheten må anses for normale. Hvis middelhastigheten er 15 m/sek. (dvs. stiv kuling), kan kortvarige byger kanskje komme opp i 25 m/sek. (dvs. full storm).

Sammenhengen mellom vindtrykk og vindhastighet settes gjerne

$$p = \frac{1}{16}v^2$$

Vindstyrke opp i full storm er ikke ualmindelig på mange bebodde steder. Under slik vind vil demningstrykket under vindstotene kunne komme opp i 70—80 mm VS.

NBI har nettopp fastsatt påkjenningene i prøveapparatet etter disse strenge norske klimaforhold.

Efterhvert er det blitt prøvd ganske mange vinduer.

Den viktigste prøveserien er kanskje den vi gjorde med vanlige Norsk Standard-vinduer [7]. Vi prøvde her alle vanlige typer med og uten tettelister. Vi kontrollprøvde også en serie utadslående vinduer med innadslående varevinduer for å studere spredningen i et ellers likt parti vinduer.

Det typiske ved resultatene av disse forsøkene er som kjent at forskjellen i tetthet mellom de forskjellige vindustypene er *mindre* karakteristisk enn forskjellen i tetthet mellom vinduer uten og med tettelister. Tar en lekkasjene ved 70 mm VS trykkforskjell, ligger hovedtyngden av lekkasjene mellom 65 og 80 m³/h for 120 cm x 120 cm vinduer uten tettelister og mellom 15 og 40 m³/h for vinduer med tettelister.

En rekke nyere vinduskonstruksjoner, hvor det i særlig grad er lagt vekt på at de skal være tette, har oppnådd luftlekkasjer på godt under 15 m³/h ved 70 mm VS overtrykk på 120 cm x 120 cm vinduer. Ut fra den erfaring NBI har fått ved disse forsøkene, har vi tillatt oss å karakterisere vinduer som dårlige, brukbare, gode eller utmerkede, hva vindtettheten angår. Legger vi luftlekkasjene i et 120 cm x 120 cm vindu til grunn og holder oss til den svære påkjenning vinduet er utsatt for ved et overtrykk på 70 mm VS, har vi sagt, at vinduet er

dårlig, når luftgjennomgangen er større enn 60 m³/h

brukbart, når luftgjennomgangen er mellom 30 og 60 m³/h

godt, når luftgjennomgangen er mellom 15 og 30 m³/h

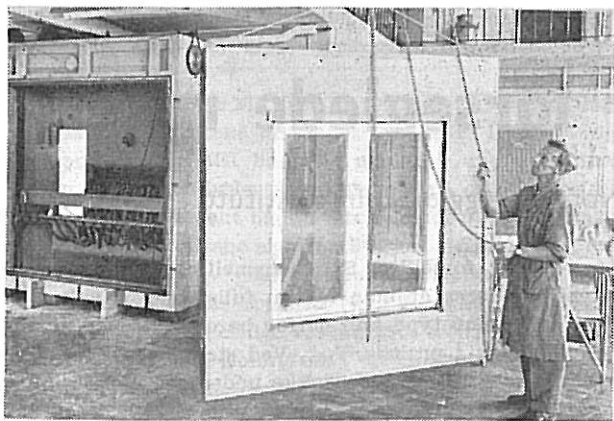
utmerket, når luftgjennomgangen er mindre enn 15 m³/h.

«Utmerkede vinduer» er da alltid basert på en eller annen form for spesialtetting, f. eks. ved hjelp av tettelister.

NBI har også studert vinduers tetthet mot slagregn. Det er gjerne de samme vindueene som prøves såvel for vindtetthet som for tetthet mot slagregn.

Prøveapparatet er beskrevet i våre rapporter [7]. Den består i prinsippet av en kasse, hvor vinduet settes inn i den ene siden, og hvor vi, akkurat som i vindtetthetsapparatet, kan lage det luftovertrykk vi ønsker. Men samtidig kan her vinduet utsettes for kunstig slagregn (se fig. 2). Regnmengdene svarer til meget kraftig påkjenning. Normalt prøves vindueene med en slagregnpåkjenning på ca. 8,5 l/m²·h.

Bedømmelse av lekkasjer ved slagregnpåkjenninger



2. Apparat for måling av vinduers tetthet mot slagregn. Laborant Larsen ved NBI's Trondheim-laboratorium heiser på plass et prøvefelt som skal settes inn i slagregnskapet (til venstre).

må jo mer bli på skjønn, men de er i grunnen greie å gjennomføre [7].

I enda større grad enn ved luftlekkasjer spiller «riktig» eller «gal» vinduskonstruksjon en rolle.

Lufttrykkfallet over et utsatt vindu kommer jo i de tette skiktene i vinduet. Det må sørges for at lufttrykkfallet ikke forekommer der hvor regnvannet kommer til.

Eller omvendt: Regnvannet må ledes bort for det når frem til skikt hvor det er lufttrykkfall.

NBI har for så vidt også antydnet kravene til et godt vindu hva slagtettheten angår: Et vindu som prøves i instituttets slagregnapparat skal tåle 5 timers prøving med et overtrykk på 70 mm VS og med en vannpåsproyting av ca. 8 l/m²·h uten gjennomslag. Hvis det dreier seg om vinduer som skal brukes i meget høye bygg, kan det være riktig å øke vannmengden betydelig, til 60—70 l/m²·h.

Til slutt skal vi bare kort komme inn på den mer praktiske siden av saken og drøfte vinduenes utforming noe nærmere.

Tenker vi oss et vanlig utadslående vindu med innadslående varevindu uten tettelist, er dette iallfall i østlandsklima et akseptabelt vindu, mens det etter de strengere krav vi må stille ikke holder mål.

Vi kan ønske å forbedre det.

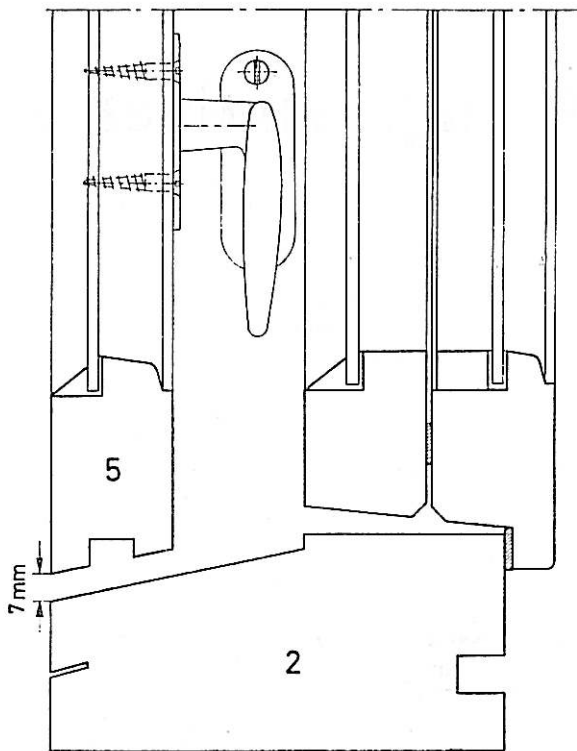
Det kan da først passe å kommentere et forslag som ble fremsatt av en bygningsmann for noen år siden. Han ville utforme det utadslående vinduet med overfals, særlig for å hindre drivregnet i å slå inn i spalten over vindusrammen. Vinduet ble imidlertid da helt umulig. Dette har NBI vist ved forsøk [7], [8].

Hvorfor? Jo, det ytre vindtettende skiktet lå helt ut mot regnfilmen. Det ble et kraftig trykkfall i overfalsanlaget og regnet ble sugt inn. Utførelsen var dårligere enn det tradisjonelle vinduet hvor ytterrammens anslag ligger på rammens innside.

Men også dette tradisjonelle vinduet er svakt, fordi så mye av trykkfallet over vinduet ligger på ytterrammen. Forholdene blir gjerne verre når rammen begynner å trutne, så mye mer av trykkfallet kommer på ytterrammen.

Først når varevinduet får effektivere tetting med tettelist, begynner vinduet å bli bra. Det meste av trykkfallet kommer da på varevinduet, på det godt beskyttede anslaget helt inn mot rommet. Prinsippet er blitt riktig.

Dette kan godt føres videre, som f. eks. i et forslag til vindu i særlig værhardt strøk (se fig. 3). Her flyttet vi hele det varmeisolerende vinduet inn — som et



Vertikalsnitt

Mål 1:2

3. Vindu for ekstra værharde strøk. Fullstendig beskrivelse i byggdetaljblad NBI (31).101.

koblet innadslående vindu med gode tettelist og gode vinduslukkere. Det utadslående vinduet ble hva funksjonen angår omdannet til en gjennomsliktig regnskjerm med en spalt på hele 7 mm mellom det undre av rammen og vinduskarmen. Trykket i vindbygene kunne derfor øyeblikkelig forplante seg til hulrommet bak ytterglasset. Det oppstod derfor ikke noe sug som kunne trekke vannet inn. Det regnet som slo inn i spaltene, nådde ikke tettelistene hvor det hele trykkfall var konsentrert. Vi tenkte oss at en slik konstruksjon ville imøtekomme meget strenge krav. Laboratorieforsøk bekreftet dette. Nå har visst også praksis gjort det.

Eksemplet har forhåpentlig vist at det er konstruksjonen, vinduets oppbygging, som gjør om det kan tilfredstille kravene til tetthet mot slagregn. Et vindu som er tett mot slagregn, behøver ikke være et meget komplisert vindu.

LITTERATUR

- [1] Birkeland, Ø., og S. E. Lundby. Trekk fra vinduer. Litt om hva vi vet om luftlekkasjer. Bygg 1954, nr. 10, s. 211—215.
- [2] Cammerer, J. S., og F. Hirschhold. Der Einfluss der Fensterbauart auf der Luft-durchgang. Gesundheitsingenieur 1938, nr. 29, s. 393 o. fig.
- [3] Hoppstad, S. Slagregn i Norge. Oslo 1955. (Norges byggforskningsinstitutt, Rapport 13).
- [4] Svendsen, S. D. Driving rain. Experimental research on the resistance of external walls against rain penetration. 2.ed. Oslo 1955 (Norges byggforskningsinstitutt, Rapport, 20).
- [5] Johannessen, T. Werner. Varmeutvekslingen i bygninger og klimaet, Oslo 1956 (Norges byggforskningsinstitutt, Rapport, 21).
- [6] Granum, H., S. D. Svendsen og A. Tveit. Lette treveggers vindtetthet. Oslo 1954 (Norges byggforskningsinstitutt, Rapport, 7).
- [7] Wigen, R. Vindusundersøkelser III. Vinduer av tre. Undersøkelser av tetthet mot vind og regn. Oslo 1958 (Norges byggforskningsinstitutt, Rapport, 28).
- [8] Lundby, S. E. Vindusproblemer i nytt lys. Bygg 1958, nr. 10 (Norges byggforskningsinstitutt, Særtrykk, 34).

Vanlige vinduer eller forseglede ruter?

Av sivilingeniør TORE GJELSVIK, Norges byggforskningsinstitutt

Toglassvinduer har lenge hatt en grunnfestet posisjon i norsk husbygging. De klimatiske forhold og kravene til varmeisolasjon og komfort har gjort de doble vinduene til en nødvendighet, selv i de sydlige og vestlige strøk av landet. Endel steder har også treglassvinduer vist seg å være økonomisk forsvarlig og har hatt en viss fremgang.

De tradisjonelle vinduer med vanlig glass finnes i et utall utførelser. Man kan imidlertid skille ut to hovedtyper, nemlig adskilte inn- og uadslående rammer, samt koblete rammer.

I løpet av de siste 10 år har de såkalte isolerglass, også kalt termoglass eller tvillingglass, vunnet innpass på det norske marked og har nå fått ganske utstrakt anvendelse. Disse ruter består av to eller flere glass med lufttett forsegling langs kantene og med tørr luft mellom glassene. Disse ruter er opprinnelig utviklet i land hvor det vanligvis brukes vanlige enkle vinduer med enkelt glass, men de markedsføres her i landet med de samme salgsargumenter som i opprinnelseslandene. Ser man nøye etter i brosjyrene, finner man således at det alltid er vanlige vinduer med et enkelt glass som er sammenligningsgrunnlaget. Det er innlysende at dette forhold kan føre til salgsargumenter som er helt feilaktige sett på bakgrunn av at det faktisk er doble vinduer som er vanlig praksis i Norge. Vi skal derfor i det følgende foreta en sammenligning mellom disse forseglede, doble og flerdoble ruter og vanlige gode norske dobbeltvinduer.

Isolerglasstyper

De eksisterende isolerglasskonstruksjoner kan grupperes i 3 hovedtyper som vist i fig. 1.

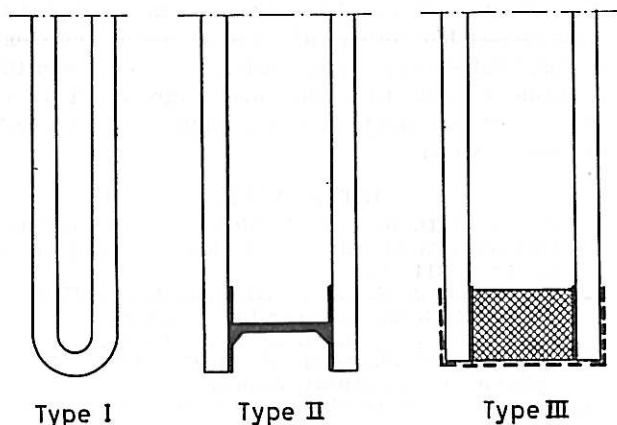


Fig. 1. De tre hovedtyper isolerglasskonstruksjoner.

Type I er en helglasskonstruksjon med sammensmeltede glasskanter. Etter sammensmeltingen skiftes luften mellom glassene ut med rensset, uttørret luft før

ruten endelig forsegles. Sammensmeltingen av glasskantene medfører at man får en fullstendig stiv konstruksjon. Denne type kan derfor bare lages med små glassavstander, i praksis $\frac{3}{16}$ ". Ved større glassavstander har rutene lett for å sprekke under den oppblåsing og sammentrykning de er utsatt for ved varierende lufttrykk og temperatur. Type I har hittil ikke vært markedsført i Norge.

Ved type II metalliseres først glasskantene med smeltet kobber, som siden fortinnes. Et tynt steg av en myk blylegering loddes til de fortinnede glasskantene, og til slutt skiftes luften mellom glassene ut for den endelige forseglingen, akkurat som ved type I. Ved type II oppnås en direkte glass — metallforbindelse. Denne forbindelse er i seg selv helt stiv, men p. gr. a. det myke blysteget må konstruksjonen som helhet betegnes som halvstiv. Av type II markedsføres i Norge 2 fabrikata.

Ved type III limes en avstandslist mellom glassene. I de aktuelle konstruksjoner anvendes det lister av forskjellige materialer og av høyst forskjellige tverrsnittformer. I de fleste tilfelle dreier det seg om kanalformede metallister, men det forekommer også plastlister og til og med halvstive kittbånd. De kanalformede listene pleier være helt eller delvis fylte med tørrestoff, f. eks. silikagel, som suger til seg fuktighet fra luftrummet mellom glassene gjennom små huller eller spalter i profilene. Utvendig anvendes ofte en U-formet list som beskytter glasskantene og hjelper til å holde enheten sammen. Felles for de forskjellige konstruksjonene av type III er at de alle baserer seg på en limt forbindelse mellom glassene. Avhengig av hvilke materialer som benyttes kan man oppnå myke, halvstive og stive konstruksjoner. Av type III markedsføres det i Norge i øyeblikket 6 fabrikata, mens flere andre er i anmarsj.

Kondens mellom glassene

Karakteristisk for alle isolerglass er at de er fabrikkforseglete enheter med uttørret luft mellom glassene. «Hvorfor legge ned så mye arbeide på dette?» kan man spørre. «Kan ikke det hele gjøres litt enklere?» «Nei», fremholder fabrikantene. «Med den prosess vi benytter unngår vi støvansamling og kondens mellom rutene, samtidig som det bare blir to flater å pusse». Den fulle sannhet får man imidlertid frem ved å snu forklaringen på hodet. Den omhyggelige forseglingsprosessen er nemlig nødvendig nettopp for å forhindre at rutene tilskitnes mellom glassene ved støvansamling og kondens, helt enkelt fordi rutene ikke kan tas fra hverandre for pussing. Om kondensflekkene mellom glassene bare kom ved meget kaldt vær og forsvant igjen ved mildvær, var det kanskje ikke så farlig. Slik kondens i avstengte luftrum kan imidlertid meget lett føre til saltutslag fra glasset, såkalt scumming.

Dette viser seg som et ugjennomsiktig melkehvitt belegg, og medfører at en isolerglassrute vil være fullstendig ødelagt.

Man kan derfor slå fast at tettheten av forseglingen av isolerglassrutene er meget vesentlig. Dette er også et punkt som NBI har viet adskillig oppmerksomhet. 4 av de ledende isolerglassfabrikata på det norske markedet ble undersøkt både i laboratoriet og ute i praksis. Markundersøkelsene er offentliggjort tidligere (1), mens utvalgte deler av laboratorieundersøkelsene vil bli offentliggjort i nær fremtid (2). Vi skal her nøye oss med å trekke frem det vesentligste av resultatene. For det første at alle isolerglass i virkeligheten er mer eller mindre utette, og derfor har en begrenset livslengde. For det annet at det er en enorm variasjon i kvaliteten. For to av de undersøkte 4 fabrikata var resultatene gode, men for de to andre heller betenkelig dårlige. Et biresultat av undersøkelsene var forøvrig at de kitttyper og innsettingsmetoder som ble benyttet måtte betegnes som helt utilfredsstillende. Selve isolerglassundersøkelsene ble derfor fulgt opp av omfattende undersøkelser av kitttyper og innsettingsmetoder. Resultatene av disse undersøkelser er publisert tidligere (3), (4). Både undersøkelsene av selve isolerglassene og innsettingsmetodene vil bli fortsatt og resultatene antagelig publisert etter hvert.

Ved vanlige vinduer er kondens mellom rutene ikke noe problem ved riktig utførte konstruksjoner. Ved koblede rammer anvendes en tetningslist på den indre ramme, mens fugen mellom rammene gjøres såpass grov at luftrummet mellom glassene luftes utad. Ved separate inn- og utadslående rammer er det litt vanskeligere å unngå kondens i alle situasjoner, idet den indre rammen må gjøres adskillig tettere enn den ytre. Men med tetningslist på den indre ramme og lufting av luftrummet utad pleier man oppnå tilfredsstillende resultater. Og om nødvendig er pussing ikke noe problem.

Foruten isolerglass og vanlige vinduer finnes det en mellomting som bør nevnes, nemlig de såkalte fattigmanns isolerglass eller folkeisolererglass. Disse består av vanlige enkle glass innsatt i plast eller gummilister. Det vanligste er de 3 typer plastlistprofiler som vises i *fig. 2*.

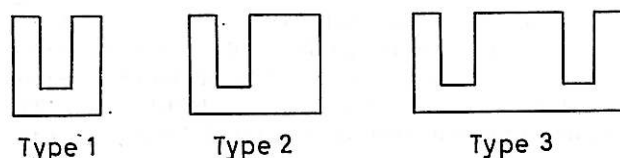


Fig. 2. De tre vanligste plastlistprofiler.

Listene leveres som metervare, kappes i passende lengder og sveises sammen til hele bånd. Disse tres på glassene, som derefter settes inn i rammene og festes med glasslister. Ved type 3 får man dobbelt glass med en enkelt list, mens man ved å kombinere type 1 og 2 kan lage doble og flerdouble glass med 3 — 16 mm luftrum, *fig. 3*. Denne form for doble og flerdouble glass er ikke isolerglass i egentlig forstand, idet rutene ikke er forseglede, men baserer hele sin tetthet på den klemvirkning som glasslistene utøver. Erfaringene med disse ruter er foreløbig begrenset, men det later til å være all grunn til å mane til en viss forsiktighet. Det er nemlig ikke så lett å få rutene ordentlig tette,

og det har forekommet enkelte stygge tilfelle av scumming. Puss mellom rutene er i dette tilfelle riktignok en relativt kurant sak. Scumming, d. v. s. saltutslag fra glasset, kan imidlertid komme overraskende fort, og er det først kommet, er det umulig å få det helt bort. Man burde kunne unngå de verste baksmeller ved å:

1. runde hjørnene av glassene slik at de ikke skjærer seg gjennom plastlistene.
2. utføre skjøtene pent og omhyggelig slik at de er ordentlig tette.
3. montere rutene i tørrest mulig atmosfære.
4. legge inn tørrestoff mellom glassene.
5. utforme glasslistene slik at de gir ordentlig press.

Varmeisolasjon

Den totale varmeutveksling i vinduer kan deles i 3 hovedposter, nemlig ren varmeledning karakterisert ved vinduets k -verdi, varmegevinst ved solstråling, samt varmetap ved luftlekkasje. De to siste punkter skal vi imidlertid ikke behandle her. Varmetilførsel ved solstråling er nemlig et separat problem som ikke har noe med spørsmålet om forseglede ruter eller vanlige vinduer å gjøre, og luftlekkasjene kan nå holdes på et akseptabelt nivå. Vinduets k -verdi er i seg selv et tilstrekkelig komplisert problem. Varmemotstanden i glasset er nemlig svært liten, og det meste av glasspartiets varmeisolasjon ligger i overgangsmotstanden ved glassoverflaten og i den isolerende virkning av luftsjikt mellom glassene. Av den totale varmeisolasjon utgjøres ved dobbeltvinduer ca. halvparten av varmeovergangsmotstanden innvendig og utvendig. Det er derfor ganske innlysende at vindforholdene ute samt luftstrømningene inne i rummet vil ha en betydelig innflytelse på k -verdien. Skal man sammenligne forskjellige glasspartiers varmeisolasjon, må det derfor bli under antagelse av ganske bestemte varmeovergangsmotstander. Her i Norge regner man vanligvis med en indre overgangsmotstand på $0,15 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{kcal}$ og en ytre på $0,05 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{kcal}$, tilsammen $0,20 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{kcal}$.

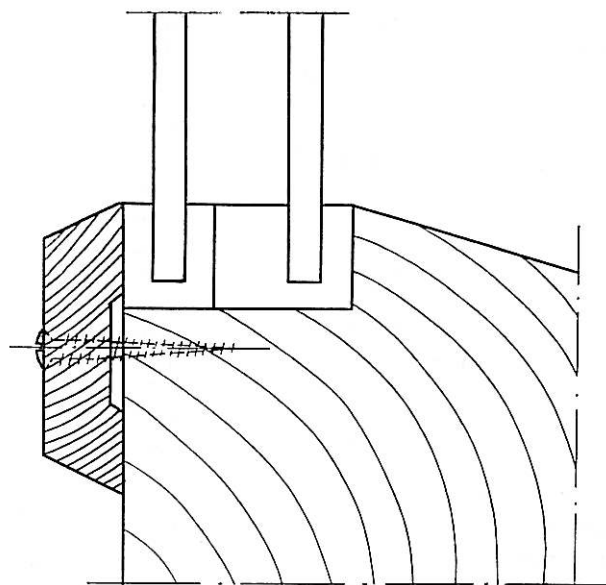


Fig. 3. Dobbelt glass med to enkle glass innsatt i plastlist nr. 1 og 2. Luftrum ca. 11 mm. Glasslister med press.

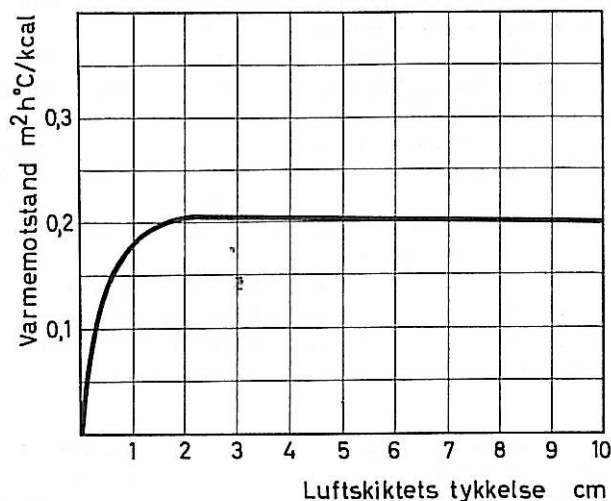


Fig. 4. Varmemotstand i vertikale luftsjikt mellom flater med høyt strålingstall (= 0,9). Middelttemperaturen 0 °C. Temperaturdifferens 20 °C.

Som en følge av varmeovergangsmotstandens store innflytelse skulle det være ganske klart at det er meget vanskelig å måle k-verdier for glasspartier. Endel undersøkelser over varmemotstanden i vertikale luftsjikt har imidlertid vært tilgjengelig temmelig lenge og har i den seneste tid blitt supplert av målinger på isolerglass (5), (6). Disse siste undersøkelser har bare bekræftet at den hermetiske forseglingen av rutene ikke gir noen ekstra varmeisolering sammenlignet med glasspartier satt sammen på konvensjonell måte. Noe annet var forøvrig ikke å vente.

På grunnlag av den kjente varmemotstand i vertikale luftsjikt (fig. 4), kan man så beregne sammenlignbare k-verdier for forskjellige glasspartier. Dette er gjort i tabell I for 3 mm glass.

Tabell I. Sammenlignbare varmegjennomgangstall for forskjellige vertikale glasspartier.

	Glassparti	k-verdi
Enkelt glass		4,90 kcal/m ² h°C
Dobbelt glass	4 mm luftrum	3,08
	3/16" »	2,96
	1/4" »	2,78
	8 mm »	2,68
	8,5 » »	2,65
	3/8" »	2,60
	12 mm »	2,52
	1/2" »	2,50
Tredobbelt glass	15 mm »	2,46
	1" — 4" »	2,40
	1/4" »	1,97
	3/8" »	1,79
	1/2" »	1,71
	1" — 4" »	1,60

Den samlede overgangsmotstand er regnet til 0,20 m²h°C/kcal. Andre glasstykkelser vil bare resultere i meget små avvikelser fra de i tabellen oppførte verdier, i praksis bare noen få hundredeler. Disse avvikelser er ubetydelige sammenlignet med hva man kan få ved varierende overgangsmotstander. At enkelte glassfab-

rikanter oppgir litt avvikende k-verdier, skyldes at de regner med andre overgangsmotstander. Det bør kanskje påpekes at verdiene i tabell I bare gjelder for glasspartiene. Varmetapet i rammen regnes separat.

De oppførte k-verdier kan benyttes både for isolerglass, glass innsatt i plastlister og for glasspartiene i gode konvensjonelle dobbeltvinduer. Ved de vanlige vinduene skulle man riktignok vente en viss økning av k-verdien p. gr. a. at luftrummet mellom glassene er luftet utad. Det skal imidlertid temmelig kraftig lufting til før man får en merkbar stigning i k-verdien. I praksis vil dette bare forekomme ved de høyere vindstyrker. Men vil man være på den sikre siden, kan man selvsagt regne med k = 2,5, istedenfor k = 2,4 for vanlige doble vinduer med 1" — 4" luftrum, og k = 1,7 for tredoble.

Ved et nærmere studium av tabell I ser man at samtlige former for doble eller tredoble glass har adskillig lavere k-verdier enn et enkelt glass. Derimot vil samtlige doble isolerglass, med fra 4 til 15 mm luftrum, ha endel høyere k-verdier og større varmetap enn vanlige doble vinduer. Tilsvarende er det også for trippel isolerglass sammenlignet med tredoble vinduer. Man kan med andre ord slå fast at under norske forhold vil vinduer med isolerglass gi noe dårligere varmeisolasjon enn den alternative type vanlige vinduer. Alle slike betegnelser som isolerglass, isolerende glass, termoglass og lignende er følgelig feilaktige. Og ikke bare feilaktige, men også såpass misvisende at de burde være forbudt. At isolerglass brukes i denne artikkel er bare av gammel vane. Norges byggforskningsinstitutt og Norges Standardiserings-Forbund har forsøkt å benytte betegnelsen tvillingglass, men hittil uten å vinne særlig gjenklang hos bransjens folk. Vanskeligheten ligger vesentlig i at tvillingglass bare kan brukes om doble isolerglass. Trippel måtte således hete trillingglass, og tilsvarende for ruter med enda flere glass. «Forsegledede ruter» skulle være en helt ut dekkende fellesbetegnelse. Vi savner imidlertid noe kortere og enklere.

Isolerglass har hittil bare vært markedsført med luft mellom glassene. Man har forsøksvis laget glass med forskjellige gassfyllinger, men har bare oppnådd ganske beskjedne forbedringer av k-verdien og da vesentlig ved de minste glassavstander. Den eneste måten å senke isolerglassenes k-verdi på later til å være å belegge glassflatene med noe som reduserer flatens absorpsjonstall overfor langbølget stråling. Hittil har imidlertid ingen greid å finne noen praktisk løsning på dette problemet.

Kondens på innsiden av rutene

Dette er et problem som er nær knyttet til k-verdien. Jo høyere k-verdien er, jo lavere vil temperaturen på det innerste glasset være, og jo lettere vil man få kondens. Kjenner man k-verdien og de antatte overgangsmotstander, kan man beregne glasstemperaturen, og derved kan man tegne opp en kurve som viser hvor høy fuktighet man kan ha inne i rummet ved de forskjellige utetemperaturer uten at det blir kondens. En slik kurve vises i fig. 5 for et glassparti bestående av 2 stk. 3 mm glass og 1/2" luftrum ved innetemperatur + 20 °C.

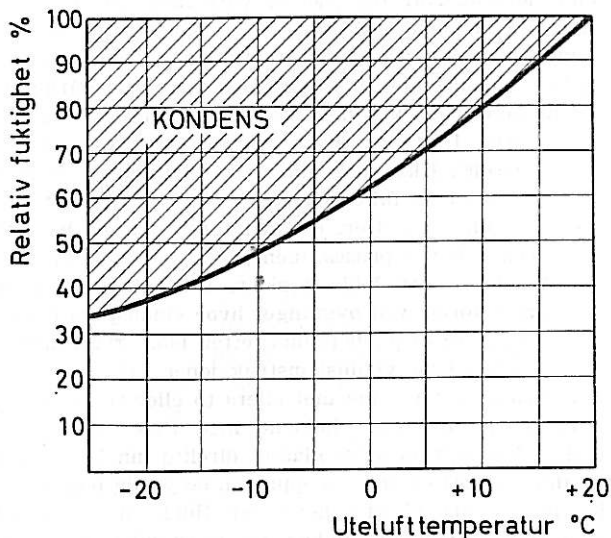


Fig. 5. Kondens på innsiden av et glassparti bestående av to stk. 3 mm glass og 1/2'' luftrum ved innnetemperatur 20 °C.

Siden nå isolerglass som nevnt har en noe dårligere k-verdi enn tilsvarende vanlige vinduer, vil man selvsagt først få duggdannelse på isolerglassene. Dette bekreftes også av erfaringer fra praksis.

De foregående betraktninger gjelder duggdannelse over størsteparten av glassflaten. Ved isolerglass har man dessuten en utpreget randeffekt som gjør situasjonen enda ugunstigere for dem. De fleste isolerglass har nemlig en metallforbindelse mellom glassene, og denne virker som en temmelig effektiv termisk kortslutning. På grunn av overgangsmotstandene vil den riktignok bare gi et ubetydelig tillegg til k-verdien for hele ruten. Temperaturen langs kantene av det indre glasset vil imidlertid bli betydelig lavere enn over midtpartiet. Kanadiske undersøkelser (7) viser tydelig hvor store temperaturforskjninger man kan få, spesielt i underkant av rutene. Også ved NBI har vi målt endel slike randeffekter. For en meget vanlig isolerglasstype har vi således målt en temperaturdifferens på hele 10 °C mellom rutens midtparti og underkant ved en utetemperatur på + 25 °C og en innlufttemperatur på + 20 °C. Noe av denne temperaturdifferensen skyldes riktignok luftstrømmingene nedover langs ruten, men det meste skyldes randeffekten.

Også ved glass innsatt i plastlister har man en viss randeffekt, men en bra del mindre enn for isolerglass. For vanlige vinduer med enkle glass er det ingen slik randeffekt.

Når det gjelder kondens på den indre ruten, vil altså isolerglass være ugunstigere enn vanlige vinduer. Dette er imidlertid ikke noe problem i kontorbygg, hvor man alltid har relativt høy lufttemperatur og lav fuktighetsgrad. Derimot kan man risikere å få ubehageligheter i vanlige beboelseshus, om man ikke innretter sine boligvaner etter glassenes egenskaper.

Om man absolutt skal spare brensel og bo kjølig og samtidig stenger alle lyrer og reduserer luftingen, må man nødvendigvis få ubehageligheter med kondens og isdannelse. Den mest effektive måten å unngå kondens på er å heve innnetemperaturen og sørge for tilstrekke-

lig ventilasjon. Dessuten noen praktiske tips: Sett ikke isolerglass ut i dype nisjer i veggen, men trekk dem så langt inn mot rummet som mulig, gjerne i flukt med innsiden av ytterveggen. Plaser ikke brede blomsterbrett helt inn til veggen, men trekk dem så langt ut at de ikke hindrer luftsirkulasjonen langs glasset og veggen. Plaser en elektrisk ovn under vinduet, slik at det blir en oppadstigende varm luftstrøm. Reduser ikke luftstrømmingene med tykke gardiner som ligger helt inn til veggen.

Lydisolasjon

Glasspartiers lydisolerende evne er et annet interessant problem. Her foreligger det siden flere år tilbake omfattende undersøkelser av faste vinduer med vanlige enkle, doble og tredoble glass (8), (9). For enkle glass gjelder verdiene i tabell II:

Tabell II. Lydisolasjonsevnen for enkle glass. (Middelreduksjonstall for frekvensområdet 100 — 3200 Hz).

2 mm glass	26 db
4 mm glass	27 db
6 mm glass	28 db
8 mm glass	29 db

Større glasstykkelser vil gi en beskjeden økning.

For doble glass varierer lydisolasjonsevnen med glassstykkelsen og glassavstanden. Et eksempel vises i fig. 6. Ved liten glassavstand er lydisolasjonen bare uvesentlig bedre enn for et enkelt glass. Først ved glassavstander på 10 cm eller mer får man et vesentlig tillegg.

Isolerglassfabrikantene oppgir jevnt over betydelig høyere lydisolasjonsevne for sine glass, til dels rene fantasiverdier opp til 60 db, uten å kunne referere til målinger utført ved offentlig institusjon. Slike undersøkelser foreligger imidlertid nå (10), (11), og konklusjonen er som ventet at den lufttette forseglingen av glassene ikke gir noen tilleggseffekt.

Ved alle de refererte undersøkelser gjelder de målte lydisolasjonsverdier for rene glasspartier bygget opp av fast monterte glass. Disse tall kan ikke uten videre benyttes for praktiske vinduskonstruksjoner. I alle vinduer som er beregnet på å kunne åpnes vil man nemlig

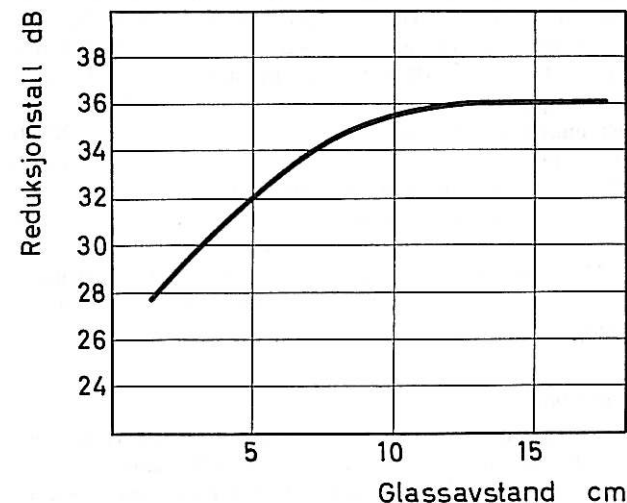


Fig. 6. Middelreduksjonstall for frekvensområdet 100 — 3200 Hz for to stk. 4 mm glass i forskjellige avstander.

ha fuger, og selv meget små fuger vil ha en meget ugunstig innvirkning på vinduets lydisolasjonsevne. En utettet fuge mellom ramme og karm vil således redusere vinduets lydisolasjonsevne betraktelig, og bruk av tettelister må betraktes som meget vesentlig. Og ved vanlige dobbeltvinduer vil luftingen av rummet mellom glassene føre til at lydisolasjonsevnen reduseres noe, bortimot den for enkelt glass. I praksis kan man regne med de i tabell III angitte verdier:

Tabell III. Middeldreduksjonstall for praktiske vinduskonstruksjoner.

Fast vindu med enkelt glass	ca. 27 db
Vanlig vindu med enkelt glass, med tetteliste	» 25 db
Vanlig vindu med enkelt glass, uten tetteliste	ca. 15-20 db
Vanlig dobbeltvindu med koblede karm, ca. 4 cm glassavstand, med tetteliste på indre ramme, lufting utad av luftrummet mellom glassene	ca. 28 db
Vanlig dobbeltvindu med koblede rammer, ca. 4 cm glassavstand, uten tetteliste	» 20 db
Vanlig dobbeltvindu med inn og utadslående rammer, ca. 10 cm glassavstand, med tetteliste på indre ramme, lufting utad av luftrummet mellom glassene	» 30 db
Vanlig dobbeltvindu med inn og utadslående rammer, ca. 10 cm glassavstand, uten tetteliste	» 25 db
Fast vindu med isolerglass	» 28 db
Vindu med isolerglass, med tetteliste	» 26 db
Vindu med isolerglass, uten tetteliste	» 20 db

Tallene i tabell III gjelder for 4 mm glass. Større glasstykkelse vil bare gi en mindre økning. Ved toglassvinduene vil man dessuten oppnå ytterligere en mindre økning ved å anvende forskjellig tykkelse på glassene, samt ved å bruke en lydabsorberende kledning langs kanten mellom glassene.

Som man ser av tabell III, vil vinduer med isolerglass ha noe lavere lydisolasjonsevne enn vanlige dobbeltvinduer i god utførelse. Forskjellen er imidlertid ikke vesentlig, spesielt om isolerglassvinduene lages faste. Litt anderledes blir det ved innvendige glasspartier, ved vinduer mellom rum med noenlunde samme rumfuktighet. Her kan man med god samvittighet lage alle vinduer faste og benytte to glass i stor avstand. Følgende tall er typiske for den lydisolasjon man kan oppnå:

Et enkelt 4 mm glass	27 db
To 4 mm glass i 10 cm avstand	35 db
To 4 mm glass i 10 cm avstand, med lydabsorberende foring rundt kantene	37 db
Isolerglass, 4 + 4 mm glass, 12 mm luftrum	28 db

Ved innvendige glasspartier vil altså to vanlige glass i stor avstand gi vesentlig bedre lydisolasjon enn isolerglass.

Slutning

For å summere opp konklusjonene av det vi har behandlet hittil, så er kvaliteten av selve isolerglassene nær knyttet sammen med kvaliteten av forseglingen av rutene. Man må her kunne stille meget strenge krav for å være sikker på å få et produkt med tilfredsstill-

ende levetid. Når det gjelder varmeisolasjon og kondens på innsiden av rutene, vil isolerglass være noe ugunstigere enn vanlige dobbeltvinduer. Også når det gjelder lydisolasjon, vil isolerglass være noe dårligere, skjønt forskjellen utjevnes igjen om isolerglassvinduene lages faste. Dette er tilsynelatende mye negativt for isolerglassene. Disse har imidlertid andre fordeler som ligger i dagen og ikke behøver være formål for videnskapelige undersøkelser. For det første har de bare to sider som behøver pusses, mens vanlige dobbeltvinduer har 4 sider og tredoble 6 sider. Dette kan være en økonomisk fordel ved bygninger hvor vinduspuss utgjør en vesentlig utgift på driftsbudsjettet. Isolerglass tillater videre forenklede vinduskonstruksjoner, idet man behøver en enkelt ramme mot ellers to eller tre. Spesielt gunstig blir det om vinduene med isolerglass lages faste. Man kan da sette glasset direkte inn i en enkel ramme (karm) og således oppnå en betydelig besparelse i selve vindusomkostningene. Samtidig vil problemet med trekk gjennom vinduet bli fullstendig eliminert, og når det gjelder vinduets lydisolasjon, vil man være mye sikrere på resultatet.

De virkelige fordelene med isolerglass er altså til dels helt andre enn hva fabrikantene fremholder. Dette kan i det lange løp føre til at isolerglassene kommer i miskreditt, og vi får derfor håpe at fabrikanter og forhandlere snarest mulig reviderer sine brosjyrer og sine salgsgargumenter slik at deres produkter blir satt i et riktig lys, norske forhold tatt i betraktning.

LITTERATUR

1. Alf Bastiansen: Isolerglass i norsk klima. Bygg, nr. 2, 1961, s. 29—36 (NBI særtrykk nr. 53).
2. Tore Gjelsvik: Tests with factory-sealed double-glazed window units. Publiseres i nær fremtid.
3. Tore Gjelsvik: Undersøkelse av kitt-typer og innsettingsmetoder for isolerglass. Bygg, nr. 10, 1960, s. 245—57 (NBI særtrykk nr. 50).
4. Tore Gjelsvik: An investigation of glazing sealers and installation methods for factory-sealed double-glazed units. Norges byggforskningsinstitutt, Rapport nr. 32, Oslo 1961.
5. W. Linke: Die Wärmeübertragung durch Thermopane-Fenster. Kältetechnik, Nr. 12, 1956, s. 378—84.
6. A. Krings und J. T. Olink: Wärmeübertragung durch Doppel- und Mehrfachscheiben mit dicht eingeschlossener Glasschicht. Glastechnische Berichte, Nr. 5, 1957, s. 175—82.
7. A. G. Wilson, K. R. Solvason and E. S. Nowak: Evaluation of factory-sealed double-glazed window units. Symposium on testing window assemblies. ASTM Special Technical Publication, No. 251, s. 3—18, 1960.
8. Ove Brandt: Ljudisolering hos fönster och glaspartier. Teknisk Tidskrift, 1954, s. 1129—33.
9. G. H. Aston: Sound insulation measurements on windows and on cavity brick walls. Physical Society, Acoustics Group Summer Symposium, «Noise and Sound Transmission», London 1949.
10. Undersøkelser utført av Dr. Paul H. Geiger, University of Michigan. Detaljer tilgjengelige hos Libbey. Owens. Ford Glass Company, Toledo 1, Ohio, USA.
11. Undersøkelser utført av Dr.-Ing. Eisenberg, Staatliches Materialprüfungsamt Nordrhein — Westfalen, Vest-Tyskland. Offentliggjort i Glastechnische Berichte, November 1961.

Innsetting av isolerglass

Av sivilingeniør TORE GJELSVIK, Norges byggforskningsinstitutt

Riktig innsetting av isolerglass er et problem som jeg allerede har behandlet flere ganger tidligere. Det gjaldt da vesentlig visse undersøkelser av kitt-typer og innsettingsmetoder for isolerglass som vi hadde utført ved Norges byggforskningsinstitutt's laboratorium i Trondheim. Å gå igjennom disse undersøkelsene ville imidlertid ta altfor lang tid, så vi skal her nøye oss med å trekke frem konklusjonene og de praktiske resultatene og supplere dette med endel stoff som stammer fra annet hold. De som måtte være spesielt interesserte, får da heller selv lese den fullstendige rapporten (1).

Bakgrunnen for disse undersøkelsene var visse vanskeligheter som man hadde hatt med de plastiske spesialkitt som foreskrives for innsetting av isolerglass. Man må imidlertid nå si at de grunnleggende problemer er avklart, og at vi kan gi anvisninger på riktig bruk av de forskjellige kitt-typer.

Et spørsmål som alltid dukket opp i forbindelse med de tidligere foredrag og diskusjoner var: «Hvorfor ikke bruke vanlig linoljekitt og på den måten unngå alle problemene med de plastiske spesialkitt?» Alle seriøse glassfabrikanter forbyr imidlertid bruk av linoljekitt til innsetting av deres isolerglass. For å forstå grunnene til dette må vi se litt på hva som gjør isolerglass så forskjellig fra vanlige glass.

Et vanlig enkelt glass er et stivt materiale. Det festes med linoljekitt og stifting eller glasslister, slik at det i hvert fall til å begynne med er festet og tett. Linoljekittet vil etter hvert tørke, hardne og sprekke, og kittingen har lett for å bli utett. Dette gjelder spesielt bunnfalsen, hvor vann lett kommer ned til og under kanten av glasset. Dette regnes imidlertid vanligvis som ufarlig, idet glasset som oftest vil holde, selv om vannet fryser. Hyppig omkitting av glasset blir dessuten akseptert som noe høyst normalt.

Isolerglassruter består av to eller flere glass med lufttett forsegling langs kantene og tørr luft mellom glassene. Hensikten med disse fabrikkforseglede enheter er å oppnå omtrent samme varmeisolasjon som ved vanlige doble, respektive flerdoble vinduer, samtidig som det ikke blir noen støvansamling eller duggdannelse mellom rutene, samt bare to flater som behøver pussing. Volumet av den innestengte luften i isolerglassene vil imidlertid forandre seg, avhengig av trykk og temperatur. En isolerglassrute vil følgelig blåses opp og trykkes sammen, alt etter som barometerstanden og rutens middeltemperatur varierer. Dette medfører igjen betydelige bøybevegelser i glasskantene, og disse bevegelser er så store at linoljekitt ikke vil klare dem uten å sprekke opp. Dermed vil vann kunne komme ned til forseglingen av isolerglassrutene og skade denne. Et flertall limte forbindelser vil svikte raskt om de blir stående under vann, med det resultat at rutene blir utette. Dessuten har man mulighetene for korrosjon og frostskaide. Det hårde kittet kan også i seg selv skade forseglingen eller resultere i sprukne glass. Tilsvarende skader kan man også få som et resultat av at rutene arbeider under vindpåkjenninger, ved vibrasjoner, samt at ruten og rammen går forskjellig ved vekslende temperatur.

Om nå isolerglassrutene blir utette, vil fuktighetsinnholdet i luften mellom glassene etter hvert øke, og man kan risikere å få kondens mellom glassene. Til å begynne med er det gjerne bare kondensflekker i hjørnene, senere kan det bli kondens over hele ruten. Om nå bare kondensen kom ved kaldt vær og forsvant igjen ved mildvær, var det kanskje ikke så farlig. Slik kondens i avstengte luftrum kan imidlertid lett føre til saltutslag fra glasset, såkalt scumming. Dette viser seg som et melkehvitt belegg og medfører at ruten vil være fullstendig spolert.

Mens et vanlig glass er et stykke dødt materiale, er altså en isolerglassrute en levende enhet som må settes inn slik at rutens forsegling ikke skades. Og for å unngå problemene ved linoljekitt, samt oppnå tilstrekkelig levetid for rutene, foreskriver isolerglassfabrikanterne at enhetene skal flyte i mykt kitt, uten direkte kontakt med rammen (karmen). For å oppnå dette må rutene settes inn med klaringer, samt varig plastisk eller elastisk kitt. Riktig innsetting er en forutsetning for garantien på rutene. Om man ikke følger fabrikanstens innsettingsforskrifter, bortfaller garantien automatisk. Garantitiden er normalt 5 år. Noen fabrikanter har diskutert å øke denne til 10 år, men selv dette er lite for et såpass kostbart produkt.

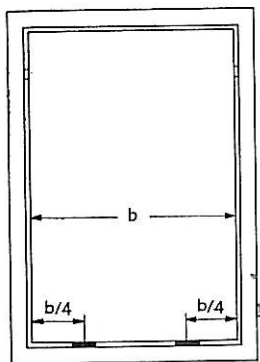
Bruk av bære- og støtteklosser

For å sentrere rutene i falsen og overholde de foreskrevne klaringer mellom rutens kanter og falsens bunn, må rutene klosses opp med bære- og støtteklosser.

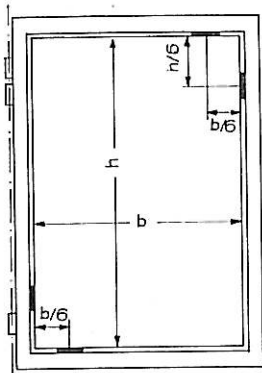
Bæreklossene skal ta opp det press som rutene utøver gjennom sin tyngde. Tidligere brukte man bæreklosser av tre. Nå brukes mest klosser av PVC-plast eller neoprengummi. Tre er nemlig et temmelig inhomogent materiale, slik at belastningen ikke alltid blir tilstrekkelig jevnt fordelt. Spesielt er kvister meget farlige. Om ikke treklossene er ordentlig grunnet og malt, vil de dessuten kunne suge til seg olje fra kittet med det resultat at kittet vil tørke, krympe og sprekke. Bæreklossenes lengde er normalt 7 — 10 cm, bredden 2 mm større enn rutens bredde og tykkelsen etter glassfabrikantens anvisninger, minimum 4 mm.

Støtteklossene opptar normalt ingen belastning, men skal hjelpe til å sentrere rutene i falsen, samt hindre rutene i å forskyve seg i glassets plan ved åpning og lukking av vinduene. Støtteklossene lages av samme materiale som bæreklossene, men er bare halvparten så lange. På grunn av toleransene i rutens og falsens dimensjoner må støtteklossene være 1 mm tynnere enn bæreklossene, om ikke rutene bestilles med tilsvarende større klaringer.

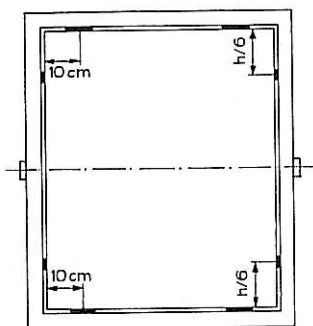
Det nødvendige antall bære- og støtteklosser vil være forskjellig for de forskjellige vindustyper, *fig. 1 a — f*. Om man betrakter glasset som en stiv plate, skulle bæreklossene vært plassert en femtedel av rutens bredde inn fra hjørnene for å gi minimum av spenninger i glasset. I praksis er det gjerne lettere å operere med en fjerdedel enn en femtedel, og 2 bæreklosser gir ingen vesentlig økning av spenningene i glasset. Den eksakte plassering av bæreklossene er således ikke kritisk.



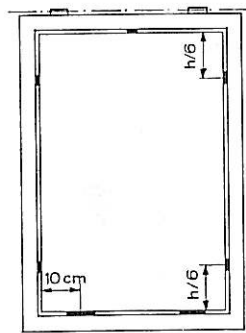
a. Fast vindu. Meget høye og smale ruter må ha støtteklosser øverst på sidene ($h/6$).



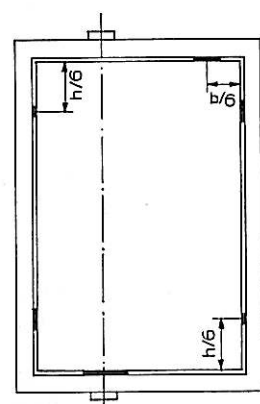
b. Sidehengslet vindu.



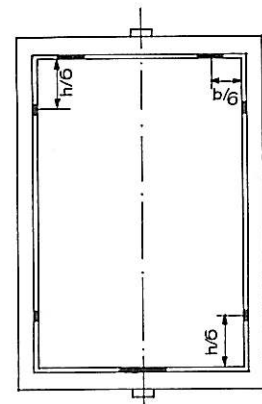
c. Horisontalhengslet svingvindu.



d. Topphengslet vindu.



e. Vertikalhengslet svingvindu.



f. Vertikalhengslet svingvindu.

Fig. 1. Oppklossing av ruter for vinduer av forskjellige typer. Lange klosser = bæreklosser. Korte klosser = støtteklosser.

To bæreklosser i fjerdedelspunktene passer for alle faste vinduer i rimelige størrelser og formater. Ved meget høye og smale ruter må man gjerne bruke bæreklosser med forskjellig tykkelse for å få sentrert ruten i falsen. Dessuten må man plasere to støtteklosser øverst på hver langside, fig. 1a, slik at man ikke risikerer at et av de øvre hjørnene av ruten blir liggende an mot falsen om vinduet skulle bli skjevt ved setninger i bygget. Ved meget store faste ruter må man også gjerne forandre plasseringen av bæreklossene. Store faste karmen er ofte meget spinkle, og om man bare slavisk plasserer bæreklossene i fjerdedelspunktene, kan man risikere at karmen bøyes opp eller ned på midten, alt etter hvor klossene mellom karm og vegg er plasert. Dette kan igjen føre til at ruten vil ri på midten eller henge på hjørnene slik at glasset vil sprekke. Ved slike vinduer bør bæreklossene for rutene plasseres rett over tilsvarende klosser i fugen mellom bunnkarmen og

veggen. Kjenner man ikke plasseringen av disse, må bæreklossene forskyves ut mot hjørnene av ruten, dog ikke nærmere enn ca. 10 cm. Dette er riktignok ingen god løsning, men bedre kan det dessverre ikke gjøres. Man burde sette mye inn på å propagandere for tilstrekkelig kraftig dimensjonering av bunnkarmen og riktig festing av karmen i veggen.

Også ved sidehengslede vinduer skulle man i prinsipp ha benyttet to bæreklosser i fjerdedelspunktene. I praksis må man imidlertid modifisere oppklossingen som vist i fig. 1b. Plaserte man bare to bæreklosser i fjerdedelspunktene, ville dette lett kunne føre til en kraftig deformasjon av rammen. Rammens frie side ville synke nedover, og det øvre hjørnet av glasset ville komme i klem. For å unngå at rammen deformeres, må ruten klosses med 4 bæreklosser plasert diagonalt. Dette er nærmest en nødløsning, idet ruten alltid vil være i klem, men noe annet er ikke mulig uten at rammene lages vesentlig stivere enn hva de er idag. Denne oppklossing kan uten videre benyttes for alle vanlige størrelser sidehengslede vinduer opptil en bredde på 100 cm. For enda større vinduer, f. eks. butikkvinduer som er sidehengslet for at man skal kunne ta inn store gjenstander den veien, bør man alltid konsultere glassfabrikanten.

Ved horisontalhengslede svingvinduer kan grunnregelen med to bæreklosser i fjerdedelspunktene bare benyttes på små og kraftig dimensjonerte vinduer. I de fleste tilfelle dreier det seg nemlig om store vinduer med så svake rammer at disse ville få en kraftig nedbøying på midten om bæreklossene ble plasert i fjerdedelspunktene. Herved ville glasset kunne bli hengende på hjørnene, samtidig som vinduet ville bli nesten umulig å få opp eller igjen. I praksis må man modifisere oppklossingen som vist på fig. 1c og forskyve bæreklossene ut mot hjørnene til ca. 10 cm fra kanten. Dette er igjen ingen god løsning, og det beste ville være å dimensjonere rammene slik at nedbøyningene ble redusert tilstrekkelig. Siden disse vinduer skal kunne vippe om for pussing, må man også ha to bæreklosser på toppen. Man bør ikke presse disse klossene inn slik at glasset kommer i klem, men heller velge ut den klossetykkelse som akkurat såvidt går inn uten bruk av makt. Støtteklossene på sidene skal, som tidligere nevnt, hjelpe til å sentrere ruten og hindre denne i å forskyve seg når vinduet åpnes og lukkes. Om svingaksen var absolutt horisontal, ville støtteklossene nærmest være overflødige, men så horisontal er den dessverre ikke i praksis. Heller ikke støtteklossene må presses inn slik at ruten kommer i klem.

For topphengslede vinduer vil oppklossingen, fig. 1d, ha mange likhetspunkter med den for horisontalhengslede svingvinduer. De to bæreklossene må også her som oftest forskyves ut mot hjørnene for å forhindre skadelige nedbøyninger. Den ene støtteklossen på toppen har ingen praktisk betydning når vinduet er i bruk. Den skal forhindre glasset i å forskyve seg under eventuell transport fra verksted til byggeplass, eller om rammen av en eller annen grunn skulle bli tatt ned.

Ved bunnhengslede vinduer bør bæreklossene komme rett over hengslene. Ellers blir klossingen som for topphengslede.

Ved vertikalhengslede svingvinduer, fig. 1e og f, benyttes bare en bærekloss plasert rett over svinghengslet. Denne ene klossen må til gjengjeld ha dobbel lengde, normalt 15 — 20 cm. Denne ene klossen må til gjengjeld ha dobbel lengde, normalt 15 — 20 cm. Dette oppnås lettest ved å sette to vanlige klosser inn til hverandre. Ved usymmetrisk plasert svingakse må ruten dessuten klosses med bæreklosser diagonalt, akkurat

som for sidehengslede vinduer. Ved symmetrisk plasert svingakse plasseres det gjerne to bæreklosser i toppen. Nødvendigheten av disse klossene har vært meget om-diskutert, men de gir i hvert fall en ekstra sikkerhet mot skadelige deformasjoner om bæreklossen ikke skulle komme akkurat over svinghengslet.

Kitt-typer

De kitt-typer som for tiden er aktuelle for innsetting av isolerglass, kan grovt inndeles i 3 hovedgrupper, nemlig plastiske kittmasser, plastiske kittbånd og gummielastiske fugekitt. De plastiske kittmasser kan videre oppdeles i plastiske vinduskitt, to-komponent plastisk kitt og plastisk fugekitt, slik at det ialt blir følgende 5 grupper:

1. Plastiske vinduskitt, de fleste markedsført under betegnelsen «termokitt». Disse kan betraktes som en direkte utvikling av linoljekittene, idet den hurtigtørkende linoljen er blitt byttet ut med ikke-tørkende og/eller bare delvis tørkende oljer. Kittene danner ganske raskt en overflatehinne som sinker den videre uttørring av kittet. Under hinne vil derfor kittet holde seg mykt i årevis. Plastiske vinduskitt anbringes vanligvis med kniv, men finnes også i sprøyte kvalitet.
2. To-komponent plastisk kitt. Disse er også oljebaserte. De blandes før bruken og har da omtrent samme bruksegenskaper som vanlige termokitt. Kittet danner overflatehinne på vanlig måte, men blir dessuten i løpet av et par uker betydelig fastere helt igjennom. Det blir imidlertid ikke helt hårdt, men forblir varig plastisk, dog med en betydelig fastere konsistens enn vanlige termokitt.
3. Plastiske fugekitt, vanligvis kalt mastics og levert i sprøyte kvalitet. Disse skiller seg fra de plastiske vinduskitt ved en betydelig kraftigere armering i form av fiberfyllstoffer eller høymolekylære stoffer (gummi). Som en følge herav blir de istand til å oppta betydelig større fugebevegelser enn de plastiske vinduskitt. Fabrikantene garanterer som oftest en bevegelse på 10 % av fugebredden, i enkelte tilfelle mer. Ved plastiske vinduskitt gis derimot i det hele tatt ingen sådan garanti. Plastiske fugekitt er som oftest hinnedannende.
4. Plastiske kittbånd. Dette er i virkeligheten fastere typer plastiske fugekitt levert i form av ferdige bånd. De har en klebrig overflate og leveres i ruller med en papir- eller plastfoliebeskyttelse på den ene siden.
5. Gummielastiske fugekitt har hittil vært fremstillet på basis av Thiokol polysulfider og har vært levert som 2- eller 3-komponent-stoffer. Basis-materialet er en tyktflytende pasta og resten herder, vanligvis en blyperoksydpasta. De forskjellige komponentene blandes i riktig forhold like før bruken. Den ferdige masse anbringes som oftest med kittsprøyte, har en brukstid på 1 — 8 timer og omdannes i løpet av 2 — 7 døgn til et gummielastisk produkt. Riktig brukt vil disse kitt-typer gi en gummielastisk tetning som hefter godt til de fleste materialer og tillater en fugeutvidelse på 50 — 100 % av fugebredden. De kan imidlertid bare brukes på rene og tørre flater og bare anbringes i et begrenset temperaturområde (+ 5 til + 40° C). Bruken begrenses videre av den høye pris.

Innsetting

Hittil er det plastiske kittmasser som har vært mest brukt til innsetting av isolerglass. Vanlig praksis var tidligere her i landet å sette inn glasset med full kitt-fals som vist i *fig. 2*. Glasset ble da klosset opp med bære- og støtteklosser, mens sidekittet bare ble trykket til noenlunde foreskrevet bredde. Det var altså ingen avstandsklosser som sikret sidekittet riktig bredde og hindret ruten fra å forskyve seg i falsen under vind-påkjenninger. Resultatet var selvsagt kittskader i form av utpressing av kitt, og ved våre forsøk ved Norges byggforskningsinstitutt viste det seg også at denne metoden var fullstendig ubruktbar. Nå bruker man derfor avstandsklosser i sidekittet, enten U-formede klosser som vist i *fig. 3*, eller flate klosser. Klossene er laget av PVC-plast eller neoprengummi. Lengden er 3 — 5 cm, høyden ca. 10 mm og tykkelsen lik sidekittets tykkelse. Hvor mange avstandsklosser det er nødvendig å bruke, vil være litt forskjellig for de forskjellige kitt-typer. Ved våre forsøk startet vi med to avstandsklosser på hver av glassets kanter og øket etter hvert.

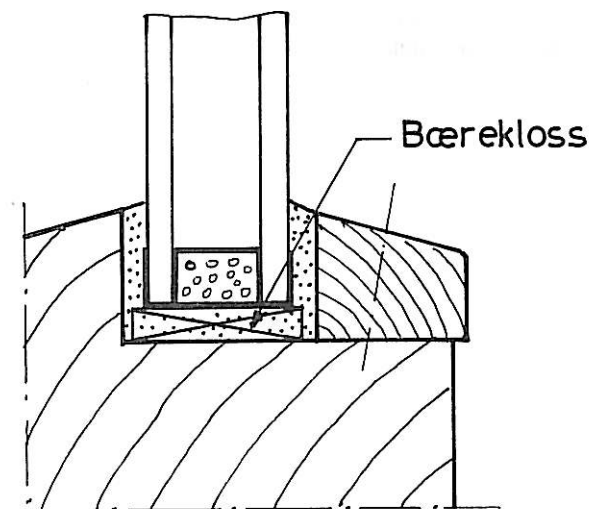


Fig. 2. Metode I. Isolerglass i plastisk kittmasse uten avstandsklosser.

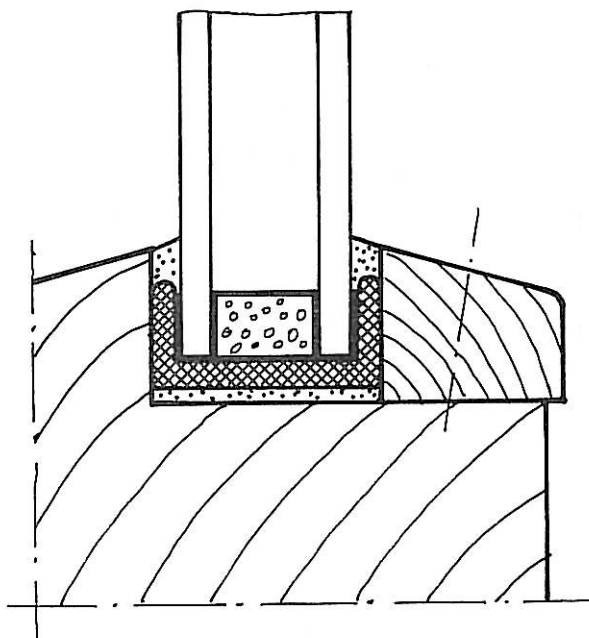


Fig. 3. Metode II — V. Isolerglass innsatt i plastisk kittmasse med avstandsklosser.

Denne siden av saken er således ganske godt undersøkt, og våre anbefalinger må sies å være godt underbygget.

De plastiske vinduskitt har vist seg å være jevnt over adskillig dårligere enn hva man har antatt. Endel typer har vist seg å bli så myke ved forhøyet temperatur at de vil flyte ut av falsen når solen steker om sommeren. Andre igjen har vist seg å være så utpreget tixotrope at de flyter når glasset arbeider under vindpåkjenninger. Og selv, de beste plastiske vinduskitt greide ikke å oppfylle våre krav. Når isolerglass innsettes med plastiske vinduskitt, anbefaler vi å bruke full kittfals som vist i fig. 3, med avstandsklosser i 30 cm innbyrdes avstand. Dessuten bør rutesørrelsen begrenses til maksimalt 1 m² i værharde strøk og 2 m² i mindre værharde strøk. Bruker man færre avstandsklosser og større ruter, kan man risikere kittskader. Generelt vil vi mane til forsiktighet.

Av to-komponent plastisk kitt finnes det for tiden to typer på det norske marked. Disse er begge fastere typer som kan ta større vindtrykk enn plastiske vinduskitt. Det nødvendige antall avstandsklosser er derfor adskillig mindre. Forsøk viser at det er tilstrekkelig med avstandsklosser i 80 cm innbyrdes avstand. Innsettingen blir imidlertid jevnere og bedre om man reduserer avstanden til 50 cm, og dette er også vår anbefaling. Avstandsklossene er forøvrig så billige at det ikke lønner seg å spare.

To-komponent plastisk kitt av de nevnte typer kan benyttes til alle rutedimensjoner, selv i de mest værharde strøk. Man kan enten sette inn med full kittfals, eller man kan bruke to-komponentkittet bare til sidekittet og et billigere produkt i bunnen, som vist i fig. 4. Antallet avstandsklosser blir det samme i begge tilfelle.

Ved innsetting med plastisk fugekitt benytter man også full kittfals. Det nødvendige antall avstandsklosser vil avhenge av hvilke fugebevegelser kittet kan klare, samt av de aktuelle vindpåkjenninger på stedet. I værharde strøk passer det å plasere avstandsklossene med 40 cm innbyrdes avstand for plastiske fugekitt som er garantert til å klare en bevegelse på 25 % av fugebredden. Ved fugekitt som bare klarer 10 % bevegelse må avstanden reduseres til ca. 30 cm. I mindre vær-

harde strøk kan avstanden økes noe, dog helst ikke over 50 cm. Fig. 5 viser et eksempel. Noen begrensning i rutesørrelsen er ikke nødvendig. Fugekitt som ikke har noen garantert fugebevegelse, må klassifiseres som plastisk vinduskitt.

Ved plastiske kittbånd legges et bånd på hver side av glasset, som vist i fig. 6, uten bruk av spesielle avstandsklosser. I bunnfugen sprøytes et plastisk fugekitt. Kittbåndet fungerer selv som en kontinuerlig avstandskloss, og det er i praksis ikke mulig å benytte ekstra avstandsklosser. Til denne innsettingsmetode kan man bare benytte ekstra myke typer kittbånd, samt isolerglass uten kantbeskyttelseslist. Ved andre produkter er det ikke mulig å få innsettingen ordentlig tett. Det er fordelaktig om glasslistene er utformet slik at de gir bra press mot glasset og kittbåndene. Kittbåndene må efterglattes om innsettingen skal bli pen. Ruteformatet bør begrenses til 1 m² i værharde strøk og 2 m² i mindre værharde strøk.

Gummielastiske fugekitt kan teknisk sett godt brukes til innsetting av glass i full kittfals. De eneste

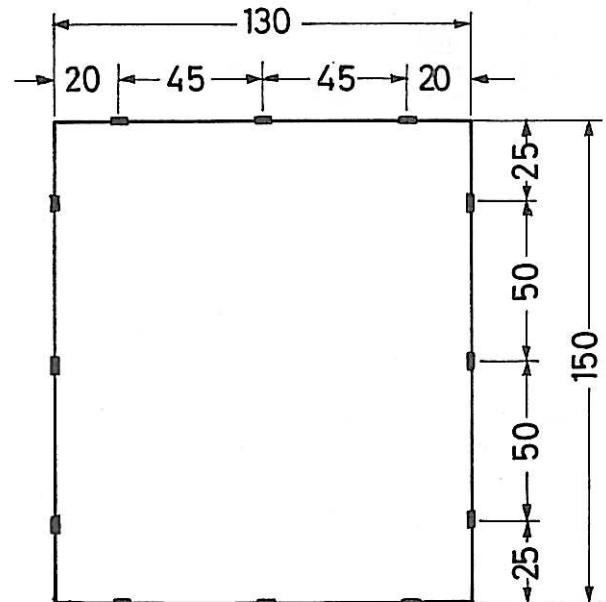


Fig. 5. Innsetting av avstandsklosser ved isolerglass innsett med plastisk fugekitt i mindre værharde strøk.

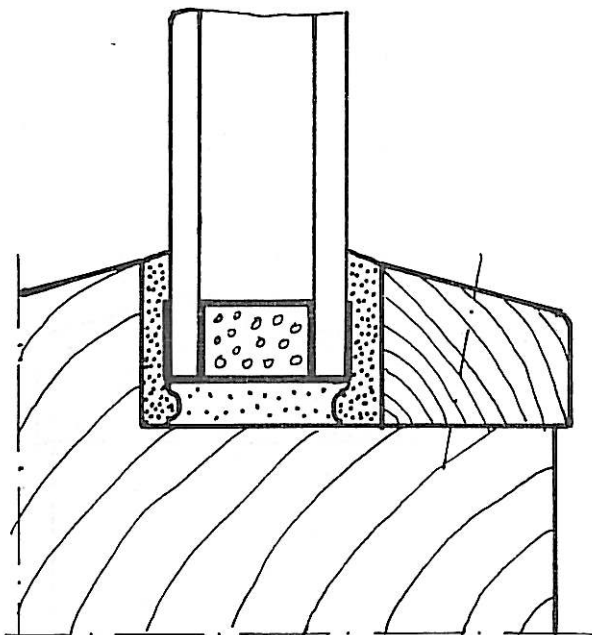


Fig. 4. Isolerglass innsett med to-komponent plastisk kitt i sidefugene og termokitt i bunnfugen.

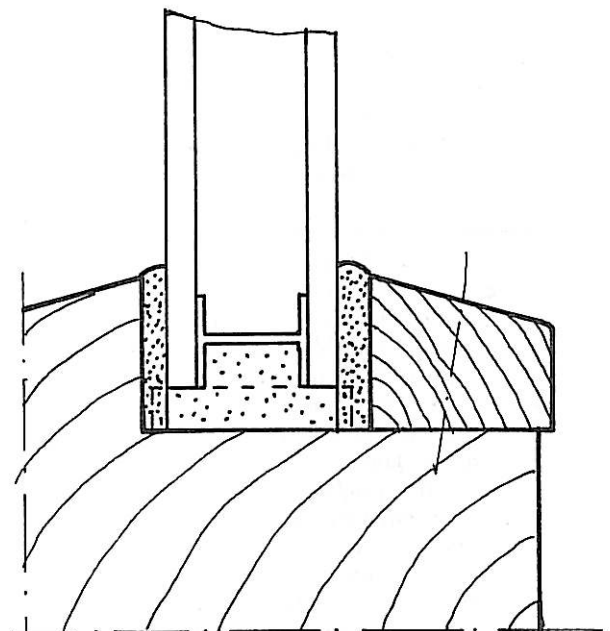


Fig. 6. Isolerglass innsett med plastiske kittbånd.

metoder som er økonomisk forsvarlige er imidlertid forseglinger i form av ensidig toppforsegling, tosidig toppforsegling eller bunnforsegling. Det finns her en rekke kombinasjonsmuligheter, og et par av disse vises i fig. 7 — 8. Ved den ensidige toppforseglingen i fig. 7 anbringer man først den selvklebende butylgummilisten, setter så inn glasset med et billigere plastisk kitt i bunnfugen og den andre sidefugen og anbringer til slutt toppforseglingen over støttelisten. Brukes det plastisk kittmasse, må det også brukes avstandsklosser for å sikre sidekittet riktig bredde.

Ensidige toppforseglinger må alltid plaseres på utsiden av glasset. Det viser seg nemlig i praksis at de fleste gummielastiske fugekitt løsner fra glasset om de plaseres på innsiden, slik at de blir utsatt for solstråling gjennom glasset. Selv ved en toppforsegling på utsiden viser det seg at mange typer løsner i kanten mot glasset. Ensidig toppforsegling må derfor anvendes med den aller største forsiktighet. Best er det å kombinere denne med et kittbånd på innsiden av glasset. Ved ensidige toppforseglinger kan de hårdere typer gummielastiske fugekitt med en Shore A-hårdhet på ca. 50 benyttes til alle rutestørrelser, selv i værharde strøk. For de mykere typer med en Shore A-hårdhet på ca. 20 bør rutestørrelsen begrenses til ca. 1 m² i værharde strøk og ca. 2 m² i mindre værharde strøk om man har en plastisk kittmasse på innsiden av glasset. Benytter man derimot et kittbånd på innsiden av glasset, kan også de myke typer benyttes til alle rutestørrelser selv i værharde strøk.

Tosidige toppforseglinger kan benyttes til alle rutestørrelser, også i værharde strøk. Både harde og myke typer er brukbare, men de mykere typer er gjerne å foretrekke.

Hittil har vi bare omtalt de mest typiske anvendelsesmåter for de forskjellige kitt-typer. Det er mulig at det i fremtiden kan komme frem andre innsetningsmetoder som kan være bedre og billigere. En tenkbar mulighet som har beskjefteget NBI endel er vist i fig. 9. En U-formet elastisk plast- eller gummilist med en Shore A-hårdhet på 40 — 50 klemmes eller limes på glasset. Dette settes så inn med vanlige antall bæreg- og støttelister, mens listen i seg selv fungerer som en kontinuerlig avstandskloss på begge sider av glasset. Etterat glasslistene er festet, anbringes en toppforsegling av et plastisk eller gummielastisk fugekitt på begge sider av glasset. Det er fordelaktig om plast- eller gummilistene skjotes i hjørnene, men dette er ikke absolutt

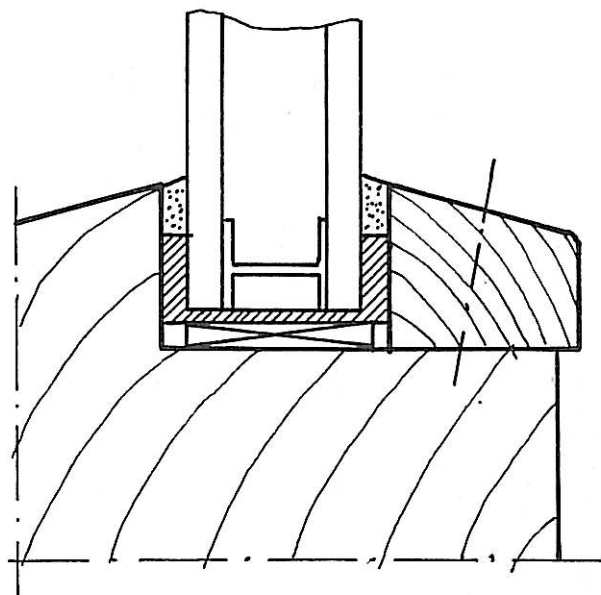


Fig. 9. Isoleringsglass innsatt i plast- eller gummilist med en toppforsegling av plastisk fugekitt.

nødvendig. Listene kan like godt utføres med åpne skjoter i hjørnene, og disse heller tettes med samme type fugekitt som brukes til toppforseglingene. Ved utvendige glasslister må også kantfugene tettes mot vanninntrengning. Denne innsetningsmetode skulle kunne brukes til alle rutestørrelser, også i værharde strøk. NBI har hittil prøvet metoden med to forskjellige plastiske fugekitt med godt resultat.

Alle de omtalte oppklossings- og innsetningsmetoder gjelder strengt tatt bare for innsetting i ramme eller karm av tre. De skulle også uten videre kunne benyttes til metallvinduer av mer moderate formater. Ved store metallvinduer, og da spesielt aluminiumvinduer, må imidlertid flere av de viste detaljer modifiseres. Vanskelighetene ved store aluminiumvinduer ligger i den store forskjellen i lengdeutvidelseskoeffisienten mellom glass og aluminium. Om man setter inn på vanlig måte uten å tenke seg om, kan man risikere at ruten plutselig kommer så mye i klem at glasset sprekker. NBI håper med tiden å kunne gi ut et nytt byggedetaljblad om innsetting i metallvinduer i tillegg til det som allerede finnes for trevinduer (2).

Når man benytter flere forskjellige materialer til innsetting av en rute, må man alltid undersøke om disse går godt sammen og ikke angriper hverandre. Et typisk faremoment har man ved bæreg-, støtte- og avstandsklosser av gummi, som lett vil kunne absorbere olje fra visse kitt-typer med det resultat at klossene sveller og mykner. Det er heller ikke uten videre gitt at to forskjellige kitt-typer ikke vil angripe hverandre. Det beste er å konsultere kittfabrikantene.

Utvendige glasslister må alltid være skradd slik at vannet renner av. Likeledes er det meget viktig at sidekittet jevnes slik at det skrår ut fra glasset.

En annen viktig detalj gjelder falsens dimensjoner og overdekningen av den metalliske forbindelsen mellom glassene. Denne metallforbindelsen utgjør jo en effektiv kuldebro, og om overdekningen er for dårlig, risikerer man ubehagelig kondens og isdannelse langs rutens kanter. NBI anbefaler her en minimum overdekning på 2 mm for ruter uten kantbeskyttelseslist og 4 mm for ruter med kantbeskyttelseslist, som vist i fig. 10. Avstandsklossene i sidekittet bør likeledes alltid ha minimum 5 mm overdekning.

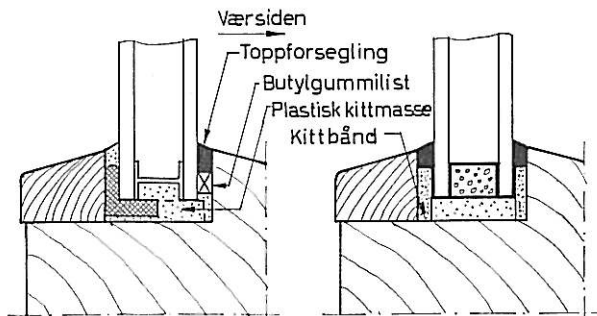


Fig. 7. Ensidig toppforsegling. Plastisk kittmasse i bunnfugen og den motsatte sidefugen. Halve avstandsklosser i den plastiske kittmassen.

Fig. 8. Tosidig toppforsegling over kittbånd.

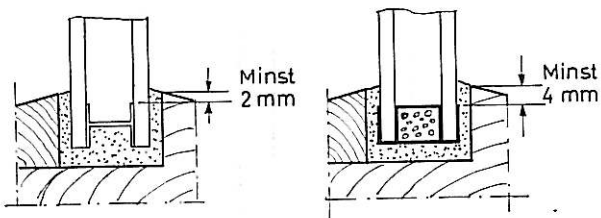


Fig. 10. Minimum 2 mm overdekning av den metalliske forbindelse mellom glåssene for ruter uten kantbeskyttelseslist, og minimum 4 mm for ruter med kantbeskyttelseslist.

Til slutt noen ord om grunning og annen forbehandling av falsar og glasslister. Dette er et punkt hvor det hittil har vært syndet meget. Porøse materialer, slik som tre, vil nemlig lett kunne suge til seg olje og andre flytende bestanddeler fra kittet om flatene ikke er ordentlig porelukkert. Hvilken grad av forbehandling som er nødvendig vil være forskjellig for de forskjellige kitt-typer. For de billigste og mest anvendte typer plastiske vinduskitt må alt treverk være fullstendig porelukkert. Dette oppnås lettest med et strøk plastlakk, men en slik lakk kan bare benyttes om kittet har tilstrekkelig adhesjon til lakken. Har den ikke det, må man i stedet benytte vanlig grunning og minst ett strøk maling (helst to strøk). En ting som bør bemerkes i denne forbindelse er at vanlig impregnering

ikke gir noen vesentlig porelukkning og derfor ikke kan erstatte grunning og maling som underlag for kitting. For plastiske fugekitt av høy kvalitet er det ofte ikke nødvendig med noen slags grunning i det hele tatt. Det samme kan være tilfelle med plastiske kittbånd og gummielastiske fugekitt. Ved disse kan man i stedet bli nødt til å bruke en primer for å oppnå tilfredsstillende adhesjon til porøse flater.

Noen generelle retningslinjer for forbehandling av falsar og glasslister kan således ikke settes opp, og saken må bedømmes særskilt for hver enkelt kitt-type. Når glasshåndverkeren kommer på en ny jobb, bør han alltid undersøke om grunningen er i orden. Og er den ikke det, bør han si fra at det ikke er klart, og ikke slik som nå bare gå igang for å få jobben unna. Det beste ville faktisk være om arbeidet med forbehandling av falsene kunne overføres fra maleren til glasshåndverkeren. Han kunne da kanskje også gå over vinduene ca. en uke etter innsettingen og gi alle oljebaserte kitt et beskyttende strøk med maling, noe som ville øke innsettingens aldringsbestandighet betraktelig, spesielt for de plastiske vinduskitt.

LITTERATUR

1. Tore Gjelsvik: Undersøkelse av kitt-typer og innsettingsmetoder for isolerglass. BYGG, nr. 10, 1960, s. 245—57. (NBI særtrykk nr. 50).
2. Byggdetaljblad, NBI (31). 202, Oslo 1961.

