

# Fugeutforming og slagregn- gjennomgang

Av arkitekt MNAL TRYGVE ISAKSEN,  
Norges byggforskningsinstitutt

NORGES BYGGFORSKNINGSINSTITUTT



sq 624.078: 620.198.19

J

3er

# Fugeutforming og slagregngjennomgang

Av arkitekt MNAL TRYGVE ISAKSEN, Norges byggforskningsinstitutt

## 1. INNLEDNING

Norges byggforskningsinstitutt har arbeidet med fuger i yttervegger i mange år, og har i omtrent like mange år visst hvordan en fuge teoretisk skal kunne lages tett mot regn og storm. Tettesystemet skal, regnet utenfra, helst bestå av: En regnsperre, et ventilerert og drenert luftrom og et vindtett skikt; se *fig. 1*,

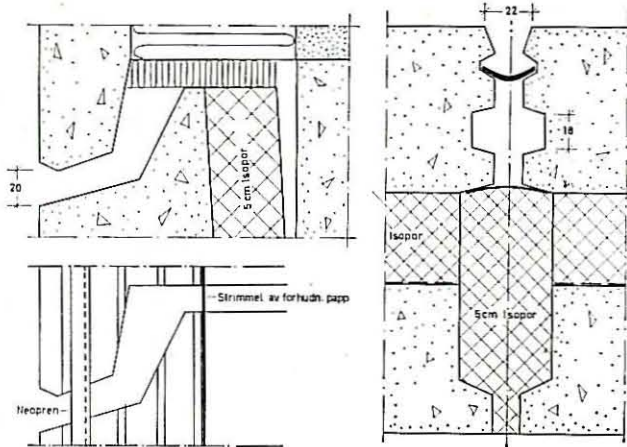


Fig. 1. Fuger mellom norske betongelementer. T. h.: Lukket vertikalfuge. T. v.: Åpen horisontalfuge.

som viser en lukket fuge. Et slikt tettesystem opptar en del plass i dybden, og det kan være vanskelig å lage små riller og kanter i enkelte materialer.

Det er klart at det er en fristende oppgave å prøve å finne ut hvor grunn en slik fuge kan gjøres og likevel være tett. Men det er enda mer fristende å finne ut hvor grunn en åpen fuge kan gjøres. Til venstre på *fig. 1* vises en åpen horisontalfuge i betong.

Gir vi oss i kast med en slik oppgave, oppdager vi snart at vi blir pent nødt til å finne ut hvor stor hver del av fugen må gjøres for å motstå slagregn og nedsilende vann, og at vi hele tiden må vite hvor mye luft som går gjennom fugen.

Nå har vi som regel både horisontale og vertikale fuger i en vegg, og vi har hjørner og fugekryss. Når vi så gang på gang har fått vanngjennomslag i fugekryss eller hjørner uten å kunne skylde bestemt på en av fugene, er det klart at vi blir nødt til å undersøke en fuge ad gangen. Hjørner og fugekryss må da vente til vi vet mer om selve fugene. Vi har følgelig valgt å gjøre modellforsøk med den åpne, horisontale fugen først.

I denne artikkel vil vi først behandle resultatene fra modellforsøk med fuger i tre og betong, fortsette med utluftede kledninger av steinplater og til slutt vise noen typiske eksempler fra fuger i praksis.

## 2. HVILKE FAKTORER VIRKER

### PÅ HORISONTALFUGENS TETTHET MOT SLAGREGN OG NEDSILENDE VANN?

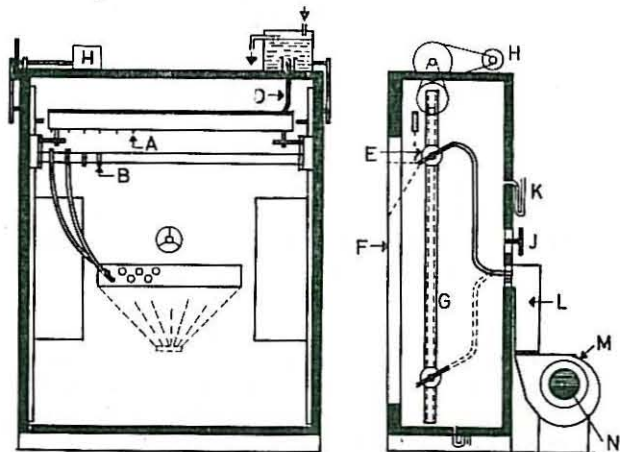
Vi må regne med:

- Vindens hastighet og retning, vindtrykket over fugen, slagregntintensitet og husets høyde, alle sett i relasjon til luftlekkasjene i fugen,

- Hvor lenge uværet står på,
- Fugens form,
- Fugeflatenes evne til å ta opp vann og lede vann som trenger innover,
- Om tettemiddelet suger vann eller ikke,
- Veggens utforming utenfor fugen.

Ad a)

De ytre krefter, vind og slagregn, er vel umulig å etterligne riktig i et kunstig slagregnapparat, og vårt er ikke fullkomment. Slagregnapparatet er vist i *fig. 2*, i dette har vi undersøkt både modellfuger, vinduer og fasadeelementer.



- A Vannrenne med dråpedyser
- B Luftdyser
- C Regulerbar blåseventil
- D Gummislange
- E Friksjonsskive for reg. av vinkel
- F Prøvestykke
- G Kjedetrek
- H El. motor
- J Reguleringsventil
- K Manometer
- L Fordelingskammer
- M Vifte
- N Spjell
- O. Inspeksjonsvindu

Fig. 2. NBI's slagregnapparat, prinsippsskisse. Rør med dyser for påføring av nedsilende vann henger vanligvis øverst i åpningen foran prøvefeltet.

Viften er en mellomtrykksvifte, den kan gi en vindhastighet = 42 m/sek. mot et overtrykk = 110 mm vannsøyle. Den kan gi maksimum overtrykk i skapet på ca. 150 mm VS, men da er vindhastigheten utenfor blåserne så liten at regndråpene ikke når frem til forsøksfeltet.

Det er ikke mulig å skape virkelig kraftig vind oppover eller nedover, langs forsøksfeltet. Vi vet at vinden oppover langs en vegg kan bli meget kraftig.

Vi kan lage bygevind når vi åpner og lukker spjeldet på luftinntaket. Bygevind er brukt i noen tilfeller, vi har variert vindhastigheten mellom 15 og 42 m/sek. og laget 6—7 byger pr. minutt.

Nedsilende vannmengder blir vanligvis regulert i trinn på 40, 70 og 100 l/m · h.

Hva tilsvarende så påkjenningene?

Foredrag holdt i NBI's åpne foredragsserie på Blindern, april 1964.

Slagregn 10 l/m<sup>2</sup>h i storm på Vestlandet skaper rene flommen nedover litt høye hus, og stormkastene flerrer opp vannstrømmen til fråde oppefter veggene. Spruten står langt ut fra veggen.

Kjører vi bil mot stø vind på 33 m/sek., vil vi ha følelsen av å fly, fjærene er slake selv i en tung Mercedes. Vi klarer kanskje å holde oss på bena om vi går ut av bilen. Nå er 33 m/sek. noe høyere enn den midlere hastighet i sterk storm/orkan, men det er målt opptil 80 m/sek. i stormkast på Andøya. Omsatt i direkte trykk på veggen, er dette 400 kg/m<sup>2</sup> (eller 400 mm VS). I slikt vær kan tak rives av hus, og hus løftes av grunnmuren om de ikke er godt forankret.

Vi kan slå fast at vi ikke har krefter nok til å prøve fuger for Andenes. Likevel har vi, som bekjent, laget bra vinduer for Fyrvesenet etter prøver i vårt slagregnskap, se fig. 3. At dette har lyktes, kommer av

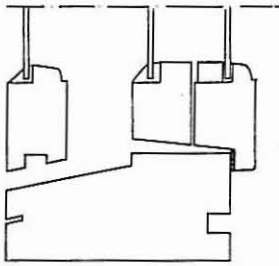


Fig. 3. Fyrvesenets vindu, vertikalsnitt gjennom nedre samling. (Fugen mellom ramme og karm regnes i omtalen = karmens dybde).

at vi med vårt mindre, konstante trykk greier å holde visse fuger fulle av vann. Hadde vi kjørt med varierende trykk, ville de samme fugene fått anledning til å slippe ut vannet mellom stormkastene. I det øyeblikk vi greide å lage indre del av fugen noenlunde lufttett, og den ytre delen av den så åpen og så lang at vannet hverken greide å forbinde fugeflatene eller å nå lufttetningen, spilte det mindre rolle om vinden var 80 m/sek. i kast eller 33 m/sek. konstant. Likevel har vi nå fått en høytrykksvifte som skal kunne gi vindhastigheter på 50 m/sek. mot overtrykk på 156 mm.

Nedsilende vannmengder på 100 l/m · h er i virkeligheten små. Hvis hele veggen treffes av 10 l/m<sup>2</sup>h, er 100 l/m · h bare det som samles opp på en 10 m høy vegg.

Ad b)

Uvær kan vare i flere døgn. For våre modellforsøk spiller varigheten en rolle hvis vannet i større og større mengder kan lagre seg opp foran terskler og oversvømme dem etterhvert, eller hvis regnvannet rekker frem til en porøs tetteliste som suger vann.

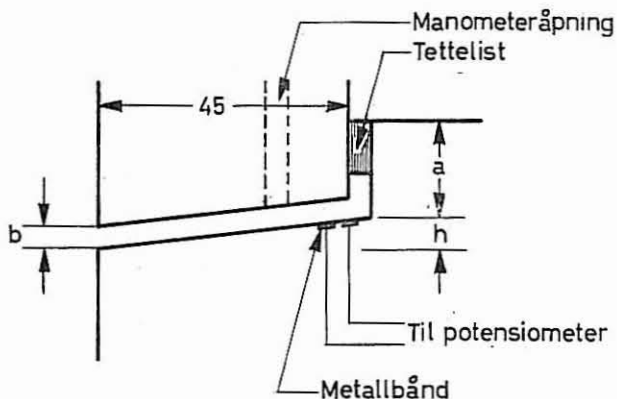


Fig. 4. Elektrisk «vannføler»-system installert i trefuge.

Vi bruker vanligvis 5 timers påkjønning, men skulle vi ha noen chance til å gjennomføre modellforsøkene, måtte prøvetiden kuttes så langt ned som overhodet mulig. Vi har derfor laget oss et «vannføler-system» (se fig. 4), som består av flatvalsede metalltråder med forskjellig elektrisk potensial. Trådene er felt med i fugeflatene med avstand ca. 1 mm. Når trådene forbindes med et skrivende potensiometer, vil vandrdåper over trådene sette i gang en strøm som vil bli registrert på potensiometeret. Vi skulle da greie å måle i tid hvor mye bedre en terskel eller en helning er enn en annen.

### 3. MODELLFORSØK MED FUGER I TRE

#### Forsøksanordning

Fig. 4 viser trefugen vi har undersøkt, i fig. 5 er det

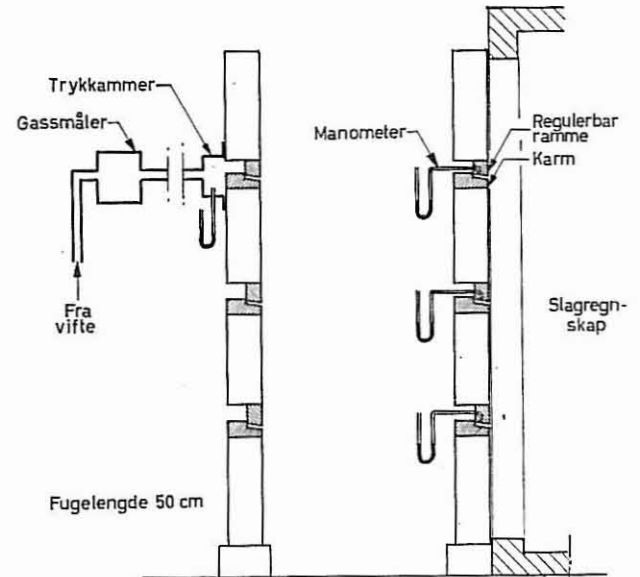


Fig. 5. Forsøksfelt med 6 fuger i tre. T. v.: Luftgjennomgang innstilles. T. h.: Feltet innsatt i slagregnskapet.

lufttette maskeringsfeltet med 6 fuger gjengitt i to stadier:

- 1) luftgjennomgangen innstilles på bestemt nivå for gitte overtrykk og
- 2) feltet innsatt i slagregnskapet.

Fig. 6 viser utsiden av prøvefeltet, i bakgrunnen ser man potensiometeret som registrerer vanninntrengning i fugene.

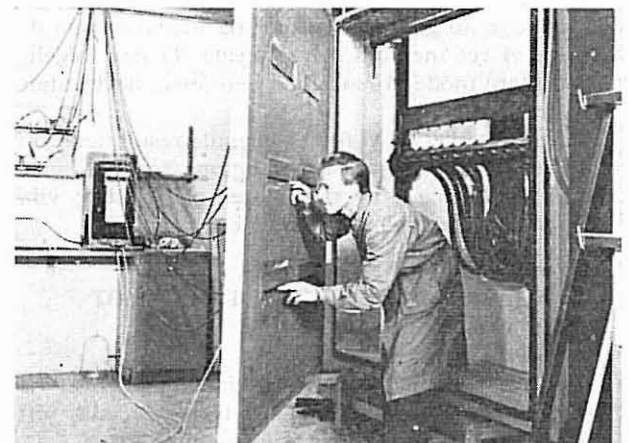


Fig. 6. Verkmester Larsen kontrollerer fugene. Potensiometer for vannregistrering i bakgrunnen.

### Forsøksprogram

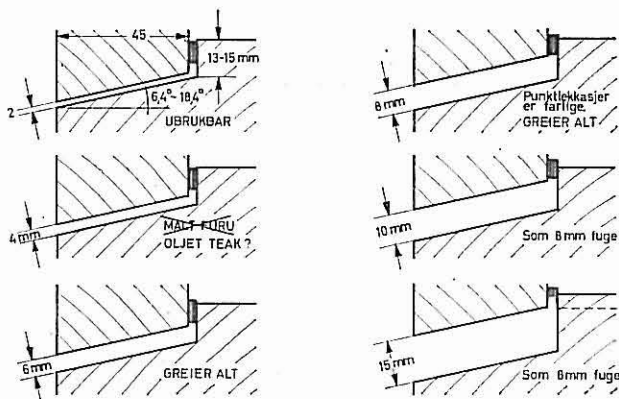
Vi har variert følgende faktorer (se fig. 4):

- 1) Åpningsbredde (b) mellom 0 og 15 mm,
- 2) Helningen  $\frac{h}{d}$  mellom 1:3 og 1:9, dybden har hele tiden vært konstant = 45 mm (+ tykkelse av tetteliste),
- 3) Luftlekkasjene regulert i trinn = 0.5—1.0—2.0—3.0—5.0—8.0 og 10 m<sup>3</sup>/h pr. løpemeter fuge og under overtrykk = 70 mm VS,
- 4) Slagregnmengdene har for det aller meste vært 10 l/m<sup>2</sup>h, men i et par forsøk er 60 l/m<sup>2</sup>h brukt for å se om det er store mengder nedsilende vann eller voldsomt slagregn som er farligst for fugene,
- 5) Nedsilende vannmengde er regulert i trinn på 40, 70 og 100 l/m · h.

### Hovedresultater og konklusjoner

Fig. 7 gir hovedresultatene. Maksimale påkjenninger er: Slagregn 10 l/m<sup>2</sup>h, nedsilende vann = 100 l/m · h og vindtrykk = 70 mm VS.

Fig. 7. Hovedresultater for horisontale fuger i treverk.



1. Fugebredde = 2 mm: er ubruktbar i nåværende utforming hvis ikke flatene impregneres med vannavstøtende midler. Slike midler er neppe holdbare i trefuger.
2. » = 4 mm: Når fugeflatene er oljemalt furu, fylles de av større mengder nedsilende vann (50—60 l/m h) når luftlekkasjene er ca. 4 m<sup>3</sup>/h m, men ikke av slagregn 60 l/m<sup>2</sup>h. Når fugeflatene er oljet teak, holder fugene stand mot maks. påkjenninger (sl.regn 10 l/m<sup>2</sup>h, nedsil 100 l/m h) i 5 timer.
3. » = 6 mm: Synes å klare maks. påkjenninger selv ved luftlekkasje = 8 m<sup>3</sup>/h m ved  $\Delta p = 70$  mm VS. Helninger mellom 18,4° og 6,3° ser ut til å gi samme resultater.
4. » = 8—10—15 mm: Når fugeflatene er oljet teak, tåler fugene ved luftlekk. = 9—10 m<sup>3</sup>/h m ved  $\Delta p = 70$  mm VS maks. påkjenninger i 5 timer (sl.regn 10 l/m<sup>2</sup>h, nedsil 100 l/m h) uten gjennomslag forutsatt at underkant av tetteliste ikke ligger så langt nede at den flukter med øvre fugeflate.

Slagregn blir naturlig nok farligere enn nedsilende vann dess åpnere man gjør den horisontale fugen. Når luftlekkasjene er så store som 9—10 m<sup>3</sup>/h m ( $\Delta p = 70$  mm VS), kommer det mye vann inn på anslag for tetteliste både via øvre og nedre fugeflate (b = 8—10—15 mm).

Mengden ser ut til å være noe avhengig av helningen, det er tydelig at der er mer vann innerst på fugeflatene på helning 1:9 enn det er på 1:3.

Konsentrerte luftlekkasjer (punktlekk) er farlige for 8—15 mm fuger.

Senker vi tettelisten til flukt med øvre fugeflate, får vi gjennomslag ved b = 8—10—15 mm omtrent med det samme vi setter i gang med slagregn 10 l/m<sup>2</sup>h, nedsil 100 l/m · h og luftlekkasje 9—10 m<sup>3</sup>/h m fuge.

Forsøkene bekrefter noe vi egentlig har visst lenge: Sjalter man ut virkningen av den vertikale fuge): lager man vertikalfugen slik at regnet stoppes meget langt ute i den, fordres det ikke meget av den horisontale fuge.

Vi har her ikke tatt med oppadrettet vind, og må prøve å tenke oss hvordan den virker. Vi vet at den kan splitte opp den nedsilende vannstrømmen og delvis drive den over til siden slik at den følger vertikale ledd nedover. Vi har sett at vinden kan rive løs vanndråper fra slette veggen og hive dem oppover som rene sjødrevet. Hvor høyt dråpene rekker, vet vi dessverre lite om; på et høybygg i Oslo fikk jeg imidlertid vann fra hengestillaset jeg sto på opp i ansiktet, og andre dråper før videre oppover. Vindstyrken var neppe større enn laber bris (5—7 m/sek.) den dagen.

Der den oppadrettede vinden er sterkest, ved toppen av veggen, vil overtrykket over veggen neppe være stort. Det er da vindens, og dermed dråpenes hastighet, som er farlig for de horisontale fuger her oppe. Hvis vi nå under vinduene har utstikkende sålbenker, skulle vinden ikke være farlig for bunnfugene. Mangler sålbenker eller utstikk, er det viktigst å hindre dråpene i å treffe eller overbrygge tetteliste eller fugekitt. I vår enkle trefuge med bredder 6—15 mm er det da tilstrekkelig å flytte opp tettelisten ca. 5 mm fra øvre fugeflate. Vi er altså mest redde for vann som følger øvre fugeflate så lenge vi har en vanntett terskel i bunnen av fugen.

Er der store luftlekkasjer i fuger i praksis? Vi har

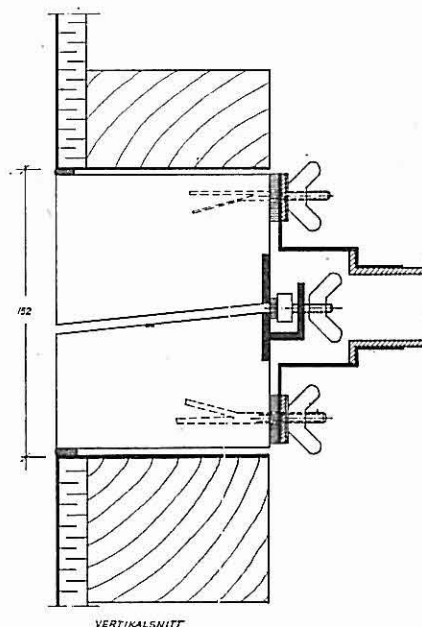


Fig. 8. Vertikalsnitt gjennom betongfuge. Utside til venstre.

ingen tall, og selv om vi nok har kjent trekk i enkelte nye høyhus, er det vel riktig å anta at lekkasjene normalt ligger under halvparten av våre maksimale  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  pr. m fuge. Forsøksresultatene sier da at slagregngjennomgang i praksis mer skyldes dårlig fugekonstruksjoner enn svikt i tettemiddelet.

#### 4. SLAGREGNFORSØK MED ENKLE, HORIZONTALT FUGER I BETONG

Fig. 8 viser et snitt av fugene. Forsøksbetingelsene var: Fugenes bredde ble variert mellom 2 og 6 mm, fugeflatenes helning var enten  $11^\circ$  eller  $6^\circ$  (omtrent som i de slakeste trefugene. Fugedybden var 11 cm, tettelistene ble presset mot indre åpning slik at luftlekkasjen ble maksimalt  $1 \text{ m}^3/\text{h}$  pr. m fuge under overtrykk = 30 mm VS (vindhastighet ca. 21 m/sek.). Slagregn ble ikke brukt, bare nedsilende mengder vann = 40, 70 og 100 l/m h.

Hensikten med forsøkene var å finne:

- om finstøpte og normalstøpte fugeflater har forskjellig vannledende evne,
- om en vannavstøtende impregnering av fugeflatene effektivt hindrer vann i å trenge inn i fugene.

Hovedresultatene var:

- Den finstøpte betongen (støpt mot Respatex) ledet vannet mye dårligere enn den normalt støpte (man bør altså lage glattest mulig betong i horisontalfuger),
- Silikonimpregneringen (bare 1 impregn. ble undersøkt) var svært effektiv så lenge den varte, selv i fuger med 2 mm bredde. Silikon ble fort vasket vekk av finstøpte flater,
- For dybden 11 cm var 1:10 for dårlig helning, mens helning 1:5 ikke ga gjennomslag,
- Større mengder nedsilende vann forbinder øvre og nedre fugeflater opptil 4 mm fugebredde,
- Fugeåpning = 4 mm og mindre bør følgelig ikke brukes for så enkel utforming. Skulle imidlertid 4 mm være nødvendig i noe tilfelle, må helningen være minst 1:5, og fugeedybden for ubehandlet, finstøpt betong være minst 7 cm, og for ubehandlet, normalstøpt betong minst 9 cm. Vi har forutsatt at fugeflatene er parallelle uten terskler eller riller av noe slag, og at vannet ikke kan trenge inn via den vertikale fugen.

#### Kommentarer

Påkjennningene var forholdsvis moderate og fugene var meget godt tettet. Fugeflatenes helninger var til gjengjeld små. Det står mange forsøk igjen før betongfugen er tilstrekkelig utredet, men det er allerede nå fristende å spå at det ikke er vanskelig å lage horisontalfuge i betong heller så lenge vannet ikke trenger inn via vertikal fugen.

#### 5. SLAGREGNFORSØK MED UTLUFTET FASADEKLEDNING AV STEINPLATER

Fasadekledninger av steinplater har hittil vært festet til bakveggen på to helt forskjellige måter. Enten støpt/pusset fast i bakveggen (og festet med metalltråder) eller hengt opp på utstikkende bærejern og stålpinner med en viss avstand til bakveggen. Fugene mellom steinplatene er i siste tilfelle vanligvis omkring 7 mm brede, luftrommet mellom platene og bakveggen gjerne ca. 3 cm og platene selv ca. 3 cm tykke.

I samarbeide med Stenkontoret har NBI utført en del slagregnforsøk med en slik kledning. Hensikten har vært å finne hvor store fuger man kan lage avhengig av bredden på luftrommet uten fare for nedfukning av bakveggen. Det er da først og fremst vannmengdene som treffer bakveggen vi har vært interes-

sert i å måle. Jo større disse mengdene er, dess større krav må man stille til bakveggens vannavledende evne og til dens frostbestandighet. Men vi har også målt mengden av vannet som siler nedover kledningens bakside for å finne ut hvordan forskjellige bredder på fuger og på luftrom virket.

Fig. 9 og 10 viser forsøksanordningen.

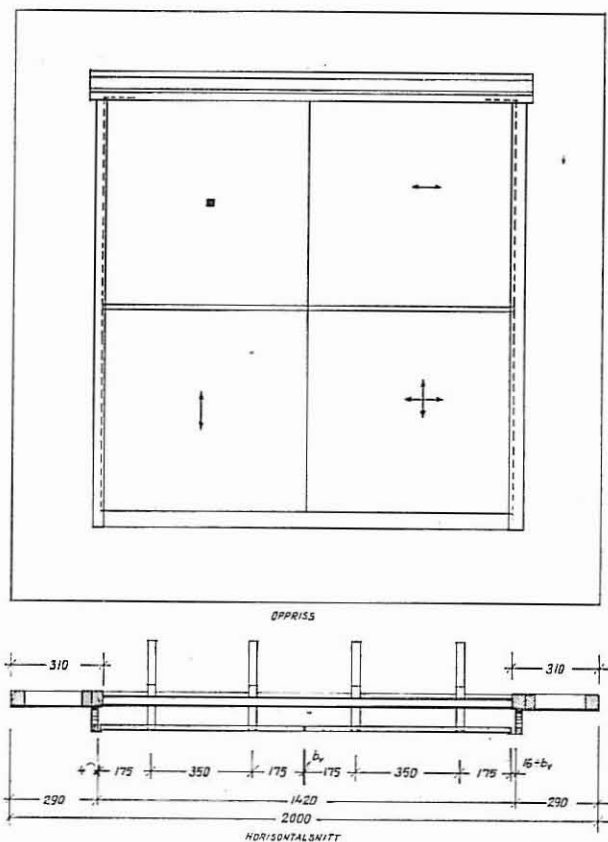


Fig. 9. Forsøksfelt for utluftet kledning av steinplater. Feltet sett utenfra, og horisontalsnitt.

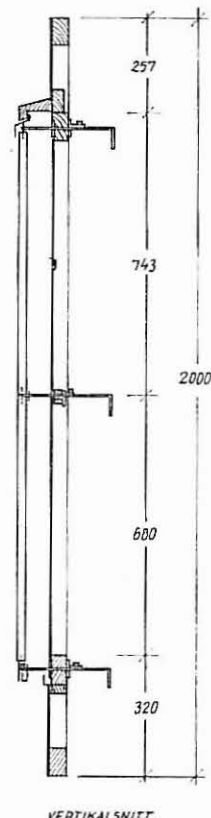


Fig. 10. Vertikalsnitt av forsøksfelt i fig. 9.

Steinplatene var 70 x 70 cm, og tykkelsen var dessverre bare 2 cm. Platene var grovslipte, og det var dessverre umulig å få dem til å flukte over hele lengden av fugene.

Forsøkene ble utført i slagregnskapet, presentert tidligere. Vindhastigheten ble stort sett holdt konstant, ca. 34 m/sek. Oppstuingstrykket på feltet like foran blåserne vil ligge på 74—75 mm VS, mens gjennomsnittstrykket i skapet samtidig er 70 mm VS. All luft kommer inn i skapet gjennom blåserne, og vinden vil til en viss grad bli avbøyd langs forsøksfeltet enten oppover eller nedover. Hvordan vindforholdene blir i luftrommet bak kledningen, er vanskelig å si. Siden det er dekket oventil, skulle man tro at vinden lettest kommer inn nedentil, hvor luftrommet er åpent. I praksis må man regne med vindbevegelser i luftrommet alt etter vindretningen, luften kan komme inn gjennom fugene noen steder og bli presset ut igjen over andre partier. Utføring for bl. a. dører og vinduer vil komplisere strømretningene. I slagregn-

skapet gjorde vi et par forsøk med vind oppover og nedover feltet.

Vi visste fra tidligere forsøk at trange fuger lett fylles helt med vann som siler nedover veggen slik at regndråper ikke kan fyke gjennom fugene. Det er dessuten vanlig at fugene dreneres best mellom vindkastene. For å få greie på om fugene gikk helt tomme mellom vindkast, regulerte vi ved flere forsøk vindstyrken (og dermed vindtrykket) manuelt mellom 15 og 42 sekm. med 6—7 støt pr. minutt.

Slagregnmengden har hele tiden vært = 10 l/m<sup>2</sup>h, nedsilende vann på kledningens ytterside er variert i trinn på 40, 70 og 100 l/m h.

Fugeåpningene har ved de utførte forsøk variert mellom 0—10 mm, avstand mellom steinkledning og bakvegg mellom 20 og 40 mm.

#### Forsøksresultater

Tabell 1 er et konsentrat av forsøksresultatene.

Tabell 1. Vannmengder som trenger inn gjennom fugene i utluftet steinkledning.

Luftrom mm	Begge fuger mm	Vann på ytre steinoverflater 40—100 l/m h gir på indre steinoverfl. l/h		40—100 l/m h gir på bakveggen l/h		Anmerkninger: Lengde horisontal fuge = 1.35 m 40 l/m h = 54 l/h } Total 100 l/m h = 135 l/h
20	3	9	—	7	Ikke målbar " " 0.04 — 0.33 0.24 — 0.96	Overtrykk — konstant = 70 mm VS (Vindhast. = ca. 33 m/sek.)
	5	5	—	4.5		
	7	15	—	33		
	10	25	—	53		
30	3	3	—	11	Ikke målbar " " " " " " " " -0.58—0.74 Ikke målbar 0.4 — 1.0	Konst. overtrykk = 70 mm VS 6—7 kast pr. min. 15—42 m/sek. Konst. overtrykk = 70 mm VS Vindkast som ovenfor Konst. overtrykk = 70 mm VS Vindkast som ovenfor Uten overtrykk Konst. overtrykk = 70 mm VS
	3	—	—	12		
	5	11	—	33		
	5	12	—	32		
	7	21	—	60		
	7	—	—	33 — 46		
	7	—	—	50		
10	16	—	38			
40	5	10	—	33	Ikke målbar -0.04 0.2 — 0.55	Konst. overtrykk = 70 mm VS
	7	8.5	—	40		
	10	17.6	—	54		

Av tabell 1 fremgår det at fugebredder opptil 5 mm tilsynelatende er tilfredsstillende selv ved såpass liten tykkelse på luftrommet som 20 mm. Alle forsøk med åpne fuger ga noe regn på bakveggen, men mengdene var i flere tilfeller så små at de ikke lot seg måle i løpet av 1½—2½ times kjøring. Vi hadde tenkt å gjøre et langtidsforsøk, 1 døgn regnvær, med luftrom 20 mm, men steinplatene ble etterhvert så skadet i kantene at vi måtte oppgi det. Tabell 1 viser videre at fugebredder 7—10 mm synes å være for store selv når luftrommet er 40 mm dypt, for mye regn treffer bakveggen. 7 mm fuger er dog avgjort mye bedre enn 10 mm fuger når det gjelder sprut på bakvegg når luftrommet er 30—40 mm dypt. Tabell 1 gir videre et overraskende resultat: Vannmengdene som siler nedover steinkledningens bakside, synes å avta med avtagende hulromsdybde ved konstante fugebredder 3—5 mm.

Når fugene er så trange som 3—5 mm, og luftrommet er 20 mm tykt, gir utvendig nedsilende vannmengder 40, 70 og 100 l/m h samme mengde vann nedover kledningens bakside. Økes luftrommet til 30 eller 40 mm, ser man det blir en viss proporsjonalitet mel-

lom de mengder som siler ned på begge sider av kledningen. Det er mulig luften mellom kledning og bakvegg blir stående nærmest stille når luftrommet blir så trangt som 20 mm og fugene så smale som 3—5 mm, selv om luften fra blåserrekken treffer i øvre eller nedre del av prøvelfeltet og gir vind oppover eller nedover langs utsiden av kledningen. Luft med liten hastighet vil neppe greie å rive løs vannet som fyller horisontalfugene, vannet henger fast i øvre og nedre fugeflate.

Stort sett må man si at det renner ned mye vann langs kledningens bakside, og at fester for stein må være godt rustbeskyttet og ha godt avdrupp for vann. Luftrommet bak kledningen må følgelig dreneres godt, og bunnen av det må være godt beskyttet mot vann.

#### a) Virkning av vindstøt

Vindstøt, 6—7 ganger pr. minutt hvor hastigheten varierte mellom ca. 15 og 42 sekm., greide ikke å tømme 5 mm brede horisontalfuger for vann selv når nedsilende vannmengder var såpass små som 40 l/m h. Vindstøtene greide ikke en gang å slå hull på vannhinnen som forbandt øvre og nedre fuge-

flate. Vindstøt ga dermed ikke mer sprut på bakvegg enn stø vind når *horisontalfugen* var 5 mm bred.

Når *vertikalfugen* var  $\approx$  5 mm og fugene tørre, fikk bakveggen en dusj inntil vannet hadde fuktet sideflatene. Etter fuktingen traff bare små dråpemengder bakveggen, og dråpestriper på glasset ble adskillig smalere. Vindstøt lot ikke til å ha merkbar virkning på forholdet. Vannfilmene som dannes på begge fugeflater, er da såpass tykke at fri åpning for dråper reduseres tilstrekkelig. Filmene henger så godt fast at dråpene ikke slår igjennom dem, men blir opptatt i dem. De vertikale, åpne fuger har aldri blitt fylt av vann.

Når fugene er 7 mm og luftrommet 30 mm, er vindstøt mye verre enn stø vind. Vindstøtene bringer frem 5 ganger så mye vann til bakveggen som stø vind gjør.

Når horisontalfugene ble 10 mm brede, greide vannet i fugene ikke å forbinde begge fugeflater, det ble mye sprut på bakvegg vis-à-vis begge fuger. Mengdene på bakveggen var tydelig avhengig av vindhastigheten.

b) *Virkning av vind langs feltets utside*

Når luftrommet bak steinkledningen var 40 mm og fuger = 5 mm, ga vind nedover feltet samme mengde vann på baksiden av kledningen som varierende vind (blåsere går opp og ned). Ble vinden rettet oppover feltet, øket vannmengdene vesentlig. Når luftrommet ble innsnevret til 20 mm og fugen til 3 mm, så vi at oppadrettet vind ikke lenger øket, men minsket vanninntrengningen i forhold til varierende vindretning. Dette er kanskje ikke urimelig, idet 3 mm fuger går helt fulle av vann, og vi fikk et lite luftovertrykk i hulrommet ved innblåsing nedenfra.

c) *Virkning av tilfældigheter i montering og av uregelmessigheter i selve steinplatene*

Der horisontalfugens underkant raget utenfor overkanten, opptok fugen mye vann. Det oppsto gjerne konsentrerte vannstrømmer nedover baksiden av steinen rett bak slike «hyller». Vi prøvde å unngå «hyllene» så godt vi kunne, men lyktes av og til ikke helt fordi de oftest skyldtes ujevn steintykkelse.

Vi oppdaget så at vannmengdene på baksiden av kledningen var avhengig av om nedre horisontale fugeflate virkelig var horisontal i veggens lengderetning. Den minste helning fikk vannet i fugen til å renne over til én side. Etterhvert som steinen ble mer og mer opphakkert i bakkanten, rant vannet fra hakkene nedover baksiden av kledningen i konsentrerte strømmer. Når hakkene ble store i nærheten av festejernene, hendte det at vindtrykket greide å rive løs vannhinnen fra fugeflatene, og vannet sprutet inn på bakveggen vis-à-vis hakkene. Vi kan slå fast at steinen bør være mest mulig plan og uten skader og montert nøyaktig i plan og vater.

*Kommentarer*

Noen av forsøkene må gjøres om igjen med 3 cm tykke steinplater; jo tykkere platene er, dess lenger vei må regndråpene tilbakelegge i en trang fuge og dess større chance er der for at de skal slå an på en av fugeflatene og bli tatt opp i vannfilmen der. På utsatte steder later det likevel til at man bør

holde fugene under 5 mm når luftrommet er 20–30 mm tykt.

6. ERFARINGER FRA NOEN  
LABORATORIEFORSØK MED FUGER  
I VINDUER OG FASADEELEMENTER

En entreprenør spurte for en tid siden om en toppfuge i et sidehengslet ut- og innadslående vindu kunne utføres som vist i *fig. 11* når bare endene av tømmermannspanelet dannet avdrypp på overkarm. Vi hadde ikke undersøkt en slik fuge tidligere, og svarte forsiktig: Vi anbefaler skikkelig avdrypp.

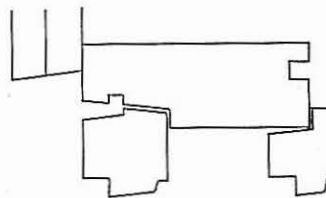


Fig. 11. Vertikalsnitt gjennom overdel av inn- og utadslående vindu.

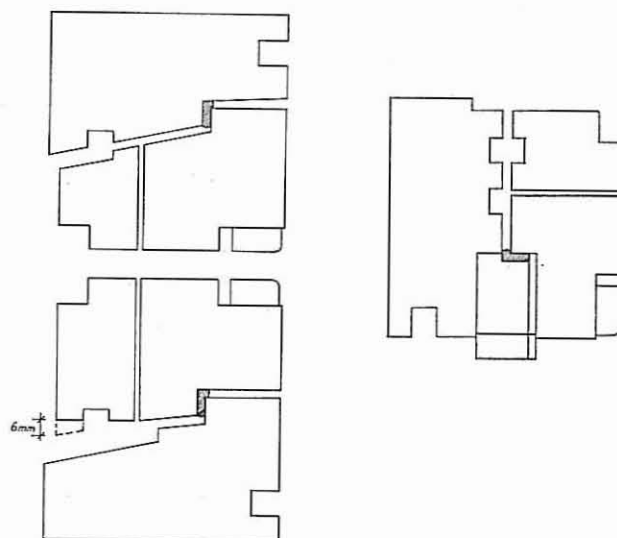


Fig. 12. Vertikal- og horisontalsnitt gjennom svingvindu.

Da svingvinduet vist i *fig. 12* ble prøvet noen måneder senere, satte vi det under ett av forsøkene inn i et maskeringsfelt hvor vannbrett over vinduet manglet, og hvor overdekningen var omtrent like tykk som underliggieren i tømmermannspanelet. Vinduet var tilstrekkelig tett mot vind. Vi utsatte først vinduet bare for slagregn 10 l/m<sup>2</sup>h og for vindtrykk = 70 mm VS og fikk små vanngjennomslag i nedre hjørner og ved hengslene etter forholdsvis kort tid. Vi slo av vind og slagregn, åpnet vinduet og fant bl. a. at toppfugen var våt og at tettelisten her oppe var våt på enkelte steder. Vi lot vinduet tørke, satte så på vind og *nedsilende vannmengde* = 100 l/m h (vi sløyfet selve slagregnet) og fikk atter se vannet i nedre hjørner etter kort tid, men det kom ikke inn. Sidefugene var våte og tettelistene på sidene delvis våte. Vannet hadde i begge tilfeller trengt på skrå innover i sidefugene, og hadde nådd inn til tettelisten et stykke over bunnen. I neste forsøk laget vi en god overdekning over vinduet, slik vannbrett i trevegger gjerne er. Etter 5 timers kjøring under ovennevnte betingelser,



var toppfugen fremdeles helt tørr, og bare små sprut hadde trengt frem til tettelisten i sidefugene. Forsøket viser at denne toppfugen krever skikkelig overdekning både mot slagregn og nedsilende vann. Grunnen er at det i de øvre hjørnene blir svært god plass for både dråper og rennende vann til å trenge ned i sidefugene.

Prøveinduets ramme var laget for kort, og dette gikk verst ut over bunnfugen som var 20 mm, mot tegnet 16 mm. Slagregn sprutet direkte inn på tettelisten i bunnfugen.

Siden tettelisten var laget av vanntett materiale, fikk vi likevel ikke gjennomslag på andre steder enn i hjørnene. En tettelist av skumplast ville gitt gjennomslag over hele lengden i dette tilfelle. Etter at underrammen var påfôret 6 mm, kom det svært lite vann opp på terskelen foran tettelisten og enda mindre vann inn til selve listen. Konklusjonen blir at vinduet er tilstrekkelig tett mot vind og slagregn når overdekningen er god og bunnfugens utvendige åpning er mindre enn 14 mm bred. Oppdragsgiver selger vinduet med riktige fuger.

Avdrypp i eller nær åpningen i åpne horisontalfuger er ikke altfor lett å få til i fasadelementer av betong eller lettbetong. I et tilfelle, vist i fig. 13, ville opp-

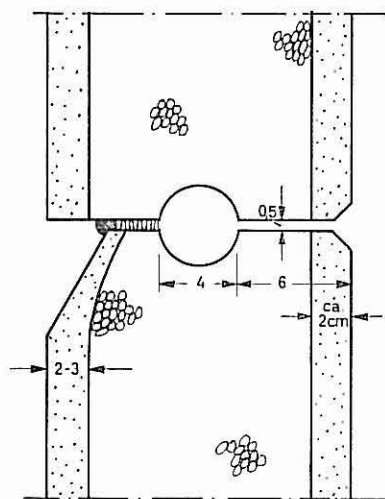


Fig. 13. Lettbetongelement tegnet uten avdrypp over horisontalfuge.

dragsgiver helst unngå avdryppet. En nedstikkende tynn nese er ikke akkurat velegnet for transport.

Slagregnforsøk viste imidlertid at vannet trengte inn på oversiden av fugekittet så lenge avdrypp manglet. Det kom overhodet ikke vann gjennom det ytre hardskiktet av elementet, og nederste element var tørt under selve tettemiddelet. Oppdragsgiver så selv på prøvene og lager nå avdrypp på elementene, det er ingen annen enkel utvei.

Kan man sløyfe utvendig avdekning av side- og toppfuge i sidehengslede, innadslående vinduer iflg. Norsk Standard? (fig. 14) spurte en konstruktør en gang. Spørsmålet var litt vrient, og svaret ble: Vi vet ikke. I fig. 15 vises et eksempel på åpne fuger som ikke var gode nok. Da vi hadde dekket de vertikale utvendig, som prikket inn på figuren, var fugene tette mot slagregn. Man kan altså ikke sløyfe regnsperren i dette tilfelle. Vi har imidlertid undersøkt innadslående, sidehengslede vinduer som var tette mot slag-

regn selv om de hadde åpne fuger, men konstruktøren hadde da sørget for flere avdryppsriker og anslag lenger inne i fugene og hadde laget en helt annen konstruksjon enn den standardiserte.

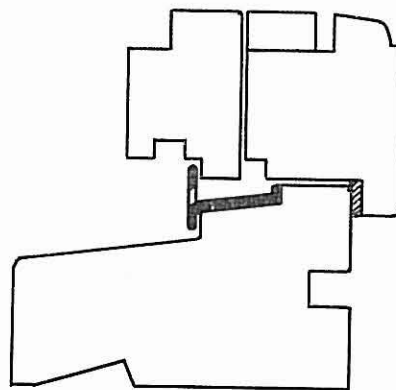


Fig. 14. Vindu iflg. Norsk Standard 764.

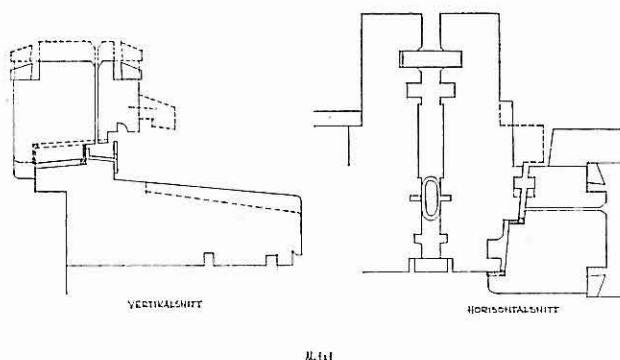


Fig. 15. Snitt av innadsl. koblet vindu i fasadelement av tre. Prikkete konturer angir nødvendige endringer i profiler.

## 7. ERFARINGER FRA PRAKSIS

Om å forandre på gode konstruksjoner

Fig. 16 viser den forandrede konstruksjon. Endringene består bl. a. i at brystningene ikke er støpt samtidig med søylene, men satt på plass i utsparinger i søylene etter at disse var støpt. Det oppstår de hyller i søylene under brystningene hvor vannet kan trenge inn i veggen, og også gjorde det i massevis. Den opp-

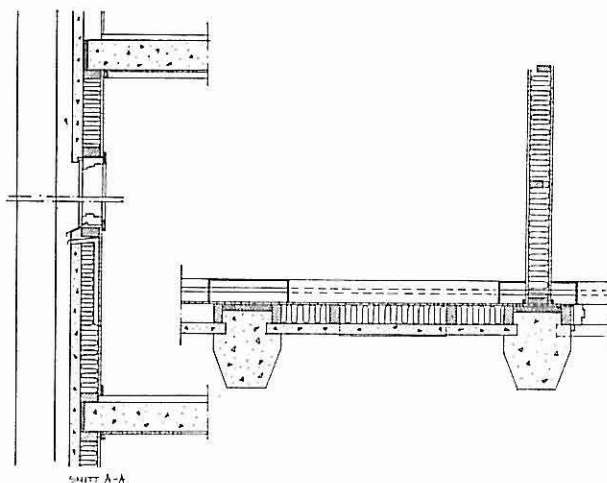


Fig. 16. Endret konstruksjon som ikke er tett mot slagregn.

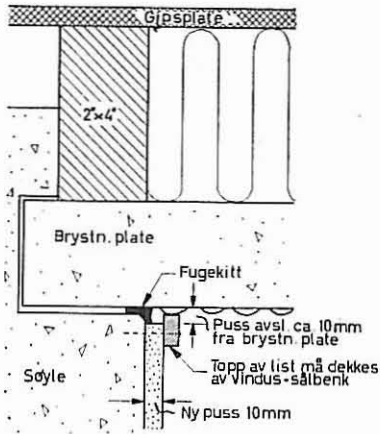


Fig. 17. Horisontalsnitt gjennom brystning og søyle i konstruksjon iflg. fig. 16. Reparasjonsmåte antydnet for brystningens anslutning til søylen.

rinnelige konstruksjonen har man ingen plager med. Heldigvis kom lekkasjene før eieren flyttet inn i huset. Reparasjoner måtte utføres iflg. fig 17.

Når tettheten av hjørnene er helt avhengig av kitt  
Helsveidede eller limte hjørneforbindelser ser fremdeles ut til å være de beste i vinduer og påhengsvegger

av metall, mens pop-naglede forbindelser med forsterkningsvinkler og fugekitt har sviktet på flere bygg. Møtende profiler har i de siste tilfeller sjelden hatt samme tverrsnitt, og de er kappet tvers av slik at tunger i det ene profilet ikke dekker riller i det andre. Når endene av rillene heller ikke dekkes av forsterkningsvinkelen, oppstår huller i hjørnene, og disse er da fylt med en mengde fugekitt. Der profilene møtes butt i butt, blir kittfugen til gjengjeld meget trang og har lett for å sprekke når ramverket beveger seg. Hvis nå kittet må dekke hjørnet i hele konstruksjonens dybde, betyr oppsprekking i kittet vind- og slagregnellekasjer som ofte er meget vanskelig å råde bot på. Vedlikeholdet har i flere tilfeller blitt meget dyrt.

## 8. KONKLUSJONER

I de foregående kapitler er NBI's slagregnforsøk beskrevet forholdsvis inngående. Resultatene viser bl. a. at små forbedringer ofte har gitt gode resultater, i flere tilfeller ville konstruksjonene vært ubrukbare uten disse forbedringene.

Regnellekasjer i yttervegger kommer fremdeles av at konstruktøren ikke kan «se rundt hjørnet» på sine konstruksjoner og at virkninger av slagregn og nedsilende vann ikke lar seg beregne.

Selv om NBI har arbeidet lenge med problemene, står ennå mye arbeide igjen før vi er ferdige med fugekitt.