



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R89:1983

Fogars beständighet

Fogar i ytterväggar

Alf Jergling
Bernt Schechinger

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION

Accnr _____ Plac *8er*

R
AM

R89:1983

FOGARS BESTÄNDIGHET

Fogar i ytterväggar

Alf Jergling
Bernt Schechinger

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
790200-0 från Statens råd för byggnadsforskning
till Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

/Även utg. som: Chalmers tekniska högskola.
Avd för byggnadskonstruktion 1982:9/

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

R89:1983

ISBN 91-540-3992-4
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
LiberTryck Stockholm 1983

INNEHÅLL

FÖRORD	7
SAMMANFATTNING	8
BETECKNINGAR OCH DEFINITIONER	10
1. PROBLEMBESKRIVNING - MÅLSÄTTNING	13
2. FUNKTIONSKRAV OCH TÄTNINGSPRINCIPER	14
2.1 Funktionskrav	14
2.2 Tätningsprinciper	14
2.3 Enstegsfog	16
2.4 Tvåstegsfog	17
2.5 Fogningsmaterial	22
3. FOGPÅVERKNINGAR	23
3.1 Tryckpåverkningsar	23
3.1.1 Orsaker till och verkan av tryckskillnader ..	23
3.1.2 Vindbetingade tryckskillnader	23
3.1.3 Tryckskillnader p g a skillnader i densitet mellan utomhus- och inomhusluft ...	25
3.1.4 Tryckskillnader p g a ventilationssystem ...	26
3.2 Slagregn	26
3.2.1 Slagregnets egenskaper	26
3.2.2 Fritt slagregn	27
3.2.3 Slagregn mot fasadytor	34
3.2.4 Ytvattenflöden på fasader	37
3.2.5 Beräkning av ytvattenflöden	38
3.3 Övriga påverkningsar	45
4. FOGRÖRELSER OCH TOLERANSER	46
4.1 Påverkan av fogrörelser - problembeskriv- ning	46
4.2 Temperaturbetingade rörelser	46
4.2.1 Inledning	46
4.2.2 Temperaturförhållanden vid fasadens yta	47
4.2.3 Temperaturfördelning i fasadens tjockleks- riktning	53
4.2.4 Exempel på beräkning av temperatur- betingade rörelser	55

4.3	Fuktbetingade rörelser	61
4.3.1	Inledning	61
4.3.2	Teoretiska beräkningsmodeller för fukttransport	61
4.3.3	Parametrar av betydelse för fukttransport och fuktbetingade rörelser	62
4.3.4	Isoleringstypens betydelse för fuktbetingade rörelserna hos sandwichelement ...	65
4.3.5	Förenklad beräkningsmetod för fuktbetingade rörelser	65
4.3.6	Exempel på beräkning av fuktbetingade rörelser	68
4.4	Inverkan av molnighet	71
4.5	Stomrörelser	72
4.6	Sammanställning av fogrörelser - slutsatser	73
4.7	Toleransberoende fogbreddsvariationer	76
5.	FOGAR MELLAN FASADELEMENT ANVÄNDA I SVENSKT ELEMENTBYGGERI	79
5.1	Redovisningsmetod	79
5.2	Bostadsområde i Hageby-Smedby, Norrköping ..	79
5.2.1	Vertikalfog	79
5.2.2	Horisontalfog	80
5.3	Bostadsområde i Rosengård, Malmö	81
5.3.1	Vertikalfog	81
5.3.2	Horisontalfog	82
5.4	Bostadsområde i Hammarkullen, Göteborg	83
5.4.1	Vertikalfog	83
5.4.2	Horisontalfog	84
5.5	Studentbostäder i kvarteret Kvarntullen, Stockholm	84
5.5.1	Vertikalfog	84
5.5.2	Horisontalfog	85
5.6	Bostadsområde i Lövgärdet, Göteborg	86
5.6.1	Vertikalfog mellan element i gavelvägg	86
5.6.2	Horisontalfog mellan element i gavelvägg ...	87
5.6.3	Vertikalfog mellan element i längsfasad ...	88
5.6.4	Horisontalfog mellan element i längsfasad ..	89
5.7	Huddinge sjukhus	91
5.7.1	Vertikalfog	91
5.7.2	Horisontalfog	91

5.8	Lagercentral i kvarteret Lådan, Växjö	92
5.8.1	Vertikalfog	92
5.8.2	Horisontalfog	93
5.9	Bostadsområde i Akalla, Stockholm	94
5.9.1	Vertikalfog	94
5.9.2	Horisontalfog	95
5.10	Industribyggnad	96
5.10.1	Vertikalfog	96
5.10.2	Horisontalfog	97
6.	FOGSKADOR	98
6.1	Allmän översikt	98
6.2	Skadetyper	103
6.3	Skador i fogar med enstegstätning	104
6.4	Skador i fogar med tvåstegstätning	105
6.5	Övriga skador	106
7.	EXPERIMENTELL UNDERSÖKNING AV FOGTÄTNING OCH FOGUTFORMNING	107
7.1	Målsättning	107
7.2	Slagregnsprovning	107
7.3	Beskrivning av använda provningsutrustningar	110
7.4	Provningsmetodik	115
7.4.1	Mätteknik	115
7.4.2	Fogpåverkningar vid provningarna	116
7.5	Beskrivning av provelementen	119
7.6	Sammanställning över provade fogtätningar	119
7.7	Resultatredovisning	121
7.7.1	Provning av horisontalfogar med horisontell utformning av fogsidorna och utan bakomvarande vindtätning	121
7.7.2	Provning av horisontalfogar med lutande utformning av fogsidorna och utan bakomvarande vindtätning	123
7.7.3	Anordning för vindtätning	124
7.7.4	Provning av horisontalfogar med horisontell utformning av fogsidorna och bakomvarande vindtätning	126
7.7.5	Provning av horisontalfogar med lutande utformning av fogsidorna och bakomvarande vindtätning	127

7.7.6	Provning av vertikala fogar med och utan bakomvarande vindtätning	129
7.7.7	Provningar med olika ytvattenflöden	130
7.8	Diskussion av resultaten	131
7.9	Jämförelse mellan egna provningsresultat och resultat från andra publicerade undersökningar	136
8.	TEORETISKA BERÄKNINGSMODELLER FÖR VATTEN-TRANSPORT I FOGAR	141
8.1	Vattentransport i fogar - inledning	141
8.2	Beräkning av vattendroppens transportkurva i horisontalfog	144
8.3	Beräkning av vattenfilmslängd	148
8.4	Beräkning av kapillär transportsträcka	150
8.5	Luftströmningens gränshastighet för vattengenomträngning	150
9.	REPARATIONSÅTGÄRDER VID FOGSKADOR	152
9.1	Åtgärder vid enstegsfogar	152
9.2	Åtgärder vid tvåstegsfogar	153
10.	REKOMMENDATIONER FÖR FOGUTFORMNING	156
REFERENSER	158
LITTERATUR	166

FÖRORD

Föreliggande skrift "Fogar i ytterväggar" har utarbetats vid avdelningen för Byggnadskonstruktion, Chalmers tekniska högskola.

Undersökningen har delvis finansirats av Statens Råd för Byggnadsforskning och har utförts med Alf Jergling som projektledare.

I arbetet har flera personer inom avdelningen medverkat: Hans Coster och Hjalmar Eriksson vid experimentella undersökningar, Bertil Nordström med beräkningsarbete, Wera Magnusson med figurritning, Joan Lindberg och Gun Hillgren vid manuskriptframställning. Till dessa samt personer inom SABO och dess medlemsföretag, förvaltare, materialtillverkare och entreprenörer vill vi framföra vårt varma tack.

Göteborg i juni 1982

Alf Jergling

Bernt Schechinger

SAMMANFATTNING

I samband med det omfattande byggandet i Sverige under 1960-70-talen utvecklades diverse principiella lösningar avseende fogar och fogutformning, vilka också tillämpades i praktiska konstruktioner. Sedan dess har olika funktionella brister gett sig tillkänna, brister som krävt och kräver dyrbara reparationer. Enligt en av SABO år 1977 utförd undersökning, omfattande sammanlagt 56000 lägenheter i elementbyggda hus, hade i ca 11% av lägenhetsbeståndet förekommit problem med vattenläckage vid betongelementfasader.

Projektets syfte är att klarlägga lämplig utformning av fasadfogar i nyproduktion och lämpliga reparationsåtgärder vid fogskador i befintlig bebyggelse.

I rapporten beskrives de krav som bör ställas på fasadfogar samt de olika tättningsprinciper, enstegs- och tvåstegstätning, som förekommer.

Orsaken till vatten- och luftpenetration av fogar är ibland att kunskapen om förekommande fogpåverkningar är bristfällig. I kapitel 3 redovisas förekommande fogpåverkningar. Tryckdifferensen över väggkonstruktionen fås av vind och termiska effekter. Vid öppna fogar erhålles direkt genomblåsning. Slagregnets natur och förekomst redovisas utförligt. De av slagregn orsakade ytvattenflödena på fasader beräknas för byggnader med fasadmaterial med olika absorptionsförmåga.

Kapitel 4 behandlar temperatur- och fuktbetingade rörelser samt stomrörelser. Kännedom härom erfordras för att kunna bestämma erforderliga deformationsegenskaper hos fogtättningsmaterial. Fogbreddsvariationer erhålles vid olika toleranskrav vilket ger varierande mängd/bredd av fogningsmaterial.

I kapitel 5 redovisas i svenskt elementbygge vanligt förekommande fasadfogar utan hänsyn till deras funktionskvaliteter. Av beskrivningen framgår att såväl enstegs- som tvåstegsfogar har använts.

Kapitel 6 behandlar olika typer av påvisade fogskador samt deras orsaker. Enstegsfogen är tveklöst den fogutformning som uppvisar största antalet skador.

Projektet innehåller en omfattande experimentell undersökning av olika fogtätningar och fogutformningar. I kapitel 7 beskrivs olika metoder för täthetsprovning samt i denna undersökning använd provningsmetodik. I provningarna fastställes att vissa typer av enstegsfogar är praktiskt taget omöjliga att få tillräckligt täta mot vatten och luft.

En horisontell fasadfog bör utformas med tröskel. I kapitel 8 redovisas teoretiska beräkningsmetoder för bestämning av vattendroppars inträngningsförmåga vid olika luftströmning genom fogen. Överensstämmelse mellan teoretiskt beräknad och praktiskt funnen risk för vattengenomslag har erhållits.

Rapporten avslutas med rekommendationer för utformning av fasadfogar vid nyproduktion samt förslag till åtgärder för reparation av fogar i befintliga byggnader.

BETECKNINGAR OCH DEFINITIONER

A	=	tvärstnittsarea
C	=	formfaktor
D	=	$3\rho_l/4\rho_v \Phi$
I	=	intensitet
N	=	vertikal nederbördsmängd
Q	=	vattenmängd
Re	=	Reynolds tal
RF	=	relativ fuktighet
S	=	slagregnsmängd
T	=	temperatur
a	=	temperaturledningstal, absorptionsfaktor för kortvågig strålning
c	=	kapillaritetstal, ånghalt
d	=	ytvattenströmmens djup, tjocklek
f	=	fukttillskott inomhus
g	=	transporterad fuktmängd, tyngdacceleration
h	=	höjd
k	=	kapillärledningstal, dimensionslös konstant
l	=	längd
m	=	massa
n	=	timma på dygnet
p	=	tryck
q	=	vattenflöde
r	=	dämpning
s	=	fogbredd
t	=	tid
u	=	längdändring
v	=	hastighet, vindhastighet
w	=	fukthalt

x	=	längdkoordinat
\dot{x}	=	hastighet i x-riktningen
\ddot{x}	=	acceleration i x-riktningen
α	=	värmeövergångskoefficient, längdutvidgningskoefficient, vinkel
Δ	=	intervall
δ	=	diffusionstal
ϵ	=	relativ längdändring
κ	=	slagregnskoefficient
λ	=	värmeledningsförmåga
μ	=	$24/Re$
ν	=	kinematisk viskositet
ρ	=	densitet
τ	=	skjuvspänning
Φ	=	droppdiameter
φ	=	fasförskjutning
ψ	=	fuktpotential

index

b	=	bottenskikt
d	=	dygnsvariation
e	=	ekvivalent
g	=	effektiv motstrålning
i	=	inneryta
k	=	kritisk
l	=	luft i yttre omgivningen
m	=	magasinerad
n	=	nederbörd
o	=	begynnelsevärde
p	=	tryck

r = luft i byggnadens inre
s = strålning, slagregn
v = vatten
y = ytteryta
å = årsvariation

1. PROBLEMBESKRIVNING - MÅLSÄTTNING

I samband med det omfattande byggandet i Sverige under 1960-70-talen utvecklades diverse principiella lösningar avseende fogar och fogutformning, vilka också tillämpades i praktiska konstruktioner. Sedan dess har olika funktionella brister gett sig tillkänna, brister som krävt och kräver dyrbara reparationer. Enligt en av SABO år 1977 utförd undersökning, omfattande sammanlagt 56000 lägenheter i elementbyggda hus hade i ca 11% av lägenhetsbeståndet förekommit problem med vattenläckage vid betongelementfasader.

Projektet syftar till att klarlägga lämplig utformning av fasadfogar i nyproduktion och lämpliga reparationsåtgärder vid fogskador i befintlig bebyggelse. För att erhålla erfarenhetsbakgrund har förekommande fogtyper och fogskador inventerats och analyserats, varefter både teoretiska och experimentella undersökningar har genomförts. Väsentligt vid val av lämplig fogutformning är kännedom om fogbelastningar orsakade av vind, regn, temperaturändringar etc, vilka därför redovisas utförligt.

Undersökningen har begränsats till att omfatta fogar mellan fasadelement av betong. Fogar vid fönster och dörrpartier i fasaden och fogar mellan fasadskivor av andra material än betong har inte studerats närmare. Givna rekommendationer är dock tillämpbara även på dessa fogtyper.

2. FUNKTIONSKRAV OCH TÄTNINGSPRINCIPER

2.1 Funktionskrav

En sammanställning av de olika krav som bör ställas på fasadfogar blir omfattande:

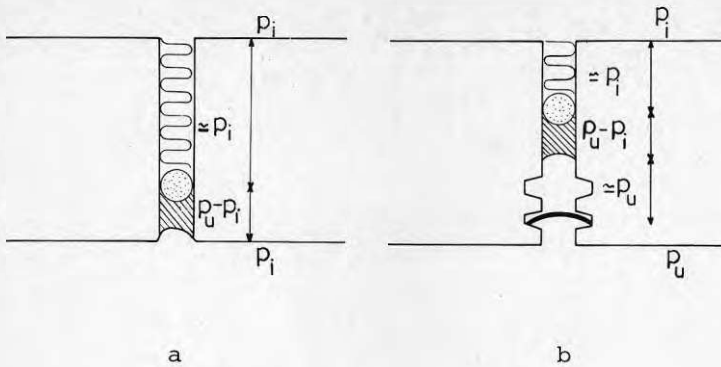
- regntätning
- vindtätning
- värmeisolering
- kondensskydd
- ljudisolering
- brandskydd
- lastupptagning
- anpassning till måttfel
- anpassning till deformationer
- monterbarhet
- varaktighet
- utseende
- ekonomi

ISO (International organization for standardization) anger i ISO 3447 "Joints in building - general checklist of joint functions", detaljerade funktionskrav. Seriösa elementtillverkare och entreprenörer har motsvarande förteckningar över funktionskrav.

I denna undersökning har intresset koncentrerats på fogarnas tätande funktion under olika klimatbelastning - vind, regn och temperatur.

2.2 Tätningsprinciper

En fasadfog som skall vara regn- och vindtät kan utformas enligt två skilda principer vilka vanligen benämnes enstegs- och tvåstegsprincipen, fig. 2.1.



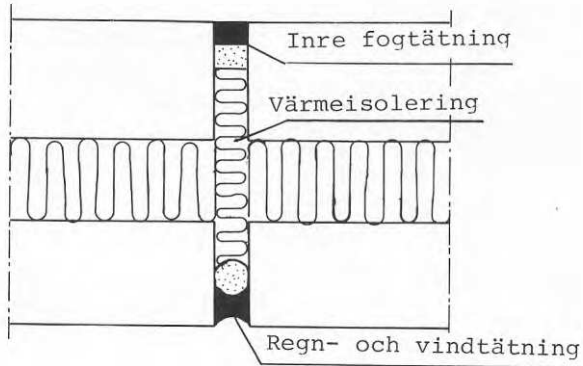
Figur 2.1 Fogtyper, tätningsprinciper

- a) Enstegsfog
- b) Tvåstegsfog

Vid en enstegsfog sker regn- och vindavvisning i ett och samma skikt, vilket innebär att hela tryckskillnaden ($p_u - p_i$) över väggen upptas här. Detta skikt brukar i regel utföras av fogmassa. Den tätande funktionen kan bibehållas enbart så länge anslutningen mellan tätningsmaterial och fogsidor är helt oförstörd eller otätheter i fogen ej bildats. Detta medför att tätningen ej har någon inbyggd extra säkerhet utan skador kan uppstå så snart otätheter erhålles.

Vid tvåstegsfogar särskiljes regn- och vindavvisningen. Den yttre regnskärmen förhindrar den större delen av vattenmängden att komma in i fogen och leder denna ut från väggen. Bakom regnskärmen utformas en väl ventilerad spalt, varigenom endast en mindre tryckskillnad som kan pressa in vatten erhålles över skärmen. Spalten utföres med dränering. Den av olika faktorer orsakade tryckskillnaden över väggen upptas av en i väggens inre del placerad tätning. Denna är placerad i skyddat läge för påverkan av UV-ljus, temperaturändringar, vattenåverkan etc. och får en större beständighet. Funktionssäkerheten hos tvåstegsfogar är större än hos enstegsfogar.

2.3 Enstegsfog



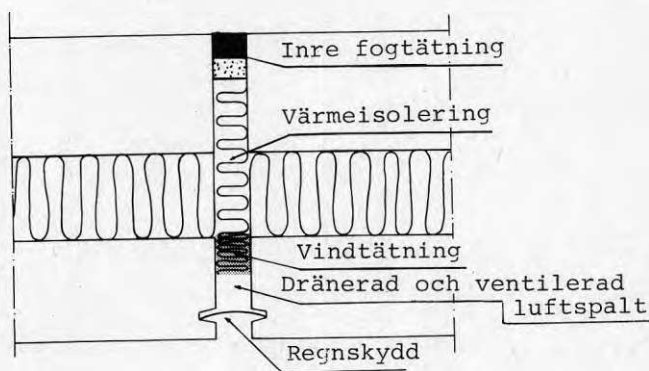
Figur 2.2 Enstegsfog

Vid enstegsfogen, fig. 2.2, sker hela tryckfallet över väggen vid den fogtätning, som är placerad vid väggens utsida. För att erhålla en tillfredsställande funktion måste stora krav ställas på fogmaterialiets elasticitet, beständighet, vidhäftning samt fogkanalernas beskaffenhet och arbetsutförande. Fogtätningen skall även fungera vid fogrörelser mellan elementen. Det har i praktiken visat sig vara mycket svårt att finna enstegstättningar som kan motstå samtliga ovan nämnda påfrestningar under en längre tidsperiod. Den vanligaste metoden har varit att täta fogen med elastisk fogmassa. Om fogmassan spricker eller släpper från anslutande element kan tryckskillnaden över fogen eller kapillärkrafter driva in vatten i väggen. Det finns även risk för fuktansamling bakom yttre fogtätningen orsakad av inifrån eller från byggnadens övre del kommande fukt.

För att erhålla så god vidhäftning mot betongelementens kanter som möjligt söker man vid användning av elastisk fogmassa utforma tätningen konkav. För att ge fogtätningen en sådan form inlägges en cirkulär bottningslist av gummi eller plast i fogen innan tätningmaterialet appliceras. Materialet i bottningslistan får inte vara fuktsugande då ev inläckande vatten kan ansamlas i en fuktabsorberande list och medföra fuktproblem eller vid kyla frostsprängning.

Som enstegstättning i fogar har även använts plastiska fogmassor, polyuretanskum och gummilister av olika utformning.

2.4 Tvåstegsfog

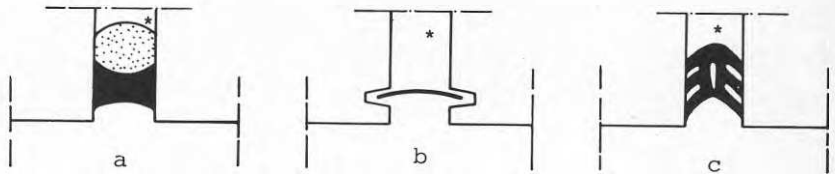


Figur 2.3 Tvåstegsfog

Tvåstegsfogen innehåller ett utvändigt placerat regnskydd, en dränerad luftspalt, vindtätning, värmeisolering samt invändig lufttätning, fig. 2.3. Regn-

skyddet skall utföras så att det inte uppstår någon tryckskillnad över detsamma som kan driva in vatten i fogen. Detta innebär att regnspärren vid tvåstegsfog inte behöver vara absolut tät. Dock måste luftspalten i utrymmet bakom regnskyddet ventileras och dräneras.

Regnspärren i vertikala fogar utgörs ofta av fogmassetätning eller någon form av fogningslist, fig. 2.4. En vanlig lösning är att betongelementen tillverkas med vertikala spår i fogsidorna, i vilka en fogningslist av gummi, polymer eller metall kan anbringas, fig. 2.4b. Vissa specialprofiler av gummi kan även fungera tillfredsställande med avseende på vattenavledning i vertikalfogar med plana sidor, fig. 2.4c.

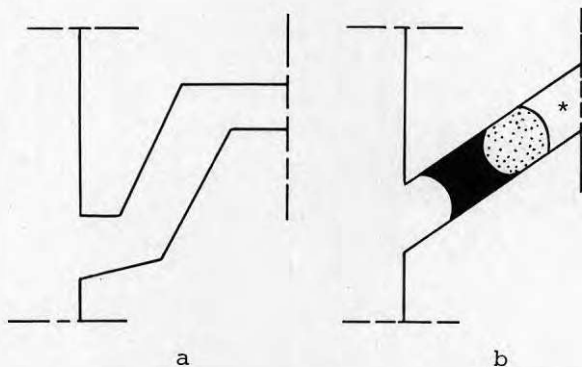


Figur 2.4 Regnspärr i vertikala fogar

- a. Fogmassetätning
 - b. Fogningslist vid vertikala spår i fogsidorna
 - c. Fogningslist, specialprofil
- * Detta utrymme måste dräneras och ventileras.

De horisontella fogarna kan utformas på flera sätt. Ofta är de öppna och utformade med en tröskel som med tillräcklig höjd ger erforderligt regnskydd, fig. 2.5a. Med en sådan konstruktion erhålls ventilation och dränering av den vertikala luftspalten på ett enkelt sätt. Öppningen i horisontalfogen får inte utformas för smal. Vid fogbredder mindre än ca 5 mm kan regnvatten som rinner på fasadytan överbrygga öppningen och pressas in i fogen, p g a den erhållna tryckskillnaden över vattenfilmen.

Regntätningen vid horisontalfogar kan även utformas på liknande sätt som vid vertikalfogar, fig. 2.5b. Man måste dock tillse att utrymmet bakom regnskyddet ventileras och dräneras. Horisontalfogarna bör utformas med lutande fogsidor ($\alpha \geq 30^\circ$) då erfarenheter visar att fogar med horisontella sidor ofta fungerar otillfredsställande



Figur 2.5 Regnspärr i horisontella fogar

- a. Öppen fog med tröskel
- b. Lutande fog med fogmassetätning
- * Detta utrymme måste dräneras och ventileras

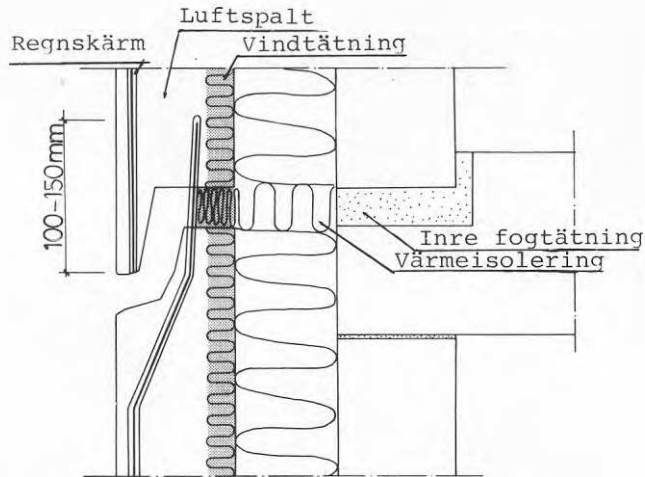
Fogkryssen mellan vertikal- och horisontalfogen brukar utföras så att den horisontella tätningen drages kontinuerligt medan den vertikala tätningen skarvas med överlappning, fig. 2.6.

Luftspalten bakom regntätningen i tvåstegsfogen bör utformas så att :

tryckskillnaden mellan regnskärmens fram och baksida blir försumbar

vatten som trängt förbi regntätningen ej når fram till vindtätning och värmeisolering

eventuellt inträngande vatten kan dräneras och ventileras bort

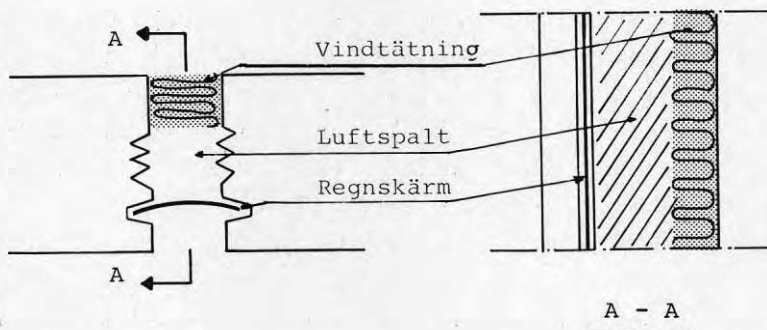


Figur 2.6 Vertikala regnspärrens skarvning vid fogkryss.

I de fall då fasaden bekläts med på enstaka beslag upplagda beklädnadsskivor bildas ett sammanhängande luftrum som förbinder flera fogar. Trycket bakom väggsnivorna kan påverkas av att vinden belastar olika punkter på fasaden olika. En strömning i luftspalten kan uppstå och ett tryckfall kan uppkomma så att vatten pressas förbi regntätningen. Det är därför lämpligt att uppdelas luftspalten i breddintervall ≤ 5 m inom områden närmast vägg- och takhörn, där starka variationer i vindbelastning kan förekomma. Motsvarande fenomen kan i vissa fall uppstå även vid tunga fasadelement. Luftspaltens djup mellan regntätningens baksida och vindtätningen bör inte vara för litet om det dels skall effektivt förhindra att inträngande vatten passerar och dels ge plats för omlottskarv av regntätningen om denna består av en fogningslist.

För att ytterligare försvåra för vatten att passera

förbi luftspalten kan elementsidorna utformas med vertikala eller lutande spår. Sådana spår underlättar också bortdräneringen av inläckande vatten, fig. 2.7.



Figur 2.7 Luftspalt mellan betongelement utformad med dränerande spår i elementsidorna.

Bakom luftspalten i tvåstegsfogen placeras en vindtätning som kan bestå av fogningslist, fogmassa eller plastfolieomsluten mineralull. För att undvika att inifrån kommande fukt ansamlas i fogen bör vindtätningen inte utföras diffusionstätare än invändiga tätningen.

Fogen måste dessutom försees med en värmeisolering placerad bakom vindtätningen, så att fogens värmeisoleringsförmåga inte blir sämre än fasadelementens.

Den invändiga fogtätningen kan bestå av fogmassa eller igengjutning av fogen med betong. I hus med befuktad luft måste särskild omsorg ägnas åt den invändiga luftspärren så att inte fuktig inneluft p g a diffusion och konvektion kan tränga ut i ytterväggen och kondensera.

2.5 Fogningsmaterial

De vanligast förekommande produkterna för utvändigt tätning av fasadfogar är fogmassor och fogningslister, vilka uppvisar skillnader i funktionssätt.

Fogmassor tätar genom vidhäftning mot fogsidorna. För utvändigt tätning av fasadfogar bör endast fogmassor med god beständighet och deformationsförmåga användas. Egenskaperna försämras succesivt med tiden och uteklimatpåvekad fogar måste i regel omfogas efter ca 15 år (i gynnsamma fall). En fördel vid användning av fogmassor är det mindre beroendet av tillverknings- och monteringsoleranser.

Fogningslister tätar genom anliggning mot fogsidorna. Fogsidornas ytor måste vara förhållandevis släta och utan porer eller andra släppor för att listerna skall vara tätande. Fogningslister är därför ofta olämpliga att använda vid enstegstätningar, men kan med fördel användas som regnskärm vid tvåstegstätningar. Fogningslisternas dimensioner måste anpassas till fogbredden. Detta innebär att flera olika listdimensioner måste användas vid fogning av en byggnad eftersom fogbredden i regel varierar betydligt.

3. FOGPÅVERKNINGAR

3.1 Tryckpåverkningar

3.1.1 Orsaker till och verkan av tryckskillnader

Skillnader mellan lufttryck i och utom en byggnad kan förorsakas av vindpåverkan, termiska krafter samt byggnadens ventilationssystem.

Tryckskillnader medför att luft vill störmma genom otätheter från områden med högre lufttryck till områden med lägre tryck. Ur energi- och komfortsynpunkt ställs krav på att luftströmmarna genom en byggnads ytterväggar begränsas, vilket innebär att otätheter i ytterväggar och däri ingående fogar bör i möjligaste mån undvikas.

Invändigt övertryck i en byggnad kan, om ytterväggen är otät, förorsaka att fuktig inomhusluft strömmar ut i ytterväggskonstruktionen med risk för kondensation med åtföljande fuktskador. Denna risk blir större om inomhusluften är befuktad. Utvändigt övertryck kan förorsaka att regnvatten pressas in i sprickor och spalter i fasadytan och transporteras vidare in i konstruktionen.

3.1.2 Vindbetingade tryckskillnader

Vind som blåser mot en byggnad förorsakar ett övertryck på lovartsidan och ett undertryck på byggnadens övriga sidor. När vinden blåser rakt mot byggnaden uppstår i allmänhet maximalt övertryck på lovartfasadens mittparti och lägre tryck längre ut mot fasadens ytterkanter. På läfasaden uppstår de största undertrycken

vid fasadens hörn och övre del. Variationer i vindens anblåsningsriktning, turbulenser i strömningen, byggnadens geometriska utformning och omgivningens topografi m m kan förändra den ovan beskrivna tryckfördelningen.

Vindtrycket på fasaden kan beräknas ur vindens hastighet i den ostörda luftströmmen enligt nedanstående samband.

$$p = C_p \rho_l v^2 / 2 \quad (3.1)$$

där

p = vindtryck i en punkt på fasaden (Pa)

C_p = formfaktor som beaktar tryckfördelningen på fasaden

ρ_l = luftens densitet (kg/m^3)

v = vindhastighet i den ostörda luftströmmen (m/s)

En vindhastighet på 10 m/s ger ett vindtryck på 50 Pa i en punkt på fasaden om formfaktorn är 0,8. Detta innebär att vindbetingade tryckskillnader vid så höga vindhastigheter är dominerande. I SBN 80 (Svensk Byggnorm 1980) anges värden på vindtryck och formfaktorer för beräkning av vindbelastningen på byggnader. De i normen angivna värdena på vindtryck beräknas förekomma en gång under en femtioårsperiod och är betydligt större än de vanligtvis förekommande. Likaledes torde de i normen angivna formfaktorerna vara på säkra sidan, men i brist på bättre kunskapsunderlag får dessa formfaktorer även användas vid beräkning av tryckdifferenser över fogar.

Vinden påverkar även lufttrycket inuti byggnader genom att luft passerar ut eller in genom otätheter i byggnadens ytterväggar och tak. I SBN 80 beaktas invändigt vindtryck i byggnaden med en formfaktor som summeras till de yttre formfaktorerna vid beräkning av tryckskillnader över ytterväggarna.

Förutom de tidigare nämnda luftströmmarna genom byggnadens ytterväggar p g a tryckskillnader över dessa kan en ojämn tryckfördelning på byggnaden förorsaka icke önskvärda luftströmmar i ventilerade luftspalter i fasadväggar.

3.1.3 Tryckskillnader p g a skillnader i densitet mellan utomhus- och inomhusluft.

Luftens densitet är temperaturberoende, vilket medför att det uppstår en tryckskillnad mellan varm luft i byggnadens inre och kallare luft utomhus. Maximalt kan övertrycket inomhus uppgå till

$$p = (\rho_{\ell} - \rho_r) g h \quad (3.2)$$

där

ρ_r = inomhusluftens densitet (kg/m^3)

ρ_{ℓ} = utomhusluftens densitet (kg/m^3)

h = byggnadens höjd (m)

Ovanstående ekvation (3.2) beskriver det extrema fallet att byggnadens ytterväggar är helt täta så när som på en öppning vid marknivån där tryckjämvikt föreligger. I normala fall förekommer otätheter i ytterväggarna, såsom ventilationsöppningar o dyl, vilket medför att tryckjämviktsläget förskjuts uppåt i byggnaden. Ett undertryck uppstår i byggnadens nedre del medan övertrycket i byggnadens övre del reduceras. Tryckskillnaden mellan inomhus och utomhusluft är störst vintertid och kan enligt ekvation (3.2) vid 30°C temperaturdifferens maximalt uppgå till ca 25 Pa i en 20 meter hög byggnad.

3.1.4 Tryckskillnader p.g.a. ventilationssystem

Ventilationssystem bör inte arbeta med invändigt övertryck, kondensbildning kan i sådana fall uppkomma då inomhusluft genom otätheter strömmar ut i ytterväggen. I byggnader med frånluftssystem föreligger i allmänhet invändigt undertryck.

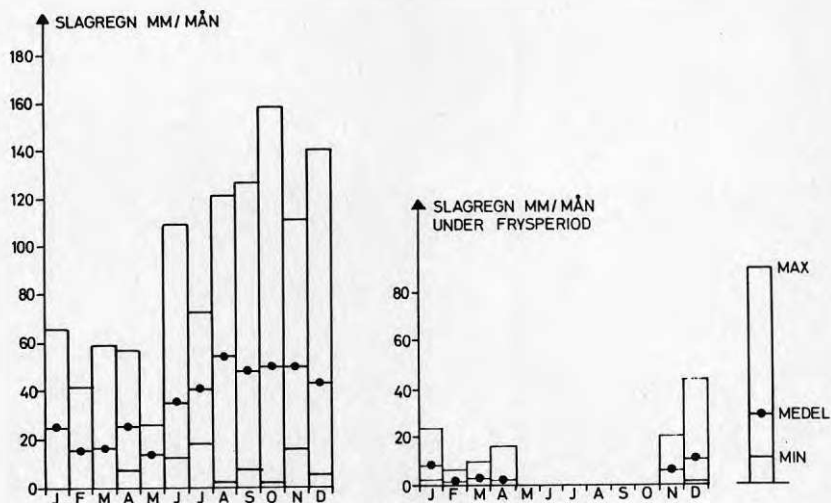
I system med såväl fläktstyrda tilluft- som frånluftsfloeden är det möjligt att hålla invändiga trycket i stort sett lika med normala lufttrycket utomhus.

3.2 Slagregn

3.2.1 Slagregnets egenskaper

Slagregn definieras som ett regns horisontella komponent och är en mycket viktig klimatfaktor som måste beaktas vid utformning av fasadfogar. Slagregnsmängden är den regnmängd som beroende på vindens inverkan träffar en vertikal yta, vinkelrätt mot slagregnets riktning. Slagregnsbelastningen varierar mellan olika platser i landet. Västkusten och Skånes sydkust är mycket utsatta för slagregn. Den dominerande slagregnsriktningen sammanfaller i stort med den dominerande vindriktningen och är i Göteborg S-SV.

Slagregnet fördelas ojämnt på årets månader. Den största slagregnsmängden brukar förekomma under hösten medan senvintern normalt är slagregnsfattig. fig. 3.1.



Figur 3.1 Slagregnets fördelning på de olika månaderna med maximi-minimi- och medelvärden under tioårsperioden 1941-1950 i Göteborg. Enl. Varnbo (1966).

3.2.2 Fritt slagregn

Med begreppet fritt slagregn avses den slagregnmängd som erhålles på öppna fält där inga störningar pga ojämnheter i topografin förekommer. Fritt slagregn har studerats både genom analytiska beräkningar och direkta mätningar.

Om vindhastighet och vertikal nederbördsmängd är kända vid en viss tindpunkt kan slagregnmängden teoretiskt beräknas med hjälp av uttrycket

$$S = N v / v_n \quad (3.3)$$

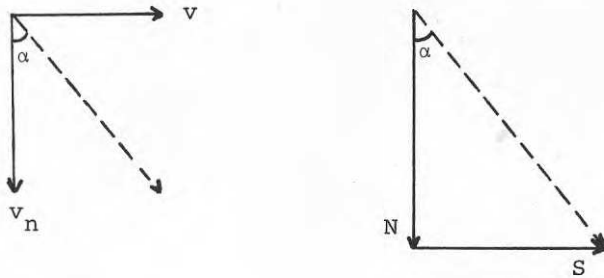
där

S = slagregnsmängd

N = vertikal nederbörds­mängd

v = vindhastighet

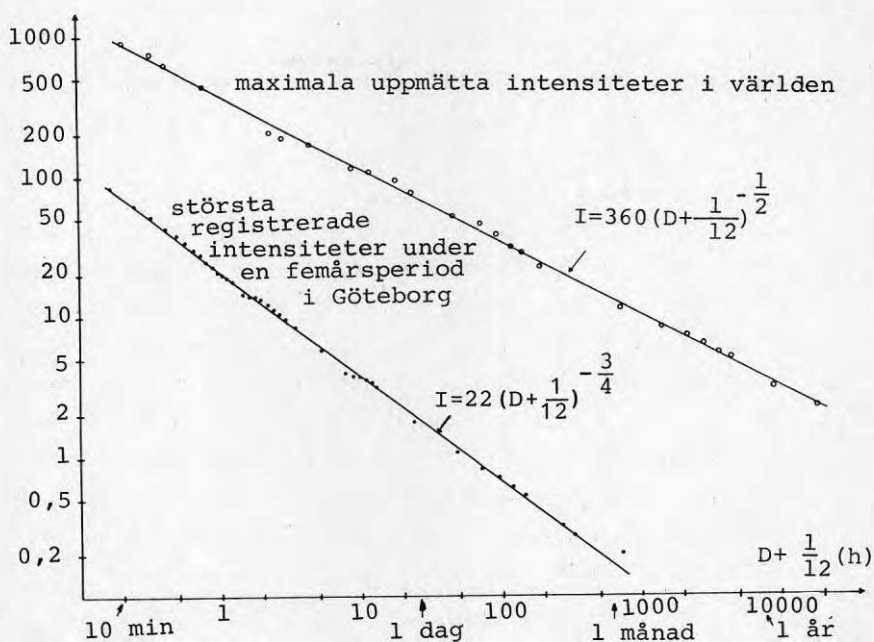
v_n = regndropparnas fallhastighet



Figur 3.2 Förklaring av storheterna i ovanstående ekvation (ekv 3.2). Regndropparna rör sig i den streckade pilens riktning, α är vinkeln mellan regndropparnas rörelseriktning och lodlinjen.

Den vertikala nederbörds­mängden mäts på ett flertal stationer i landet. Förutom SMHI (Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut) bedriver även flera kommuner mätningar i egen regi. Mätningarna vid SMHI:s stationer sker företrädesvis med icke-registrerande nederbörds­mätare på så sätt att uppsamlade vatten­mängder uppmäts en eller flera gånger per dygn av väder­observatören.

På några mätplatser används kontinuerligt registre­rande nederbörds­mätare. Resultat från sådana mätningar är värdefulla då de anger den vertikala nederbörds­intensitet under korta tidsperioder och även informerar om hur intensiteten varierar med tiden under regnets förlopp. Statistisk bearbetning av resultaten ger in­intensitet-varaktighetskurvor för regn med viss återkomst­tid. Exempel på en dylik kurva visas i fig 3.3.



Figur 3.3 Maximal vertikal nederbördsintensitet (I) i förhållande till varaktighet (D). Undre kurvan = största registrerade intensiteter under en femårsperiod i Göteborg. Övre kurvan = maximala uppmätta intensiteter i världen. Enl Lyberg (1979).

Kontinuerliga mätningar av vindhastigheten sker på ett tiotal platser i landet, främst vid civila och militära flygplatser. Vid SMHI's vanliga meteorologiska stationer finns ingen utrustning för mätning av vindhastighet utan observatören bedömer vindstyrkan enligt Beaufort-skalan. Resultaten redovisas i form av bedömd medelvindstyrka vid observations-tillfället.

Regndropparnas fallhastighet är beroende av dropparnas storlek, form och ytspänning samt omgivande luftens tryck, temperatur, viskositet och densitet. Fallhastigheten hos vattendroppar har studerats både teoretiskt och experimentellt av bl a Gunn & Kinzer (1949), Eaton & Hoffer (1969), Beard & Pruppacher (1969) och Berry & Pranger (1974). En medelstor droppes ($\phi \approx 1 \text{ mm}$)

fallhastighet uppgår till 4-5 m/s medan stora droppar ($\phi > 2\text{mm}$) kan uppnå hastigheter på 7-10 m/s.

Flera arbeten finns publicerade där man sökt beräkna slagregnsmängder utgående från meteorologiska data, Hoppestad (1955), Lacy (1965) och Varnbo (1966). Ett problem vid beräkning av slagregnsmängder ur meteorologiska data för nederbörd och vind är att nederbördsräknaren är placerad 1,5 meter över markplanet, medan vindhastigheten uppmäts på 10 meters höjd över marken. På 1,5 meters nivå är vindhastigheten i regel betydligt lägre än på 10-metersnivån. Förhållandena kompliceras ytterligare av att regndropparna p g a sin masströghet kommer att ha en horisontal hastighet som skiljer sig något från vindhastigheten på den aktuella nivån. De ovan beskrivna problemen beaktas genom införande av en konstant i uttrycket för slagregnsmängden

$$S = k v N/v_n \quad (3.4)$$

där

k = dimensionslös konstant

eller

$$S = \kappa v N \quad (3.5)$$

där

$\kappa = k/v_n$ = slagregnskoefficienten

Hoppestad (1955) beräknade slagregnskoefficienten utgående från tvåtimmars data för nederbörd och vind samt jämförande mätningar av slagregnsmängden från fyra orter i Norge. Den på detta sätt beräknade slagregnskoefficienten visade sig variera med geografiskt läge, vindriktning och tidpunkt på året. För de tre åren 1951-1953 erhöll Hoppestad ett medelvärde på slag-

regnskoefficienten för de fyra stationerna på 0,189 s/m, med ett högsta stationsmedelvärde på 0,221 s/m och ett lägsta stationsmedelvärde på 0,130 s/m.

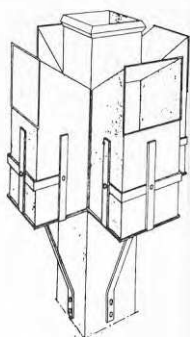
I Sverige har Varnbo (1966) beräknat slagregnsmängden per månad och frekvenser för olika slagregnsriktningar för 29 platser i landet utgående från SMHI's dygnsobservationer av nederbörd och vind för åren 1941-1950. Varnbo har använt ett konstant värde på slagregnskoefficienten = 0,156 s/m vid beräkningarna.

De värden på slagregnsmängder som räknats fram ur nederbörds- och vinddata är mycket beroende av det meteorologiska underlaget, t ex antal observationer per dygn. Resultat publicerade i form av slagregnskartor för ett land, fig. 3.5a, är dock värdefulla då man kan fastställa vilka riktningar som är mest utsatta för slagregnspåverkan på en ort, samt studera hur olika områden och orter i landet förhåller sig till varandra ur slagregnssynpunkt.

Regnmätningar och inte minst mätningar av fritt slagregn är behäftade med många problem och felkällor. Geologiska formationer, vegetation och byggnader m m kan störa slagregnets infall mot mätaren. Slagregnsmätaren i sig utgör ett hinder för luftströmningen och inte obetydliga regnmängder kan undgå att hamna i mätaren. En del av det uppsamlade vattnet kommer att avdunsta mellan mättillfällena. Om man bortser från direkta observatörsfel är i regel den av mätaren uppsamlade slagregnsmängden mindre än den verkliga.

SMHI utförde på uppdrag av SIB (Statens institut för byggnadsforskning) mätningar av fritt slagregn på 14 platser i landet under perioden 1963-1973. Vid mätningarna användes en slagregnsmätare av norsk konstruktion, vars utseende framgår av fig. 3.4. Mätningarna var avsedda att utföras dagligen. Observationerna under

frostperioder är dock mycket osäkra och stora luckor förekommer i datamaterialet vintertid.



Figur 3.4 Slagregnsmätare bestående av fyra mätare med vertikala öppningar åt var sitt väderstreck, samt en mätare med horisontell öppning i mitten

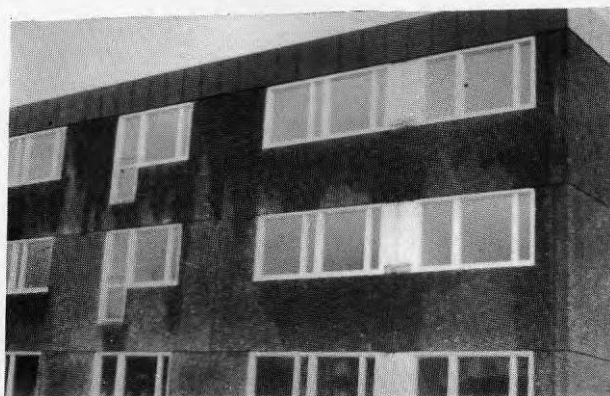
Resultaten av de första fem årens mätningar finns publicerade av Teasler (1972) i form av frekvenser för intervall av uppmätta slagregnsmängder och olika slagregnsriktningar under en-, två- resp. femdygnsperioder.

Järnmark (1968), har upprättat en slagregnskarta baserad på uppmätta värden juli 1963-juni 1968, fig. 3.5b. Det är svårt att jämföra den tidigare omtalade "beräknade" kartan fig. 3.5a med den "uppmätta" kartan fig. 3.5b, då endast ett fåtal stationsplatser är gemensamma. Bilden av slagregnsbelastning och vanligt förekommande slagregnsriktningar överensstämmer i stort mellan de båda kartorna, men differenser i såväl slag-

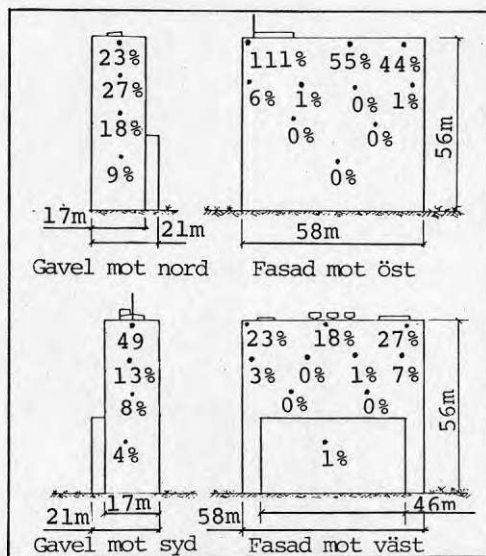
För dimensionering av fasadfogar är kännedom om slagregnets års- eller månadssumma av mindre betydelse. Av större intresse är att känna slagregnets frekvens samt deras intensitet under kortare tidsperioder såsom timme eller delar av timmar. Mätningar av slagregnsintensitet har hittills förekommit i mycket liten utsträckning och några resultat från direkta mätningar utförda i Sverige har inte publicerats. SIB har utfört kontinuerliga mätningar av vertikal nederbörd och vind i Göteborg med syfte att indirekt erhålla det fria slagregnets intensitet, se Lyberg (1979). Sandin (1980) bedömer att 80-90% av fria slagregnen torde ha en medelintensitet som understiger 1 mm/h.

3.2.3 Slagregn mot fasadytor

Att med utgångspunkt från den fria slagregnsmängden ange hur mycket regn som träffar en byggnads fasad är mycket svårt. Byggnaden i sig utgör ett hinder för vinden och dessutom kan andra hinder i omgivningen, såsom andra byggnader, träd och kullar, ytterligare komplicera luftströmningen kring byggnaden och därmed störa slagregnets infall mot fasaden. Slagregnet träffar främst byggnadens hörn och övre delar, medan fasadernas mittpartier och nedre delar träffas i betydligt mindre omfattning, fig. 3.6. Vid takfoten kan i vissa fall regn och snö föras uppåt av luftströmmar och tränga in i fogar och luftspalter med åtföljande vattenskador. Undersökningar har visat att även fasader som ligger i lä för rådande slagregnsriktning kan träffas av mindre regnmängder p g a turbulensen kring byggnaden, Holmgren (1972). I fig. 3.7. visas hur stor andel av det fria slagregnet som uppmätts i olika punkter på fasaderna hos en stor byggnad i Göteborg med planmått 50 x 17 m och höjden 56 m. På fasader med mindre längd och höjd fördelas slagregnet jämnare.

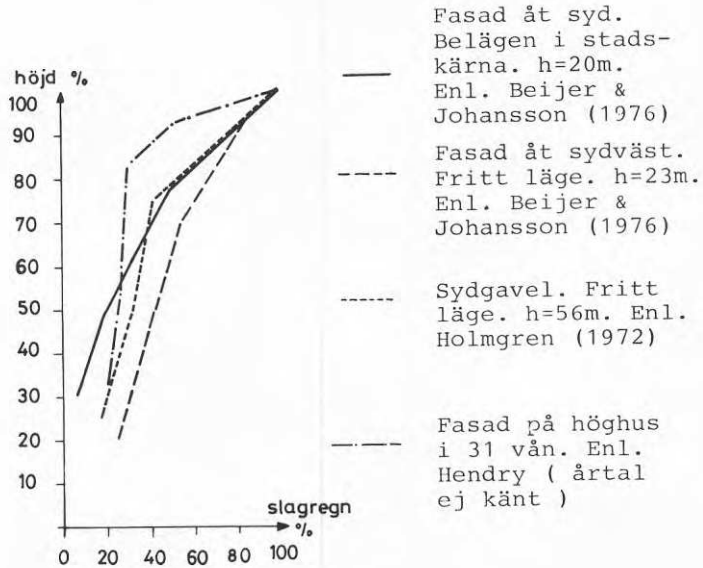


Figur 3.6. Fuktmönster på en fasad fotograferad efter ett slagregn. Fuktmönstret visar att fasadens övre delar har varit mest utsatta för slagregnet.



Figur 3.7 Slagregnsmängd som träffar olika punkter på en byggnads ytterväggar i relation till den fria slagregnsmängden. Enl Holmgren (1972).

I fig. 3.8 jämförs hur slagregnet fördelats på fasaden vid mätningar på 4 olika objekt.



Figur 3.8 Slagregnsfördelning på fyra olika objekt. Objekten är olika höga och olika slagregns-mängder har uppmätts. För att kunna jämföra slagregnsfördelningen för de olika objekten uttrycks slagregnsmängderna i procent av största slagregnsmängden för varje byggnad. (I samtliga fall har denna uppmätts vid byggnadens topp). På samma sätt uttrycks höjden i procent av fasadens totala höjd.

Isaksen (1975) noterade vid mätningar på en byggnad i Bergen med mycket utsatt placering för väder och vind, att fasadslagregnets intensitet kunde uppgå till 15 mm/h under halvannan timme i fasadens mest utsatta punkt. Vid mätningarna på byggnaden i fig. 3.7 uppmättes maximalt 5,5 mm slagregn under en tiominutersperiod respektive 8 mm under en timme inom

den period på 2,5 år det finns mätresultat för.

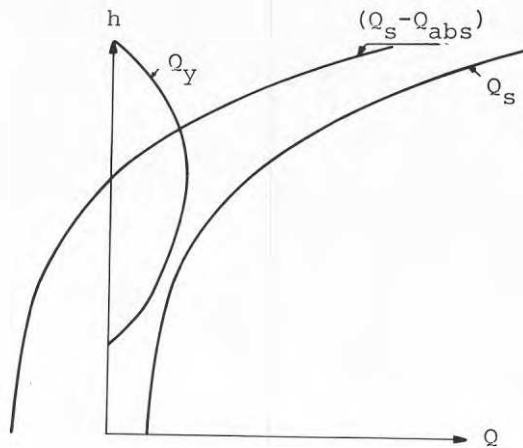
3.2.4 Ytvattenflöden på fasader

Uppkomsten av och storleken hos de ytvattenflöden som kan uppstå på en fasad vid slagregn beror på flera faktorer:

- fasadens orientering i förhållande till den dominerande vindriktningen
- regnets intensitet
- regnets varaktighet
- byggnadens höjd
- fasadmaterialets råhet och absorptionsförmåga
- fasadens utformning t ex fönsterplacering och förekomst av utskjutande lister, fogar o dyl.

Den slagregnsmängd som träffar fasaden absorberas delvis av fasadmaterialet samt bildar av återstoden en ytvattenström, fig. 3.9.

Beijer & Johansson (1976) redovisar mätningar av ytvattenflöden på fyra fasader i Stockholmstrakten. På betongfasadernas övre delar uppmättes flöden av storleksordningen 10 l/m h vid kraftiga slagregn.



Figur 3.9 Principskiss över sambandet mellan slagregnsfördelning på en fasad, fasadmaterialets absorptionsförmåga och uppkommen ytström där Q_s = infallande slagregnmängd, Q_{abs} = absorberad regnmängd, Q_y = förbivunnen vattenmängd

3.2.5 Beräkning av ytvattenflöden

Beijer & Johansson (1976) presenterar en beräkningsmetod som ger möjlighet att bedömma ytvattenströmmens storlek om slagregnets fördelning på fasaden och fasadmaterialets absorptionsförmåga är kända.

Beräkningen av ytvattenflöden sker genom en differenskalkyl, där fasaden indelas i ett antal höjdintervall och regnets hela varaktighet indelas i ett antal tidsintervall. För varje höjdintervall kan den passerande överskottsmängden vatten i ytvattenströmmen under ett tidsintervall beräknas som summan av ovanifrån kommande ytvattenflöde och inom höjdintervallet infallande regnmängd minskat med summan av fasadmaterialet absorberad vattenmängd och den del av vattnet som ackumuleras i ytvattenströmmen p g a att dess vattendjup ökar med ökande transporterad vattenmängd, ekv 3.6,

$$Q_{Y,från} = Q_{Y,till} + Q_s - Q_{abs} - Q_m \quad (3.6)$$

$Q_{Y,från}$ = av ytvattenströmmen bortförd överskottsvattenmängd

$Q_{Y,till}$ = av ytvattenströmmen tillförd överskottsvattenmängd

Q_s = infallande regnmängd

Q_{abs} = av fasadmaterialet absorberad vattenmängd

Q_m = i ytvattenströmmen magasinerad vattenmängd

Vid full vattentillförsel kan den absorberade vattenmängden beräknas enligt följande ekvation:

$$Q_{abs} = c \sqrt{t} \quad (3.7)$$

Q_{abs} = absorberad vattenmängd per ytenhet
[kg/m²] (= [mm])

c = kapillaritetstalet [kg/m²s^{1/2}] (= [mm/s^{1/2}])

t = tiden sedan regnets början [s]

Kapillaritetstalet minskar med ökande fuktinnehåll i fasadmaterialet. För betong uttorkad vid 50% relativ fuktighet anges kapillaritetstalet vid fullständig vattentillgång till 0,020-0,040 kg m²s^{1/2}. Uttorkning under stationära förhållanden respektive uppfuktning med fullständig vattentillgång sker sällan eller aldrig i naturligt klimat. Beijer & Johansson (1976) anger som riktvärden vid beräkning av absorberade vattenängder att kapillaritetstalet kan sättas till 0,010-0,020 kg/m²s^{1/2} vid sommarförhållanden och 0,007-0,013 kg/m²s^{1/2} under de regnrika höstmånaderna. I början av ett regn råder inte full vattentillförsel på fasaden, dvs fasadens absorptionsförmåga är större än den tillförda regnmängden. För att ekv 3.7 skall gälla måste därför tiden från regnstart korrigeras. Enligt Beijer & Johansson (1976) kan den korrigerade tiden beräknas med nedanstående ekvation vid konstant regntillförsel mot fasaden

$$t_1 = t - 0,25 (c/I)^2 \quad (3.8)$$

t_1 = korrigerad tid [s]

I = regnintensitet mot fasaden [mm/s]

vilket ger:

$$Q_{\text{abs}} = c\sqrt{t} - 0,25 (c/I)^2 \quad (3.9)$$

Den ovan beskrivna metoden att beräkna av fasaden absorberade vattenmängder är förenklad. Vid flera på varandra följande slagregn med en viss uttorkning mellan regnen kommer fukttransportmekanismerna att variera och totalförloppet blir mycket komplicerat. (Fukttransportmekanismer presenteras i avsnittet om fuktrörelser.)

Av det inom varje höjdintervall under ett tidsintervall erhållna vattenöverskottet magasineras en del i ytvattenströmmen i form av ökande vattendjup. Denna del är mest betydelsefull i början av ett regn, då ytvattenflödena är små och förhållandena ännu inte stabiliserats. Beijer & Johansson (1976) anger följande empiriska samband mellan ytvattenströmmens djup och ytvattenflödets storlek:

$$d = 76 \sqrt{q_y} \quad (3.10)$$

d = ytvattenströmmens djup [mm]

q_y = ytvattenflöde [$\text{m}^3/\text{m s}$]

$$q_y = Q_{y, \text{från}} / \Delta t \quad (3.11)$$

$Q_{y, \text{från}}$ = av ytvattenströmmen bortförd överskottsvattenmängd under ett tidsintervall [m^3]

Δt = tidsintervallets längd [s]

För varje beräkningssteg (höjdintervall och tidsintervall) måste ytvattenströmmens djup och ytvattenflödets storlek bestämmas iterativt med hjälp av ekvationerna 3.6, 3.10 och 3.11 så att samhörande värden erhålls.

Ur beräkningssynpunkt är det praktiskt att uttrycka vattenmängderna i [mm], då den infallande slagregnsmängden ofta anges i [mm]. Det är lämpligt att vid beräkningarna ange tidsintervallens längd i timmar. Används ovanstående enheter får de iterativa sambanden följande utseende

$$Q_{y,till} + I \Delta t - Q_{abs} = Q_{y,från} + \Delta d \quad (3.12)$$

$$d = 0,04\sqrt{q_y} \quad (3.13)$$

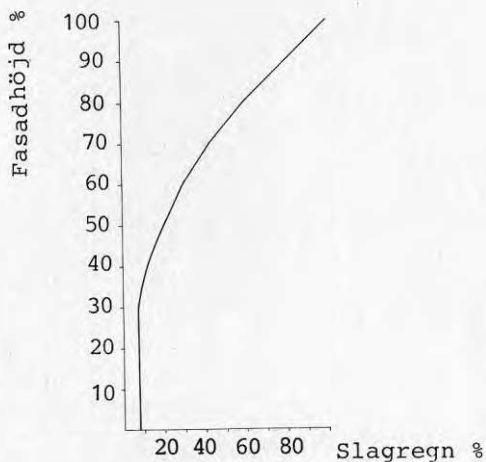
$$q_y = Q_{y,från} \cdot \Delta h / \Delta t \quad (3.14)$$

I tab. 3.1 visas ett exempel på beräkning av ytvattenströmmar på en 30 m hög fasad. Beräkningsgången kan sammanfattas i följande steg.

Tab. 3.1 Exempel på beräkning av ytvattenströmmar för de översta höjdivtervallen på en 30 meter hög fasad. Använd slagregnsfördelning enl. fig. 3.10 med en största intensitet 10 (mm/h) kapillaritetstalet 0.013 ($\text{kg/m}^2\text{s}^{\frac{1}{2}}$).

Nivå	Regn- period	Slag- regn	Tillk. ytström	Abs. period	Abs. mängd	Över- skott	Ökning vatten- djup	Mängd i ytström	Vatten djup	Flöde
(m)	(h)	(mm)	(mm)	(h)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(l/m h)
	t	I Δt	Q_y , till	t_1	Q_{abs}		Δd	Q_y , från	d	qy
30-27	0.02	0.2		0.018	0.106	0.094	0.072	0.022	0.072	3.24
	0.05	0.3		0.048	0.065	0.234	0.084	0.152	0.156	15.13
	0.1	0.5		0.098	0.073	0.427	0.038	0.390	0.193	23.37
	0.2	1.0		0.198	0.102	0.898	0.013	0.884	0.206	26.52
	0.3	1.0		0.298	0.078	0.922	0.004	0.917	0.210	27.51
	0.5	2.0		0.498	0.124	1.876	0.002	1.872	0.212	28.09
	0.7	2.0		0.698	0.101	1.899	0.001	1.897	0.2134	28.46
	1.0	3.0		0.998	0.128	2.872	0.001	2.872	0.2144	28.72
27-24	0.02	0.16	0.022	0.018	0.104	0.078	0.062	0.016	0.062	2.40
	0.05	0.24	0.152	0.048	0.067	0.325	0.119	0.205	0.1812	20.52
	0.1	0.4	0.390	0.098	0.073	0.31	0.716	0.648	0.2494	38.87
	0.2	0.8	0.884	0.198	0.103	1.581	0.024	1.557	0.2734	46.71
	0.3	0.8	0.917	0.298	0.079	1.638	0.006	1.631	0.2798	48.93
	0.5	1.6	1.872	0.498	0.124	3.347	0.003	3.344	0.2833	50.16
	0.7	1.6	1.897	0.698	0.101	3.396	0.002	3.394	0.2854	50.91
	1.0	2.4	2.872	0.998	0.128	5.144	0.001	5.143	0.2869	51.43
24-21	0.02	0.12	0.016	0.015	0.098	0.038	0.034	0.005	0.034	0.72
	0.05	0.18	0.205	0.046	0.068	0.316	0.316	0.186	0.17	18.06
	0.1	0.3	0.648	0.096	0.074	0.873	0.102	0.770	0.279	46.24
	0.2	0.6	1.557	0.196	0.102	2.053	0.039	2.015	0.311	60.45
	0.3	0.6	1.631	0.296	0.079	2.152	0.097	2.142	0.3207	64.28
	0.5	1.2	3.344	0.496	0.125	4.419	0.005	4.415	0.3255	66.21
	0.7	1.2	3.394	0.696	0.101	4.493	0.003	4.490	0.3283	67.35
	1.0	1.8	5.143	0.006	0.128	6.815	0.002	6.813	0.3302	68.13

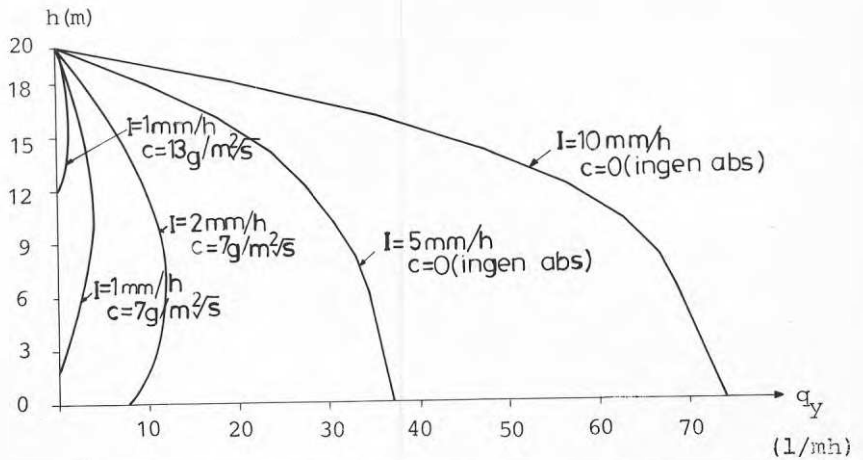
1. Dela in fasaden i ett antal höjdintervall .
Börja beräkningarna med det högst upp liggande höjdintervallet.
2. Utför beräkningarna för ett antal tidsintervall.
Använd korta tidssteg vid regnets början då ytvattenströmmen inte är fullt utbildad.
3. Ur slagregnsfördelningen på fasaden erhålls infallande slagregnsmängd inom varje höjdintervall.
I beräkningarna använd slagregnsfördelning framgår av fig. 3.10.



Figur 3.10 Använd slagregnsfördelning

4. Absorberad vattenmängd bestäms enligt ekv 3.9.
5. Ytvattenströmmens djup och ytvattenflöde erhålls ur ekv 3.12, 3.13, 3.14 genom iterationsberäkning.
6. Upprepa beräkningarna för nästa tidsintervall.
7. Utför motsvarande beräkningar för närmast nedanför liggande höjdintervall.

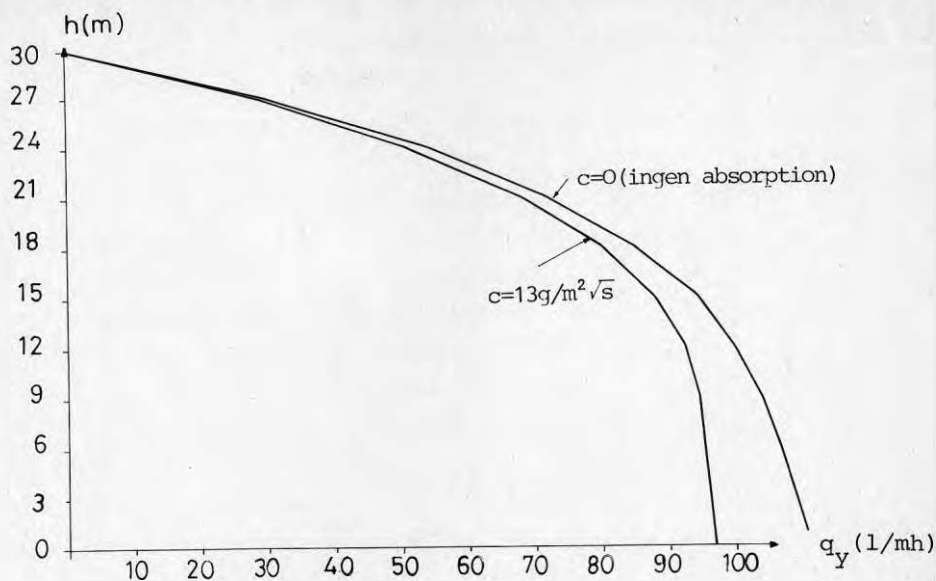
I fig. 3.11 visas beräknade ytvattenströmmar på en 20 m hög fasad efter en timmas regn vid olika absorptionsförmåga hos fasadmaterialet och olika regnintensitet mot fasaden och slagregnsfördelningen enligt fig. 3.10. De i fig. 3.11 angivna regnintensiteterna avser fördelnings största värde (dvs intensitet vid byggnadens topp).



Figur 3.11 Beräknade ytvattenströmmar efter en timmas regn mot en 20 meter hög fasad, vid olika absorptionsförmåga (c) hos fasadmaterialet och olika regnintensitet (I).
 $c = 7\text{ g}$ motsvarar betong (höstförh.)
 $c = 13\text{ g}$ motsvarar betong (sommarförh.)

I verkligheten förekommer inte i Norden regn med konstant intensitet under så långa tidsperioder som beräkningarna avser. Resultaten i fig. 3.11 saknar ändå inte värde då de ger en relativt god uppfattning om hur ytvattenströmmen varierar med olika absorption och regnintensitet.

Vid stora regnintensiteter (över 5 mm/h) kan fasadens absorptionsförmåga försummas vid beräkning av ytvattenflödets storlek fig. 3.12. Tiden för ytvattenströmmens bildande blir dock felaktig vid en sådan approximation. Vid kortvariga regn (varaktighet > 15 min) kan inte denna förenkling användas.



Figur 3.12 Jämförelse mellan beräknade ytvattenströmmar efter en timmas regn mot en 30 meter hög byggnad. I det ena fallet har räknats med absorptionsförmåga hos fasadmaterialet i det andra fallet har den försumrats.

3.3 Övriga påverkningar

Befuktning av luften i byggnader medför en ökad risk för kondensbildning i ytterväggarna orsakad av luftströmning i sprickor och spalter. Det finns flera exempel på fuktskador som uppkommit när klimatanläggningar med befuktad luft installerats i byggnader, se "Fukt i fasader", J & W (1968). Vid befuktad luft måste den invändiga lufttätningen av ytterväggarna utformas och utföras med speciellt stor noggrannhet.

Foggrörelser orsakade av längdändringar i omgivande byggnadsdelar och byggnadens stomme innebär belastningar på fasadfogarna och de material som används i dessa. I kap 4 behandlas foggrörelser närmare. Fogningsmaterial kan även påverkas av solljus, ozon, kemiska föroreningar m m. Dyliga påverkningar studeras inte i denna rapport.

4. FOGRÖRELSER OCH TOLERANSER

4.1 Påverkan av fogrörelser - Problembeskrivning.

Fasadfogar och däri ingående material har begränsad förmåga att uppta fogrörelser. Detta innebär att en fasadfog enbart kan upprätthålla en tillfredsställande funktion inom ett visst fogbreddsintervall. Kunskap om framtida fogrörelser är vid projektering av en byggnad väsentlig för ett korrekt val av fogutformning, fogbredd och fogningsmaterial.

Rörelser i fogar mellan fasadelement förorsakas främst av temperatur- och fuktighetsvariationer, krympning och krypning hos såväl element som byggnadsstomme samt sättningar i byggnadens grund. I avsnitten 4.2 - 4.6 studeras de nämnda faktorernas inverkan på fogrörelserna. Fogrörelserna hos ett sandwichelement i Göteborg beräknas för ett år med "normala" klimatpåverkningar. De beräkningsmetoder för temperatur- respektive fuktbetingade rörelser som presenteras är baserade på avhandlingar av Nylund (1975) respektive Sandberg (1973).

4.2 Temperaturbetingade rörelser.

4.2.1 Inledning.

Rörelser orsakade av temperaturändringar i fasadskivorna utgör en stor andel av de sammanlagda rörelserna. Storleken av dessa rörelser kan bedömas med hjälp av olika beräkningsmetoder.

Temperaturtillståndet i fasadskivorna förändras dels under året beroende på årstiderna dels under dygnet på grund av växlingar mellan natt och dag. Det är därför lämpligt att vid studiet av de temperaturbetingade rörelserna dela upp dessa i en årsvarierande rörelse som överlagras av en dygnsvarierande.

4.2.2 Temperaturförhållanden vid fasadens yta.

Temperaturtillståndet vid fasadytan kan beskrivas av den ekvivalenta utetemperaturen, som är summan av lufttemperaturen och ett temperaturtillskott p.g.a. strålning

$$T_e = T_l + \frac{a}{\alpha_y} I \quad (4.1)$$

där a = fasadytans absorptionsfaktor för kortvågig strålning

α_y = yttre värmeövergångskoefficient [$W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$]

I = strålningsintensitet [W/m^2]

T_e = ekvivalent utetemperatur [$^\circ\text{C}$]

T_l = lufttemperatur [$^\circ\text{C}$]

Absorptionsfaktorn för solstrålning är bl. a. beroende av fasadytans struktur, ålder, ljushet och kulör. I tab. 4.1 redovisas några värden på absorptionsfaktorn a för olika material enligt Brown & Isfält (1974). För beräkning av rörelser hos fasadskivor av betong är $a = 0.8$ ett värde som ofta används (Nylund (1975) och Beijer (1976)).

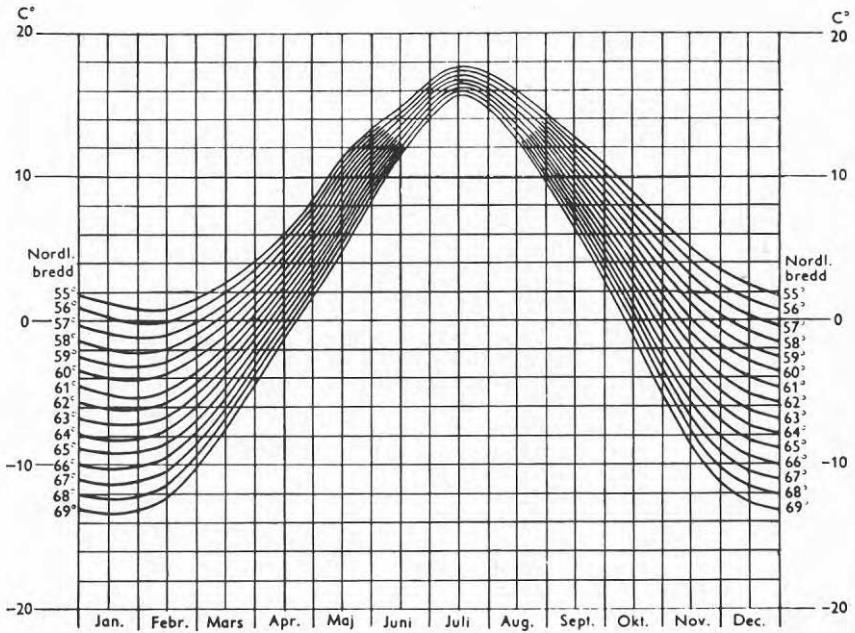
Tabell 4.1 Absorptionsfaktor för solstrålning mot olika ytor.

Ytans egenskaper	absorptionsfaktor a
Ljusa färger, gult och ljusrött tegel	0.50
Ny betong, asbestcement, mörkrött tegel	0.70
Äldre betong	0.75
Sand, makadam	0.80
Asfaltbeläggning, skiffer	0.90

Den yttre värmeövergångskoefficientens, α_y , storlek påverkas bl. a. av luftrörelser nära fasadytan.

Vid beräkningarna har ett konstant värde $\alpha_y = 16 [W/m^2\text{ }^\circ\text{C}]$ använts, vilket bl a anges av Höglund (1973).

Lufttemperaturens års- och dygnsvariation finns tillgänglig från meteorologisk statistik t. ex. i VVS-handboken (1963), Adamson (1970) och Taesler (1972). I fig. 4.1 visas hur dygnsmedelvärdet hos lufttemperaturen varierar under året på olika latituder.



Figur 4.1 Lufttemperaturens årsvariation vid havets nivå på olika latituder i Sverige. Enl. VVS-handboken (1963).

I dygnsvariationen av ekvivalent utetemperatur dominerar strålningsandelen i förhållande till lufttemperaturandelen. Med tanke på detta och då dessutom storleken av lufttemperaturens dygnsvariation är ungefär densamma för hela landet och för olika tider på året, föreslår Nylund (1975) följande samband för lufttemperaturens dygnsvariation:

$$T_{\ell d} = 5 \cos(15n-180) \quad (4.2)$$

där $T_{\ell d}$ = lufttemperaturens dygnsvariation [$^{\circ}\text{C}$]
 n = timma på dygnet (0-24 h)

Ekvationen anger att lufttemperaturen varierar sinusformigt över dygnet med en amplitud på 5°C .

I verkligheten är inte variationen helt sinusformig - avvikelserna är störst under natten och morgonen och kan då maximalt uppgå till ungefär 1°C . Amplituden 5°C ligger något i överkant för de flesta platser i Sverige. I ekvation (4.2) uppträder maximitemperaturen exakt klockan 12 på dagen men i verkligheten är lufttemperaturen högst någon timma senare. De ovan angivna bristerna i ekvation (4.2) är små med tanke på att lufttemperaturens variation endast utgör en mindre del av ekvivalenta utetemperaturens dygnsvariation och motiverar i detta fall inte användandet av ett mera komplicerat uttryck, som bättre beskriver de verkliga förhållandena.

Solinstrålningens intensitet mot vertikala ytor varierar såväl under året som under dygnet. Andra faktorer av betydelse för strålningsintensiteten är byggnadens geografiska belägenhet samt åt vilket väderstreck fasaden är orienterad. Skuggverkan från andra byggnader och föremål kan ytterligare komplicera förhållandena. Höglund & Stephenson (1968) redovisar solinstrålning genom englasfönster under årets månader på olika latituder och för olika fasadriktning. Nylund (1975) har bearbetat dessa värden och föreslår följande approximativa uttryck för beräkning av resulterande temperaturvariation orsakad av den kortvåviga strålningen (jfr ekv. 4.1).

$$T_{s\bar{a}} = \frac{a}{\alpha_y} I_{med} \quad (4.3)$$

$$T_{sd} = \frac{a}{\alpha_y} (1.57 I_{med} \cos(15n-180) + (I_{max} - 2.57 I_{med}) \cos 30n) \quad (4.4)$$

där T_{sa} = temperaturvariation under året p.g.a. strålning [$^{\circ}\text{C}$]
 T_{sd} = temperaturvariation under dygnet p.g.a. strålning [$^{\circ}\text{C}$]
 I_{med} = strålningens dygnsmedelvärde [W/m^2]
 I_{max} = strålningens maxvärde [W/m^2]
 a, α_y och n enligt föregående

Lägg märke till att strålningens dygnsmedelvärde I_{med} avser strålningsintensitetens medelvärde under hela dygnet, vilket innebär att strålningen fördelas jämnt på samtliga dygnets timmar även de helt mörka.

Det approximativa uttrycken för strålningens variation, ekvation (4.3) och (4.4) ger god överensstämmelse med verkligheten för sommarmånaderna. För årets övriga månader är överensstämmelsen sämre beroende på att ekvationerna ger negativa värden på strålningen för vissa timmar på dygnet. Om sambanden korrigeras så att strålningen sätts lika med noll vid de tillfällena då ekvationerna ger negativa värden fungerar beräkningarna tillfredsställande för alla årets månader. De approximativa uttryckens noggrannhet utreds närmare i Nylund (1975).

Strålningens dygnsmedelvärde, I_{med} , och maximivärde, I_{max} , redovisas i tab. 4.2 för olika tider på året, latituder och väderstreck.

Under april till augusti är solstrålningens intensitet störst mot fasader som vetter mot sydväst eller väst, vilket medför att temperaturen under sommarmånaderna blir högst på sådana fasader. Uttrycket för strålningens dygnsvariation, ekv. 4.4, är uppställt för strålning från söder, som har sitt maximivärde vid middagstid. Strålning från övriga väderstreck har maximivärden vid andra tidpunkter på dagen. För att erhålla rätt strålningsintensitet vid rätt tidpunkt på dagen måste strålningsvariationen tidsförskjutas. Tidpunkten för I_{max} vid olika väder-

Tabell 4.2 Medelvärde I_{med} och maximivärde I_{max} av kortvågig strålning [W/m^2] vid fasader mot syd, sydväst och väst under olika månader och olika latituder. Baserad på Höglund & Stephenson (1968)

lat ^o N	syd $I_{\text{med}}/I_{\text{max}}$						sydväst $I_{\text{med}}/I_{\text{max}}$						väst $I_{\text{med}}/I_{\text{max}}$								
	56	58	60	62	64	66	56	58	60	62	64	66	56	58	60	62	64	66	68		
Jan.	173/808	150/760	121/693	94/603	65/473	31/294	4/71	122/675	105/628	84/563	65/474	46/352	22/208	2/48	40/319	31/279	21/229	14/161	9/84	3/44	≈0/3
febr.	241/913	234/902	225/885	213/862	198/832	179/790	158/736	147/779	171/832	163/810	154/774	142/730	127/672	111/618	81/568	76/539	70/505	63/463	55/413	46/350	38/299
mars	253/884	255/893	255/898	255/900	253/899	250/894	245/882	217/885	216/883	215/880	212/876	208/865	205/853	199/838	136/441	132/423	128/705	124/682	119/662	114/635	108/605
apr.	221/782	228/803	235/822	241/837	246/850	251/862	255/871	227/858	231/864	235/869	239/870	242/872	246/879	248/876	179/831	179/825	181/818	183/811	185/803	186/795	187/782
maj	188/674	197/699	206/723	215/748	223/768	231/787	239/804	221/780	227/792	233/804	239/815	244/823	251/835	256/842	215/854	218/854	221/853	225/852	228/852	232/850	239/846
juni	173/620	182/646	192/674	201/699	211/723	220/743	229/765	212/735	218/750	224/765	231/779	237/789	243/799	250/812	223/844	226/844	229/847	241/845	241/844	247/843	253/840
juli	183/658	192/683	201/709	209/730	218/752	226/772	234/788	216/763	222/776	228/788	234/799	239/807	245/805	251/827	217/837	215/836	218/836	221/836	222/835	229/834	236/829
aug.	211/754	218/773	225/792	230/805	235/818	240/830	244/839	217/819	221/823	225/830	228/835	232/837	235/839	238/841	172/789	172/789	175/784	176/777	177/770	178/760	179/749
sept.	242/855	242/859	242/863	241/863	238/858	234/849	229/838	206/849	196/851	201/842	199/832	195/821	190/805	183/786	126/690	123/672	119/651	114/628	109/604	104/575	98/544
okt.	226/870	218/854	209/837	197/811	181/775	163/732	141/671	166/809	160/784	152/754	142/719	130/670	116/630	100/564	75/527	70/497	64/461	57/420	50/369	42/308	34/269
nov.	166/781	143/730	115/662	88/569	61/445	29/274	4/0	117/652	100/602	80/537	62/450	43/331	21/195	3/50	38/305	29/266	20/215	13/151	8/78	3/40	≈0/3
dec.	123/711	99/629	76/513	39/350	9/131	0/0	0/0	86/679	69/497	50/384	27/245	6/90	0/0	0/0	21/299	14/164	10/90	4/52	1/6	0/0	0/0

streck kan erhållas ur solstrålningstabeller. Är man endast intresserad av temperaturrörelsernas storlek och inte söker tidpunkten på dygnet då extremvärdena uppträder behöver inte den ovan beskrivna tidsförskjutningen utföras.

I ovanstående redovisning har inverkan av långvågig strålning inte beaktats. Om hänsyn tas till långvågig strålning innebär det att ekvivalenta utetemperaturen sänks. Sänkningen är större för en natt med klar himmel under vintern än för en molnig sommarkdag. I Göteborg kan maximala sänkningen av ekvivalenta utetemperaturen under vintern p.g.a. långvågig strålning uppgå till cirka tre grader, medan motsvarande sänkning under sommaren kan vara halvannan grad.

Ett uttryck som korrigerar den ekvivalenta utetemperaturen med hänsyn till det långvågiga strålningsutbytet vid en byggnads ytteryta anges av Höglund (1973)

$$T_e = T_\ell + \frac{a}{\alpha_y} I + \frac{\alpha_s}{\alpha_y} (T_g - T_\ell) \quad (4.5)$$

där α_s = värmeövergångstalen för långvågig strålning
[W/m²°C]

T_g = effektiva motstrålningstemperaturen [°C]

Kvoten α_s/α_y kan för de flesta byggnadsmaterial i vertikala yttertor sättas till 0,4 under dagen och 0,5 nattetid.

Den effektiva motstrålningstemperaturen definieras som temperaturen hos en fiktiv absolut svart yta (absorptionsfaktor a=1,0) som omger ytterytan och ger samma motstrålning som den verkliga omgivningen.

Vid helt klar himmel kan effektiva motstrålningstemperaturen för vertikala ytor uppskattas till

$$T_g = 1.1 T_\ell - 5^\circ\text{C} \quad (4.6)$$

4.2.3 Temperaturfördelning i fasadens tjockleksriktning

De årsvarierande temperaturförändringarna på fasadens utsida sker så långsamt att stationära jämviktslägen, med linjär temperaturfördelning över fasadskivans olika skikt kan anses hinna uppstå. En sådan temperaturfördelning kan lätt beräknas om de olika skiktens värmemotstånd samt yttre och inre värmeövergångsmotstånd är kända.

De dygnsvarierande temperaturförändringarna ger upphov till icke-stationära temperaturfördelningar i fasad-elementet, vilket approximativt kan beräknas med hjälp av differentialekvationen för en-dimensionell värmeledning

$$\partial T / \partial t = a \partial^2 T / \partial x^2 \quad (4.7)$$

där a = temperaturledningstalen [m^2/s]

x = koordinat i skivans tjockleksriktning [m]

Det är inte möjligt att finna allmänna lösningar till denna ekvation för godtyckligt varierande utetemperatur.

En harmoniskt varierande utetemperatur, av den typ som beskrivs i ekv. (4.2) och ekv. (4.4), ger i en punkt längre in i skivan en variation av temperaturen som är dämpad och fasförskjuten i förhållande till utetemperaturen. Nylund (1975) redovisar kurvor för dämpning och fasförskjutning vid den yttre betongskivans ytter- och inneryta vid olika konstruktions-tjocklek, fig. 4.2. Om uttrycken 4.2 och 4.4 adderas och dämpning och fasförskjutning enligt fig. 4.2 insätts i det resulterande sambandet erhålls följande ekvationer:

$$T_{Yd} = r_{Y_{24}} \left(5 + \frac{a}{\alpha_Y} 1.57 I_{med} \right) \cos(15n - 180 - \varphi_{Y_{24}}) +$$

$$+ r_{Y_{12}} \frac{a}{\alpha_Y} (I_{max} - 2.57 I_{med}) \cos(30n - \varphi_{Y_{12}}) \quad (4.8)$$

$$T_{id} = r_{i_{24}} \left(5 + \frac{a}{\alpha_Y} 1.57 I_{med} \right) \cos(15n - 180 - \varphi_{i_{24}}) +$$

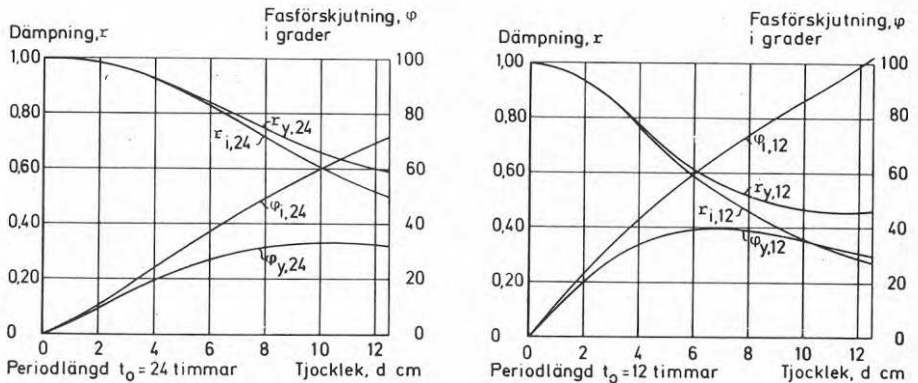
$$+ r_{i_{12}} \frac{a}{\alpha_Y} (I_{max} - 2.57 I_{med}) \cos(30n - \varphi_{i_{12}}) \quad (4.9)$$

där T_{Yd} = Temperaturvariationen i ytter-skivans
ytteryta under dygnet i_{OC}

T_{id} = Temperaturvariationen i ytter-skivans
inneryta under dygnet i_{OC}

$r_{Y_{24}}$, $r_{Y_{12}}$, $r_{i_{24}}$, $r_{i_{12}}$, $\varphi_{Y_{24}}$, $\varphi_{Y_{12}}$, $\varphi_{i_{24}}$ och $\varphi_{i_{12}}$ =

= dämpning och fasförskjutning enligt fig. 4.2.

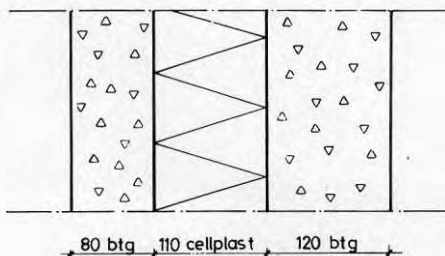


Figur 4.2 Diagram för bestämning av dämpning och fasförskjutning vid ytter- och inneryta hos fasadskiva av betong. Värdena är ungefärligen giltiga även för murverk av kalksandsten. Enl. Nylund (1975).

Beträffande förenklingar och approximationer vid härledning av kurvorna i fig. 4.2, se Nylund (1975). Det bör påpekas att såväl dämpning som fasförskjutning är materialberoende och att t. ex. fuktförhållandena i betongen påverkar de icke-stationära temperaturförloppen. Ekvationerna (4.8) och (4.9) ger emellertid temperaturfördelningen under dygnet med tillräcklig noggrannhet för studier av fogrörelser.

4.2.4 Exempel på beräkning av temperaturbetingade rörelser.

För att visa tillämpningen av tidigare beskriven beräkningsmetod beräknas de temperaturberoende fogrörelserna under året för en betongelementfasad i Göteborg (lat. 58°N). Fasadelementens utformning framgår av fig. 4.3.



Figur 4.3 Tvärsektion av fasadelement

För beräkningen erforderliga materialdata m.m. :

fasadytans absorptionsfaktor a	= 0,8
yttre värmeövergångskoefficient α_y	= 16 [W/m ² °C]
inre värmeövergångskoefficient α_i	= 9 [W/m ² °C]
betongens värmeledningsförmåga λ_{btg}	= 1,5 [W/m°C]
cellplastens värmeledningsförmåga λ_{isol}	= 0,04 [W/m°C]
betongens längdutvidgningskoefficient α	= 10 ⁻⁵ [°C ⁻¹]
rumstemperatur T_r	= 20°C

Årsvarierande temperaturbetingad rörelse:

Beräkning redovisas för enbart södervägg under mars månad.

Ekvivalent utetemperatur:

$$T_{e\dot{a}} = T_{l\dot{a}} + \frac{a}{\alpha_y} I_{med}$$

För mars månad:

$$T_{l\dot{a}} = 0,5^{\circ}\text{C} \text{ (ur fig. 4.1)}$$

$$I_{med} = 255 \text{ W/m}^2 \text{ (ur tab. 4.2)}$$

$$T_{e\dot{a}} = 0,5 + \frac{0,8}{16} 255 = 13,3^{\circ}\text{C}$$

Väggens värmemotstånd:

$$\begin{aligned} \Sigma_m &= m_y + m_1 + m_2 + m_3 + m_i \\ &= 3,06 [\text{m}^2\text{K/W}] \end{aligned}$$

Ytterskivans yttemperaturer:

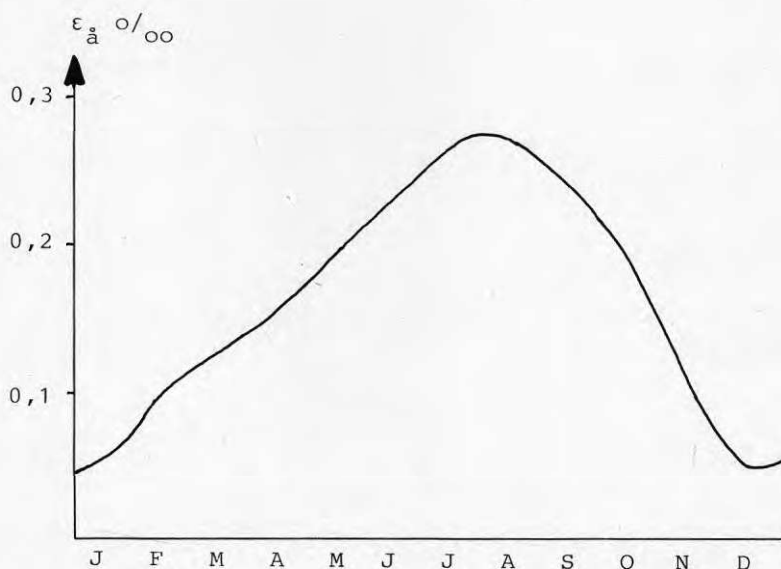
$$T_{y\dot{a}} = T_{e\dot{a}} + \frac{m_y}{\Sigma_m} (T_r - T_{e\dot{a}}) = 13,4^{\circ}\text{C}$$

$$T_{i\dot{a}} = T_{e\dot{a}} + \frac{m_y + m_1}{\Sigma_m} (T_r - T_{e\dot{a}}) = 13,6^{\circ}\text{C}$$

Längdändring i ytterskivans mittplan (relativt nollgradigt tillstånd):

$$\epsilon_{\dot{a}} = \alpha \frac{(T_{i\dot{a}} + T_{y\dot{a}})}{2} = 0,135 \text{‰}$$

I fig. 4.4 redovisas kurvor för den årsvarierande längdändringen hos fasadelement enl. fig. 4.14 som vetter mot söder.



Figur 4.4 Årsvarierande längdändringar relativt nollgradigt tillstånd i ytterskivans mittplan hos fasadelementen i beräknings-exemplet.

Dygnsvarierande temperaturbetingad rörelse:

Dämpning och fasförskjutning för sandwichelementets 80 mm tjocka ytterskiva erhålles ur fig. 4.2.

Ytteryta:

$$\begin{aligned} r_{Y_{24}} &= 0,75 \\ \varphi_{Y_{24}} &= 32^{\circ} \\ r_{Y_{12}} &= 0,52 \\ \varphi_{Y_{12}} &= 39^{\circ} \end{aligned}$$

Inneryta:

$$\begin{aligned} r_{i_{24}} &= 0,72 \\ \varphi_{i_{24}} &= 49^{\circ} \\ r_{i_{12}} &= 0,46 \\ \varphi_{i_{12}} &= 74^{\circ} \end{aligned}$$

Ytterskivans yttemperaturer erhålles enl. ekv. (4.8) och (4.9).

Genom att prova ett antal värden på n , erhålles maximal temperatur i skivan för $n = 14$: (dygnets fjortonde timma)

$$T_{yd} = 24,5^{\circ}\text{C}$$

$$T_{id} = 22,3^{\circ}\text{C}$$

På liknande sätt erhålles lägsta temperatur i skivan för $n = 5$.

$$T_{yd} = -15,9^{\circ}\text{C}$$

$$T_{id} = -14,9^{\circ}\text{C}$$

Då mars är en av de månader då de approximativa uttrycken 4.8 och 4.9 gäller mindre väl, måste kontrolleras att beräkningen ej innehåller negativt totalt temperaturtillskott p g a strålning

$$T_{yd \text{ min}} = r_{Y_{24}} \left(-5 - \frac{a}{\alpha_Y} I_{med} \right) = -13,3^{\circ}\text{C}$$

$$T_{id \text{ min}} = r_{i_{24}} \left(-5 - \frac{a}{\alpha_Y} I_{med} \right) = -12,8^{\circ}\text{C}$$

vilket innebär ett ändrat värde på lägsta beräknade temperatur hos fasadelementet.

Utgående från ovan beräknade temperaturer kan längdändringen i ytterskivans mittplan beräknas enligt

$$\epsilon_d = \epsilon_{dmax} - \epsilon_{dmin}$$

Temperaturen i skivans mittplan erhålls av uttrycket $[T_{id} + (T_{yd} - T_{id})/3]$, där divisionen med 3 approximativt reglerar inverkan av den icke-linjära temperaturfördelningen.

$$\epsilon_{dmax} = 0,231^{\circ}/\infty$$

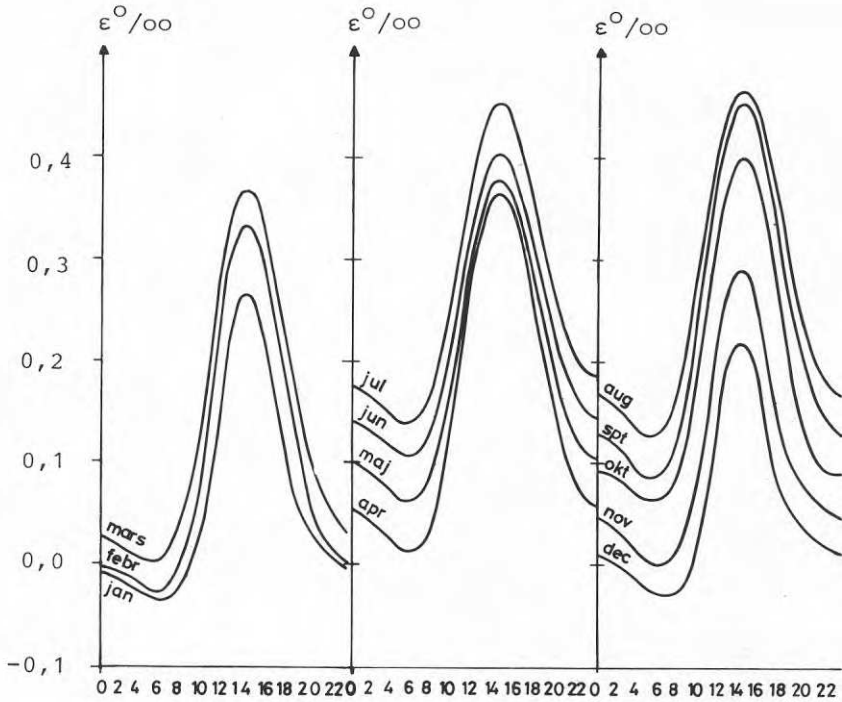
$$\epsilon_{dmin} = 0,130^{\circ}/\infty$$

$$\epsilon_d = 0,231 + 0,130 = 0,361^{\circ}/\infty$$

I fig. 4.5 redovisas kurvor för den dygnsvarierande längdändringen relativt nollgradigt tillstånd för fasadelement mot söder under årets månader.

Figuren kan även användas för att beräkna den totala rörelsen förorsakad av temperaturvariationer. Den temperaturbetingade rörelsen har i detta exempel sin största värde i augusti och sitt minsta värde i januari. Den maximala temperaturberoende breddvariationen hos en fog mellan 5 m långa fasadelement av den typ som använts i beräkningsexemplet, kan lätt erhållas ur fig. 4.5

$$u_{max} = \epsilon_{max} l = 0,504 \cdot 5 = 2,52 \text{ mm}$$



Figur 4.5 Dygnsvarierande längdändringar relativt nollgradigt tillstånd hos fasadelementen i beräkningsexemplet för söderläge och olika månader. Figuren kan även användas till att beräkna totala längdändringar mellan olika månader.

4.3 Fuktbetingade rörelser

4.3.1 Inledning

Fuktvariationer i byggnadstomme och fasadelement ger upphov till breddändringar hos fasadfogar. Under de första åren efter ett betongelements gjutning orsakar uttorkningen av begynnelsefukten en krympning. Byggnadsstommen uppvisar motsvarande krympningsrörelse. Fuktinnehållet i fasadelementen varierar under året, beroende på variation i temperatur och relativ luftfuktighet, vilket medför rörelser.

De årsvarierande fuktbetingade rörelserna hos fasadelementen är oftast motriktade de temperaturbetingade rörelserna. I vissa fall kan fukt- och temperaturrörelser samverka p.g.a. att förändringar i betongens fuktinnehåll sker betydligt långsammare än förändringar av dess temperaturtillstånd.

4.3.2 Teoretiska beräkningsmodeller för fukttransport

Fukttransport brukar ofta behandlas som en form av potentialströmning d.v.s. fuktflödet beskrivs med hjälp av en transportkoefficient (k) och en fuktpotential (ψ)

$$g = -k \cdot \text{grad } \psi \quad (4.10)$$

Fuktpotentialen ψ är en icke mätbar storhet som man försöker relatera till olika kända mätbara storheter t. ex. vattenångans partialtryck, ånghalt, relativ fuktighet, temperatur, fukthalt och kapillär sugningsförmåga.

I de nedan presenterade beräkningsmodellerna har antagits att all fukttransport orsakas av variationer i fuktstillstånd mellan olika delar av konstruktionen.

Transport av fukt p.g.a. luftströmmar genom otätheter (fuktkonvektion) beaktas inte. Vidare studeras endast endimensionella fuktflöden.

I en beräkningsmodell som använts av bl. a. Vos (1967) relateras fuktpotentialen till ånghalt och fukthalt enligt:

$$g = -\left(\delta \frac{\partial c}{\partial x} + k \frac{\partial w}{\partial x}\right) \quad (4.11)$$

g = transporterad fuktmängd [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$]

δ = diffusionstal [m^2/s]

k = kapillärledningstal [m^2/s]

c = ånghalt [kg/m^3]

w = fukthalt [kg/m^3]

Kombineras ovanstående ekvation (4.11) med ett kontinuitets samband erhålls för endimensionell strömning

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\delta \frac{\partial c}{\partial x} + k \frac{\partial w}{\partial x} \right) \quad (4.12)$$

Sandberg (1970 och 1973) har utarbetat ett datorprogram för numerisk lösning av denna ekvation, och redovisar beräkningar av ett antal byggnadsdelars (bl. a. sandwichelements) fuktbalans i naturligt klimat. Beijer (1976) har använt datorprogrammet till att studera hur olika storheter påverkar beräkningarna med syfte att bestämma så korrekta materialkoefficienter som möjligt.

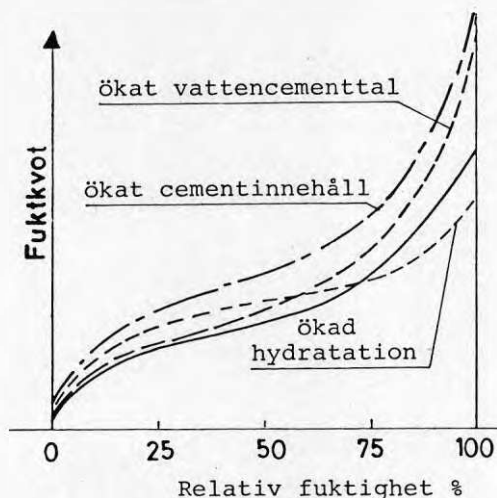
4.3.3 Parametrar av betydelse för fukttransport och fuktbetingade rörelser

De parametrar som är av betydelse för fukttransport i en konstruktion är de ingående materialens förmåga att binda vatten (fukt), diffusionstal och kapillärledningstal. Fuktfixeringen i ett material beskrivs av sorptionskurvan för materialet, som ger sambandet mellan luftens ånghalt och materialets fukthalt vid

jämnvikt. Sorptionskurvan för betong varierar med betongens sammansättning, fig. 4.6. Kurvan för desorption ligger på en högre nivå än absorptionskurvan.

Mätningar av uteluftens ånghalt (absoluta fuktigheten) finns sparsamt redovisade, ånghalten kan dock bestämmas indirekt ur samhörande data för temperatur och relativ fuktighet. Uteluftens relativa fuktighet kan erhållas ur meteorologisk statistik (tab. 4.3).

Ånghalten inomhus följer i stort variationerna i uteluftens fukttinnehåll, men beroende på fukttillskott från kök, badrum och transpiration m.m. är inneluften fuktigare än uteluften. Totala fukttillskottet i bostäder är av storleken 0,002 - 0,003 kg/m³.



Figur 4.6 Sorptionskurvas utseende vid olika förändringar av betongens sammansättning.

Tabell 4.3 Månadsmedelvärden av relativ luftfuktighet %
(ur SMHI:s statistik, mätperiod 1931-60)

	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
Kiruna	83	82	77	71	64	61	68	72	77	81	85	85
Umeå	85	83	80	76	66	66	72	77	83	86	88	87
Östersund	86	84	80	76	69	70	74	75	82	85	88	87
Stockholm	85	81	78	72	65	66	72	75	81	84	88	87
Göteborg	85	82	77	71	66	69	73	74	79	81	84	86
Lund	89	88	84	76	71	73	78	79	84	87	89	91

Diffusionstal och kapillärledningstal för ett material är svåra att bestämma och varierar i regel med materialets fukthalt. Sandberg (1970) har i sitt datorprogram antaget ett konstant värde på diffusions-talet, samt visat att en fördubbling av det antagna värdet endast påverkar resultatet så att den beräknade uttorkningen av begynnelsefukten sker snabbare medan de årsvarierande fuktrörelserna inte påverkas nämnvärt. Kapillärledningstalet stiget vid en viss fukthalt (den kritiska fukthalten, w_k) från ett lågt värde till ett högt värde. Vid fukthalter över det kritiska värdet dominerar kapillärtransporten, medan den vid lägre värden är nästan försumbar. I praktiken torde den kritiska fukthalten endast överstigas under tiden för begynnelsefuktens uttorkning, samt vid slagregn och kondensation i områden närmast fasadskivornas ytor. Detta innebär att vid beräkning av årsvarierande fuktrörelser, små felaktigheter i val av kritisk fukthalt och kapillärledningstal har mindre betydelse.

De av fukthaltsvariationerna orsakade rörelserna kan enligt Beijer (1976) uppgå till omkring 0,1 promille längdändring/volympromcent fukthaltsändring hos betongmaterialet.

4.3.4 Isoleringstypens betydelse för fuktbetingade rörelserna hos sandwichelement

De två oftast använda isoleringsmaterialen i fasadelement är cellplast och mineralull. Vid studier av fuktbetingade rörelser föreligger en skillnad vid användning av dessa isoleringsmaterial, eftersom mineralull är betydligt ånggenomsläppligare än cellplast. Detta innebär att ett större och snabbare fuktutbyte äger rum mellan betongskivorna i ett sandwichelement med mineralullsisolering än i ett motsvarande element med isolering av cellplast. De största fuktbetingade rörelserna erhålls p.g.a. detta hos fasadelement med mineralullsisolering, fig. 4.9. Vid redovisning av temperaturbetingade rörelser behövs däremot inte göra någon åtskillnad mellan dessa material då de har i stort sett samma värmeledningsförmåga.

4.3.5 Förenklad beräkningsmetod för fuktbetingade rörelser.

Beräkning av fuktbetingade rörelser hos fasadelement kan utföras enligt en av Sandberg (1973) presenterad förenklad beräkningsmetod, som är baserad på det tidigare nämnda datorprogrammet. Följande förenklade beräkningsförutsättningar gäller:

All fukttransport antas ske genom diffusion.

Samma sorptionskurva antas gälla för nedfuktning och uttorkning.

Inverkan av slagregn och kondens mot betongytorna försummas.

I den förenklade beräkningsmetoden används betydligt längre beräkningssteg (månader) än i datorprogrammet.

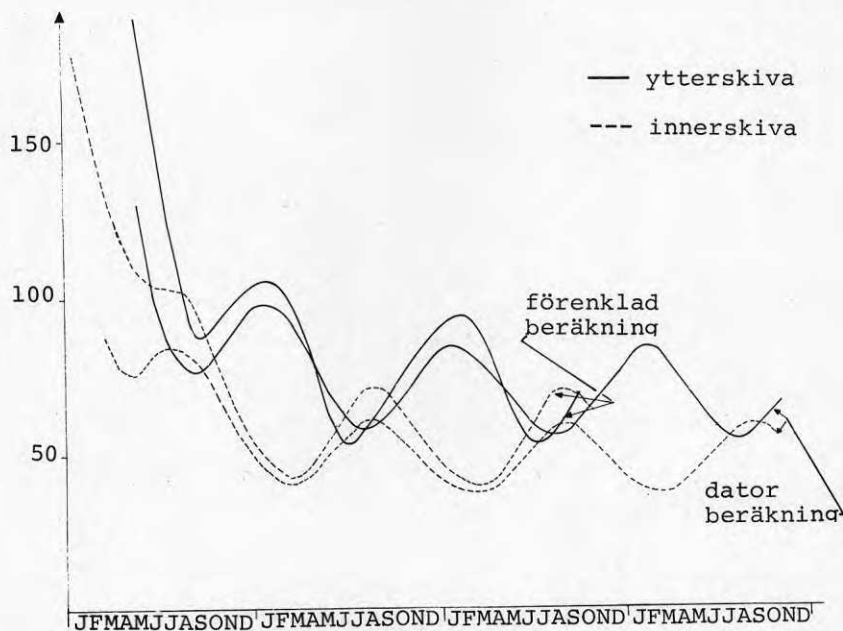
Effekten av att kapillärtransport och att fuktillskott p.g.a. kondens och slagregn försummas är, vid fukthalter under den kritiska och i övrigt normala klimatförhållanden, tillräckligt liten för att de fukt-betingade rörelserna skall erhållas med godtagbar noggrannhet enligt Sandberg (1973).

Användande av långa tidssteg (månader) innebär att det beräknade uttorkningsförloppet av begynnelsefukten blir alltför långsamt. För att erhålla en mer realistisk beskrivning av förloppet kan man anta att fukten är fördelad i en våt zon i betongskivan. Sandberg (1973) föreslår efter jämförelser med datorberäkningar, att den våta zonen skall utgöra ca 80% av betongskivan.

I figur 4.7 görs en jämförelse mellan beräknade uttorkningsförlopp för betongskivorna i ett sandwichelement, erhållna med den datorbaserade metoden respektive den förenklade metoden. Fasadelementet har en mineralullsisolering och beräkningarna avser en västfasad i Lund. Datorberäkningen är utförd av Sandberg (1973). Det framgår av figur 4.7 att uttorkningen av begynnelsefukten huvudsakligen är avslutad efter två år, varefter fuktinnehållet i betongskivorna i stort varierar årsperiodiskt.

På samma sätt som begynnelsefukten i fasadelementen torkas ut sker en uttorkning av byggfukten i byggnadens stomme. I denna rapport beaktas inte rörelser uppkomna av begynnelsefuktens uttorkning närmare. Studien av de fukt-betingade rörelserna har förenklats genom antagandet att krymprörelser hos fasadelementen på grund av begynnelsefuktens uttorkning motverkas av motsvarande krympning hos byggnadsstommen, vilket innebär att bredden hos fogarna mellan fasadelementen inte påverkas av dessa uttorkningsförlopp. Giltigheten i detta antagande kan diskuteras men kan anses vara rimligt för kombinationen prefabricerade fasadelementerna av en prefabricerad stomme, medan man för pre-

fabricerade element i kombination med platsgjuten betongstomme eller stålstomme måste räkna med fogrörelser orsakade av begynnelsefuktens uttorkning.

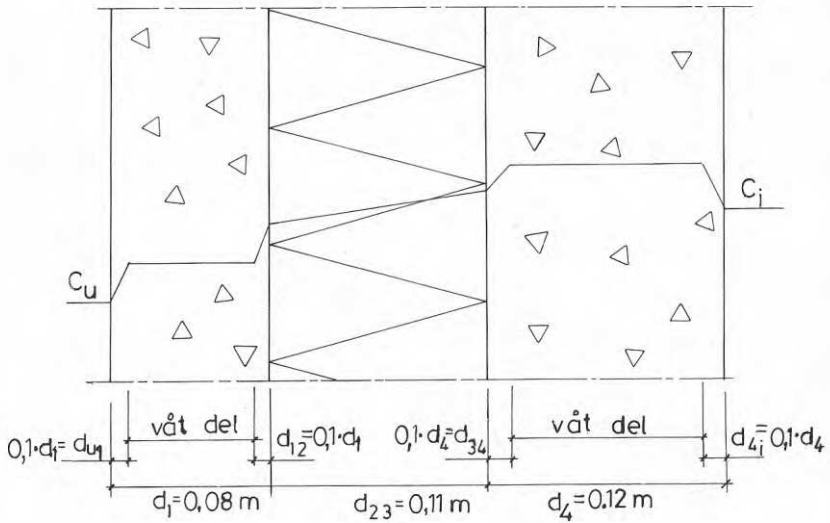


Figur 4.7 Jämförelse mellan beräknade uttorkningsförlopp för betongskivorna i ett sandwich-element erhållna med den datoranpassade resp. den förenklade metoden. Fasad-elementet har en mineralullsisolering och beräkningarna avser en västfasad i Lund.

Den förenklade beräkningsmetodens resultat skiljer sig mest från de datorberäknade under perioden för begynnelsefuktens uttorkning. Beräkningarna är mest osäkra för denna period då fukttinnehållet i betongskivorna är stort och eventuella felaktigheter i antagna materialdata och förenklingar i beräkningsmodell har större inverkan än vid lägre fukthalter.

4.3.6 Exempel på beräkning av fuktbetingade rörelser

För att belysa beräkningsgången redovisas hur de fuktbetingade rörelserna bestäms enligt den förenklade beräkningsmetoden. Studien avser ett sandwichelement av samma typ som tidigare de temperaturbetingade rörelserna beräknats för, fig. 4.8,



Figur 4.8 Fasadelement av "sandwichtyp". I figuren redovisas beräkningsantaganden samt ånghaltskurva.

De vid beräkningarna använda materialkonstanterna och fuktpåverkningarna är:

$$\begin{aligned} \text{betongens diffusionsstal } \delta_{\text{btg}} &= 7 \cdot 10^{-7} [\text{m}^2/\text{s}] \\ \text{cellplastens diffusionsstal } \delta_{\text{isolering}} &= 7 \cdot 10^{-7} [\text{m}^2/\text{s}] \\ \text{begynnelsefukthalt } w_0 &= 200 [\text{kg}/\text{m}^3] \\ \text{fukttillskott inomhus } f &= 2 \cdot 10^{-3} [\text{kg}/\text{m}^3] \\ \text{tidsteg } \Delta t &= 2,592 \cdot 10^6 [\text{s}] (=1 \text{ månad}) \end{aligned}$$

$$\text{betongens sorptionskurva } \begin{cases} \text{RF} = 100\% \text{ för } w > 100 \text{ kg}/\text{m}^3 \\ \text{RF} = w\% \text{ för } w \leq 100 \text{ kg}/\text{m}^3 \end{cases}$$

Beräkningen sker stegvis för varje månad, tab. 4.4.
Resultaten redovisas i fig. 4.9.

Beräkningsgång:

- a. Månadsmedelvärden av temperatur och relativ fuktighet antecknas. Ekvivalent utetemperatur bestäms. Temperaturfördelning genom elementet beräknas. (Dessa beräkningar finns redovisade i avsnitt 4.2.4.)
- b. Uteluftens ånghalt beräknas ur data för lufttemperatur och relativ fuktighet. Inneluftens ånghalt erhålls genom att ånghalten ute ökas med fukttillskottet. Mättnadsånghalten bestäms i skikten med fuktkapacitet. Isoleringen antas sakna fuktkapacitet, m.a.o. ingen fukt kan lagras i den.
- c. Relativa fuktigheten i betongskivorna erhålls ur sorptionskurvan vid känd fukthalt. Beräknad temperatur och relativ fuktighet ger ånghalten i betongskivornas mitt.
- d. "Ånghalterna" vid isoleringens ytor bestäms så att fuktflödena 1-2, 2-3 och 3-4 i fig. 4.8 blir lika stora.

$$\frac{c_1 - c_2}{d_{12}} = \frac{c_3 - c_4}{d_{34}} = \frac{\delta_{\text{isolering}} (c_2 - c_3)}{\delta_{\text{btg}} d_{23}} \quad (4.13)$$

- e. Fuktkflöden beräknas enligt

$$q_{i-j} = \frac{\delta_{ij} (c_i - c_j) \Delta t}{d_{ij}} \quad (4.14)$$

- f. Den nya fukthalten i varje skiva fås ur

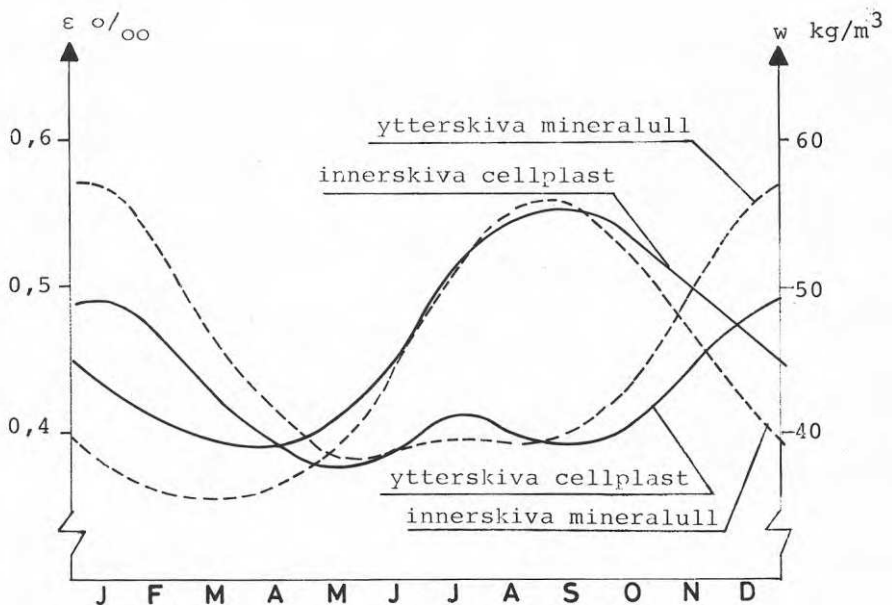
$$w_j(t + \Delta t) = w_j(t) + \frac{q_{i-j}}{d_j} + \frac{q_{j-k}}{d_j} \quad (4.15)$$

- g. De fuktbetingade rörelserna beräknas. Rörelse-koefficienten kan antas vara 0,1 promille/volym-procent fukthaltsändring

h. Återvänd till beräkningsgångens början för ny månadsberäkning av fuktbetingade rörelser. Beräkningarna pågår tills begynnelsefukten ej längre påverkar de beräknade fukthalterna, vilka då uppvisar en årsperiodisk variation.

Tabell 4.4 Fuktbetingade rörelser hos sandwichelement, exempel på beräkning.

Beräkningssteg	1	1	1	2	1	3	4	4	1	3	2	5					6	6	7	7
	e^a	e^b	RF	c^c	T_1	g	g^d	g^e	T_4	g^f	c^g	q_{1-1}	q_{1-2}	q_{2-3}	q_{3-4}	q_{4-1}	w_1	w_6	Δc_1	Δc_4
	Ekvivalent utetemperatur	Lufttemperatur	Relativ fuktighet ute	Anghalt ute	Temp. i ytterskivans mitt	Anghalt i ytterskivans mitt	"Anghalt" vid isoleringens ytersyta	"Anghalt" vid isoleringens inneryta	Temp. i innerkivans mitt	Anghalt i innerkivans mitt	Anghalt inne	Fuktflöden					Fukthalt ytterskiva	Fukthalt innerkiva	Rörelse ytterskiva	Rörelse innerkiva
jan	5.5	-2.0	85	3.53	5.92	7.20	7.78	15.63	19.28	16.49	5.53	-0.83	-0.13	-0.13	-0.13	1.66	200	200	-0.88	-1.49
febr	9.7	-2.0	82	3.40	10.00	9.38	9.83	16.02	19.49	16.69	5.4	-1.36	-0.10	-0.10	-0.10	1.71	191	185	-1.57	-1.51
mars	13.3	0.5	77	3.83							5.83						176	170		



Figur 4.9 Beräknade fuktbetingade rörelser och fukthalter. Jämförelse mellan cellplast- och mineralullsisolering.

Den fuktberoende breddvariationen hos en fog mellan
5 m långa fasadelement blir

element med cellplastisolering

$$\text{ytterskiva } u_{\max} = 0,58 \text{ mm}$$

$$\text{innerskiva } u_{\max} = 0,76 \text{ mm}$$

element med mineralullsisolering

$$\text{ytterskiva } u_{\max} = 0,93 \text{ mm}$$

$$\text{innerskiva } u_{\max} = 1,01 \text{ mm}$$

4.4 Inverkan av molnighet

Vid föregående redovisning av temperatur- och fukt-
betingade rörelser har förutsatts molnfria för-
hållanden, d.v.s. hela strålningsandelen har inräknats
i ekvivalenta utetemperaturen. Ett sådant antagande
är inte överensstämmande med verkliga förhållanden.
Helt molnfria dagar förekommer sällan. Strålningen
från en halvt molntäckt himmel uppgår till ca 75% av
strålningen från en klar himmel. Vid helmulen himmel
består strålningen av endast diffus strålning, vilken
utgör ca 25% av totalstrålningen en klar dag. I meteo-
rologiska data redovisas antal klara (< 23% av himmeln
molntäckt), mulna (> 77% av himmeln molntäckt) och
halvmulna dagar per månad. Ur sådan statistik kan upp-
ställas uttryck för ekvivalent utetemperatur, som tar
hänsyn till molnighetens inverkan.

Nedan redovisas hur fogrörelserna hos sandwich-
elementet i de redovisade beräkningsexemplen påverkas
om hänsyn tas till molnighet vid beräkningarna. I
detta fall har molnigheten beaktats på ett schematiskt
sätt, varje dag har antagits lika mulen, d.v.s.
strålningsandelen har reducerats med en faktor k .

$$T_e = T_\ell + \frac{k\alpha I}{\alpha_y}, \quad (4.16)$$

$$k \approx 0,6$$

Fogrörelserna får följande värden

Temperaturbetingade rörelser

$$\text{ytterskiva } u_{\max} = 1,98 \text{ mm (21\% minskning)}$$

Fuktbetingade rörelser

$$\text{ytterskiva } u_{\max} = 0,49 \text{ (16\% minskning)}$$

$$\text{innerskiva } u_{\max} = 0,76 \text{ (0\% minskning)}$$

Molnigheten har alltså betydelse för rörelser hos ytterskivan i sandwichelement. Innerskivans rörelser påverkas däremot inte i nämnvärd grad av molnighet.

4.5 Stomrörelser

Möjliga orsaker till stomrörelser är bland annat krypning på grund av egentyngd och påförda laster, krympning på grund av uttorkning av byggfukten, elastiska deformationer, sättningar i undergrunden samt temperatur- och fuktvariationer. En längdminskning hos stommen har samma påverkan som en längdökning hos fasadskivorna, d.v.s. den medför en reduktion av fogbredden.

En betongstommes krypning beror i hög grad av en rad faktorer såsom, påförda belastningars storlek, använt stomsystem, stommens dimensioner, betongens sammansättning samt omgivningens temperatur och fukthalt. Som framgår av ovan uppräknade faktorer är det omöjligt att ange något generellt värde på en betongstommes förväntade krypning. För stommar av andra material, t. ex. stålstommar, kan förhållanden vara lättare att bedöma.

Många av de ovannämnda faktorerna påverkar även

en betongstommes krympning. Storleken av betongens krympning varierar mycket, för här aktuella betongtyper är ett normalvärde för slutkrympningen $c:a$ $0,3 - 0,6\%$. I denna rapport har antagits att eventuella fogrörelser orsakade av stommens krympning vid byggfuktens uttorkning helt kompenseras av motsvarande rörelser uppkomna vid fasadelementens krympning, se avsnitt 4.3.5.

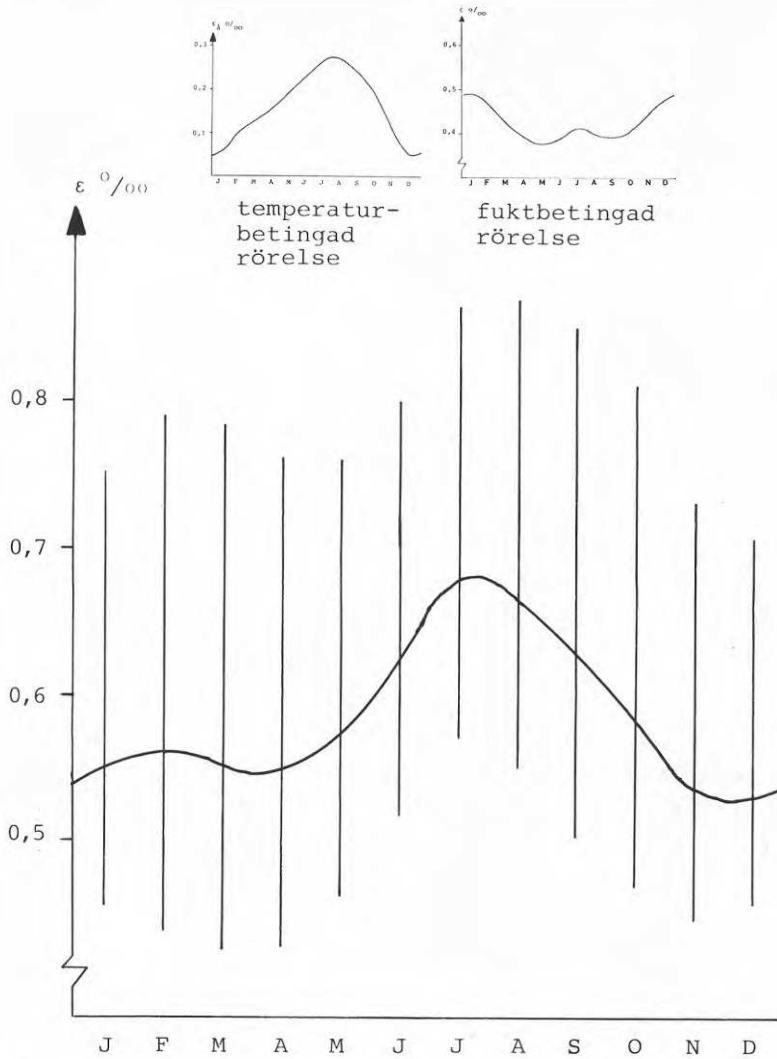
En betongstomme uppvisar i allmänhet fuktvariationer under året av samma typ som innerskivan i ett sandwichelement med cellplastisolering, jämför fig. 4.9. Fuktvariationerna i innerskivan hos ett sandwich-element är helt omvända mot fuktvariationerna i ytterskivan under året, vilket medför att de årsvarierande fuktbetingade rörelserna hos fasadelementens ytterskiva och betongstommen samverkar. Stommens fuktrörelser är dock i allmänhet obetydliga.

De årsvarierande temperaturbetingade rörelserna hos stommen kan i det närmaste försummas. Ronge (1961) uppmätte en temperaturvariation på cirka 5°C under året inomhus i betonghus, vilket medför små rörelser.

Såväl elastiska deformationer hos stommen som sättningar i byggnadens grund är möjliga att uppskatta med beräkningar, Bolteus (1982). Komplikationer kan uppstå vid framtida mer eller mindre oförutsedda förändringar, t. ex. vid annorlunda utnyttjande av byggnaden eller vid grundvattensänkning.

4.6 Sammanställning av fogrörelser - slutsatser.

I fig. 4.10 redovisas den rörelse för ytterskivan hos sandwichelementet i beräkningsexemplet som erhålls då temperatur- och fuktbetingade rörelser adderas.



Figur 4.10 Rörelse för ytterskivan hos sandwich-elementet i beräkningsexemplet då temperatur- och fuktbedingade rörelsen adderas. Dygnsvarierande temperaturbetingade rörelser har i figuren markerats med vertikala streck.

Dygnsvarierande temperaturbetingade rörelser markeras i figuren med vertikala streck. De dygnsvarierande och årsvarierande rörelserna är av samma storleksordning. Av figuren framgår också att temperatur-

och fuktbetingade rörelser oftast är motriktade varandra under året. Det har tidigare påpekats att temperatur- och fuktbetingade rörelser under vissa betingelser kan samverka, avsnitt 4.3.1.

I fig. 4.10 har inte rörelser hos stommen markerats. Lastberoende deformationer, sättningar o. dyl. medför att kurvan i figuren förskjuts i vertikalled, d.v.s. rörelserna i förhållande till ursprunglig fogbredd förändras. Eventuella årsvarierande rörelser hos stommen medför att även kurvans utseende påverkas.

Den i fig. 4.10 redovisade rörelsen är en bedömning som gäller ett år med "normalt" klimat, den är inte användbar vid dimensionering av fasadfogar. Följande viktiga förutsättningar har gällt vid beräkningarna:

De framräknade rörelserna baseras på medelvärden av klimatdata för temperatur och relativ fuktighet ur SMHI:s statistik. Vid beräkning av dimensionerande fogrörelse måste klimatdata för år med en lämplig återkomstperiod användas så att en viss säkerhet mot överskridande av dimensioneringsvärdet uppnås.

Vid beräkningarna har endast fogrörelser orsakade av längdändringar hos fasadelement och stomme studerats. Rörelser orsakade av elementens böjning p.g.a. temperatur- och fuktgradienter har inte beaktats. Dessa rörelser är i regel försumbara.

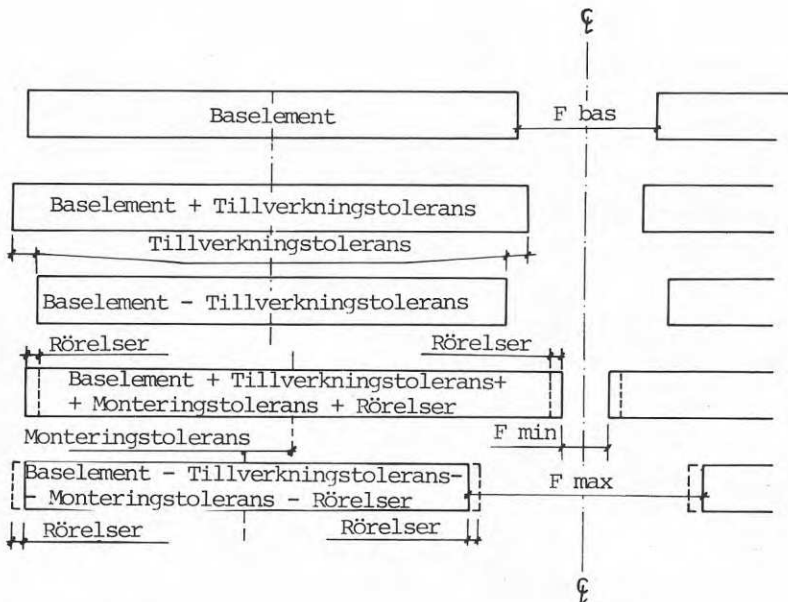
Den konstruktiva utformningen av fasadelement, infästningsanordningar och byggnadsstomme har stor betydelse för fogrörelserna. Rörelserna har vid beräkningarna antagits kunna ske oförhindrat. Normalt har dock infästningarna en viss styvhet eller friktion. Olika styvhet hos infästningarna kan medföra att rörelserna fördelas olika på fogarna i en fasad. Mätningar har

visat att så ofta är fallet, Ryder & Baker (1971), Diergarten (1973) och Karpati & Sereda (1976 a,b).

De presenterade beräkningsmetoderna kräver god kännedom om klimatpåverkningar, påverkningar av verksamheter i byggnaden, material i och konstruktiv utformning av fasadelement och byggnadsstomme samt egenskaper hos byggnadens grund. Är ovanstående faktorer kända kan fogrörelserna beräknas med god tillförlitlighet.

4.7 Toleransberoende fogbreddsvariationer

För val av fogtätning är kännedom om toleranserna vid tillverkning, utsättning och montering av angränsande byggnadsdelar av stor betydelse, fig. 4.23. För liten fogbredd måste undvikas då i sådana fall de relativa fogrörelserna kan bli så stora att tätningsmaterialets deformationsförmåga överskrids. Ur ekonomisk synpunkt är det önskvärt att undvika alltför stora fogbredder då dessa medför större materialåtgång.



Figur 4.23 Fogbreddens beroende av toleranser.

Totala toleransen, även kallad byggplatstoleransen, utgör summan av tillverknings-, utsättnings- och monterings-toleranser. Den byggplatstolerans som valts vid projekteringen av ett objekt inverkar på val av tillverkningsmetod för byggnadsdelen i fråga, val av utsättningsmetod och val av monterings-sätt. Av dessa anledningar bör alltid toleranser bestämmas i samråd med tillverkare och entreprenörer. Vid montaget av en byggnad måste alltid fogbredderna kontrolleras så att inte föreskrivna toleranser överskrids.

I HusAMA 72 redovisas tillverknings- och byggplats-toleranser för betongelement indelade i fyra olika toleransklasser, tab. 4.6. För fogar mellan fasad-element torde främst toleransklasserna 2 och 3 vara aktuella. I Svensk Standard (SIS 81 21 01) anges föreskrivna fogbredder för olika fogar mellan betong-element, tab. 4.7.

Tabell 4.6 Toleranser för väggar av betongelement enligt HusAMA 72.

Mått	Måtlängd (m)	Tillåten avvikelse (mm)			
		Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4
Läge i sida		±8	±12	±20	±30
Avstånd närbelägna väggar		±8	±12	±20	±30
Fogbredd		±3	±5	±8	±12
Fogsprång ¹ , utsida ²		3	5	8	12
Fogsprång ¹ , insida ³		2	3	5	8
Fogförskjutning, utsida		±5	±8	±12	±20
Läge i höjd för elementets överkant		±5	±8	±12	±20
Fogsprång för elementets överkant (upplagsyta)		3	5	8	12
Buktighet	L	D	E	F	G
Lutning	L	D	E	F	G

¹ Toleransen för fogsprång gäller element med fasade kanter.

² Utsida avser utsida hos ytterväggselement.

³ Insida avser insida hos ytterväggselement samt Innerväggselements båda sidor.

Tabell 4.7 Svensk standard för sandwichelement av betong (SIS 812101)¹ anger att tillverkningsmått för elementen är samordnade med nedanstående fogbredder för två olika noggrannhetsklasser.

Fog	Fogbredd, mm	
	Klass A	Klass B
Horisontalfog		
Bärande eller burna element	17 ± 10	25 ± 15
Staplade element		
mjukt mellanlägg i fogen	4 ± 2	4 ± 2
styvt mellanlägg i fogen	12 ± 2	12 ± 2
Vertikalfog	20 ± 10	25 ± 15

¹ Officiellt gällande är endast senast av Sveriges Standardiseringskommission publicerade utgåva.

5. FOGAR MELLAN FASADELEMENT ANVÄNDA I SVENSKT ELEMENTBYGGERI

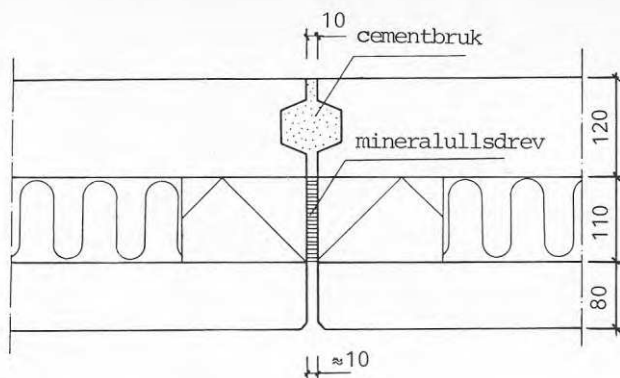
5.1 Redovisningsmetod

I detta avsnitt presenteras kortfattat olika typer av fogutformningar som förekommit i Sverige under de senaste tjugo åren. Presentationen gör inget anspråk på att vara komplett, utformningen av fasadfogarna i de olika elementbyggnadssystemen har varierat under årens lopp. Här redovisas endast ett tiotal intressanta och /eller vanligt förekommande fogutformningar. Angivna fogar är inte klassade ur lämplighetssynpunkt, utan redovisas kronologiskt efter byggnadsår. För varje objekt presenteras objektets namn, elementbyggnadssystem, årtal samt utformning av vertikal- och horisontalfog. Årtalen är ungefärliga och avser datering på konstruktionsritning eller på typdetalj från fasadelementtillverkare. I samtliga fall är fasadelementet utformat som ett sandwichelement med värmeisolering av mineralull eller cellplast.

5.2 Bostadsområde i Hageby-Smedby, Norrköping 1966. Fasadelement: Norrköpings Byggelement AB.

5.2.1 Vertikalfog, fig 5.1

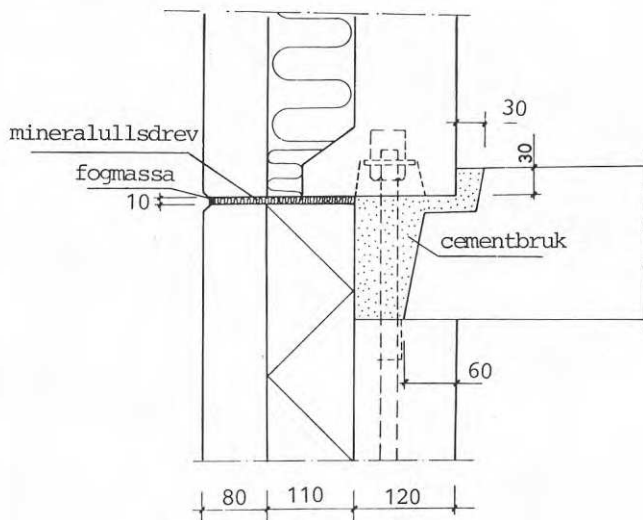
Elementens innerskivor är fogade mot varandra och mot stommen med cementbruk. Mellan värmeisolerings-skivorna är fogen drevad. Utvändigt regn- och vindtätning utgörs av fogmassa. På de ursprungliga ritningarna finns ingen yttre tätning markerad, utan den har tillkommit senare. Utrymmet bakom den utvändiga tätningen är inte dränerat.



Figur 5.1 Vertikalfog mellan gavelement
(Norrköpings Byggelement AB)

5.2.2 Horisontalfog, fig 5.2.

Horisontalfogen är uppbyggd på samma sätt som vertikalfogen. Fogen är fylld med mineralull, utvändigt har en fogmassa applicerats. Fasadelementen har frilagd ballast i ytan, friläggnen når även in på de ytor i fogen som fogmassan ansluter mot. Detta medför svårigheter att få en fungerande regn- och vindtätning.



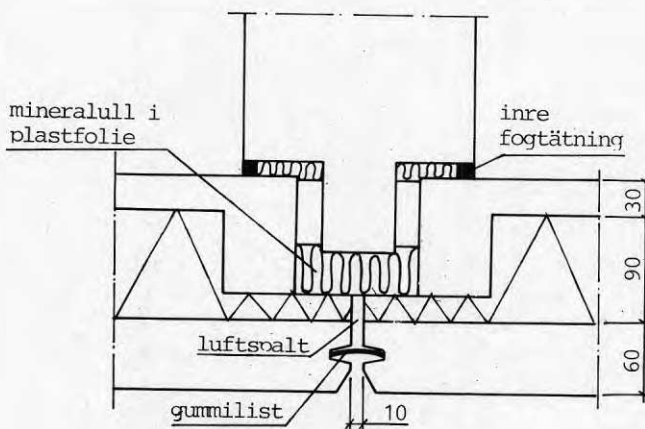
Figur 5.2 Horisontalfog mellan element i längsfasad.
(Norrköpings Byggelement AB)

5.3 Bostadsområde i Rosengård, Malmö 1969.
Fasadelement: BPA (EVIB-systemet)

(BPA valde denna fogutformning efter fältförsök och provning i HSB's regnsimulator).

5.3.1 Vertikalfog, fig 5.3

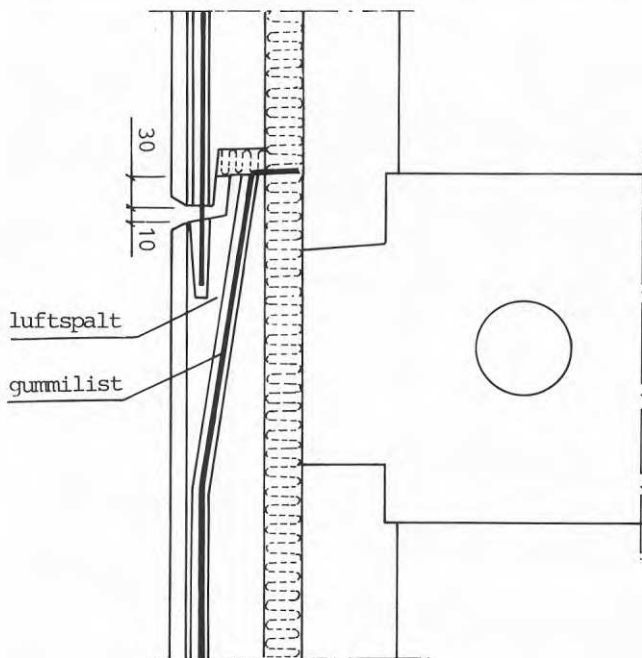
Den utvändiga tätningen mot slagregn består av en 3 mm tjock flat gummilist, placerad i ett spår i yttre betongskivans sidor. Bakom denna tätning finns en luftspalt som står i förbindelse med ytterluften genom horisontalfogen. Mellan fasadelementens inner-skivor är en mineralullsremsa i plastfolie placerad som vindtätning. Invändigt är fogen tätad med drevning och fogningsbruk.



Figur 5.3 Vertikalfog mellan fasadelement (EVIB-systemet)

5.3.2 Horisontalfog, fig 5.4

Horisontalfogen mellan elementen är utformade med en tröskel (effektiv höjd ca 30 mm) i dess yttre del. Vid fogkryssen går det övre elementets vertikala fogs regnskärm ned en bit i det undre elementet, medan det undre elementets regnskärm vid horisontalfogen är dragen in bakom värmeisoleringen. På detta sätt bildas en rejäl överlappsskarv av vertikalfogens regnskärm.

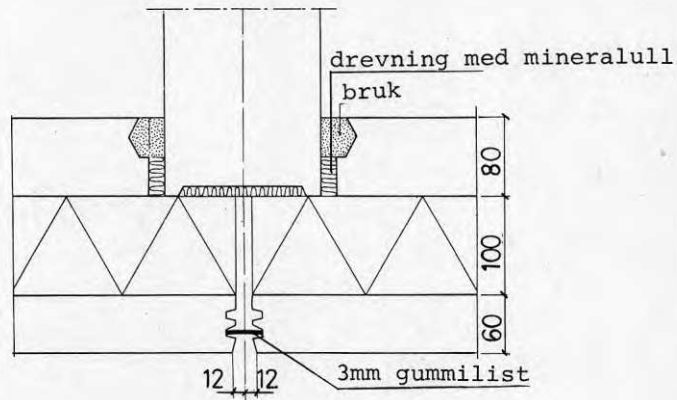


Figur 5.4 Horisontalfog och fogkryss
(EVIB-systemet)

5.4 Bostadsområde i Hammarkullen, Göteborg 1969
 Fasadelement: Göteborgs Stads Bostads AB

5.4.1 Vertikalfog, fig 5.5

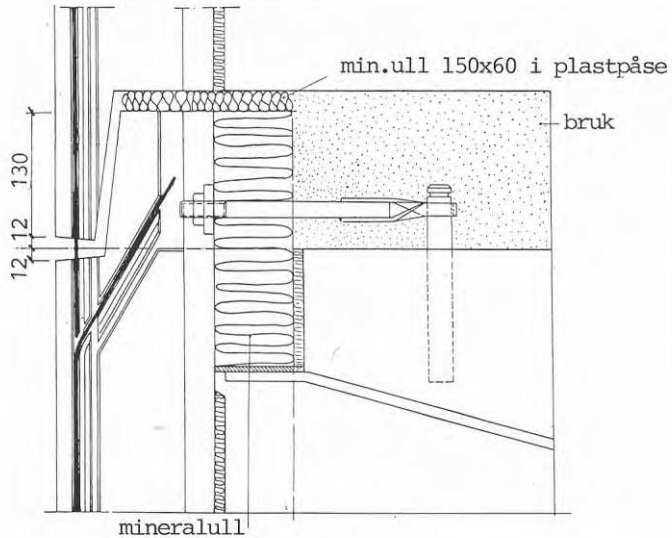
Fogen mellan fasadelementets innerskiva och tvärvägg är i delen närmast lägenheten fylld med cementbruk, medan yttre delen drevats med mineralull. Utrymmet mellan sandwichelementens värmeisoleringsskivor är öppet. Omedelbart framför tvärväggen har placerats en tunn mineralullsremsa. Yttre fasadskivorna är utformade med två vertikala spår i kanterna. I det yttre spåret har placerats en regnspärr, i form av en 3 mm tjock plan gummilist. Spåret i luftspalten bakom gummilisten försvårar för eventuellt inträngande regnvatten att nå fram till värmeisoleringen.



Figur 5.5 Vertikalfog mellan fasadelement vid mellanvägg (Göteborgs Stads Bostads AB)

5.4.2 Horisontalfog, fig 5.6

Horisontalfogen mellan betongelementen är utformad med en ca 130 mm hög tröskel som skall förhindra regnvattnets inträngning. Bakomvarande vindtätning består av mineralull i plastfolie. Den vertikala regntätningen omlottskarvas strax under varje horisontalfog. Med detta utförande av horisontalfogen erhålls dränering och ventiliation av utrymmet bakom den stående fogens regnskärm.



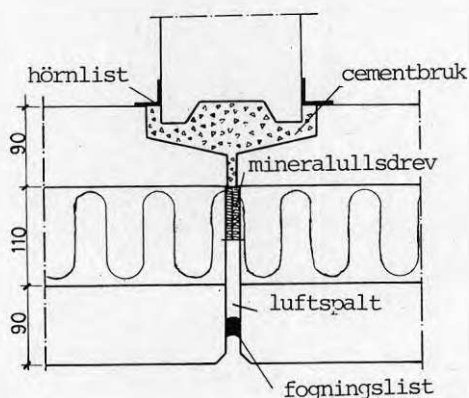
Figur 5.6 Horisontalfog mellan fasadelement
(Göteborgs Stads Bostads AB)

5.5 Studentbostäder i kvarteret Kvarntullen,
Stockholm 1971.
Fasadelement: A-betong AB

5.5.1 Vertikalfog, fig 5.7

Sandwichelementens inre betongskivor är sammanfogade med innerväggselementen med en cementbruksfylld fog

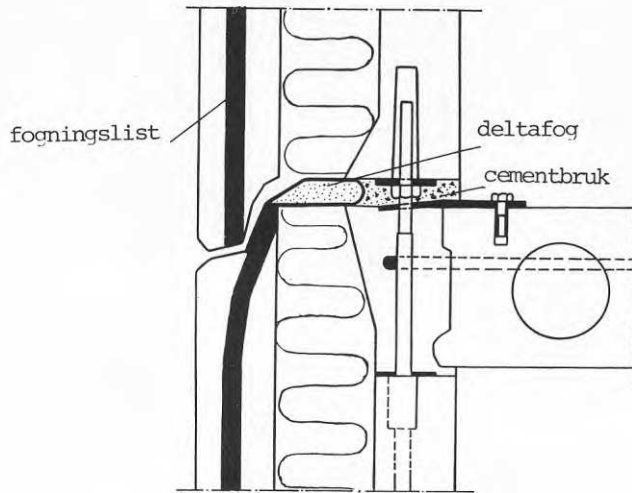
som på insidan är täckt med en vinkellist. Fogen består i delen mellan innerskiva och yttre regntätning av ventilerat utrymme, så när som på ca inre hälften av värmeisoleringskiktet, där en dubbelvikt mineralullsremsa pressats in från utsidan vid montaget. Regntätningen utgörs av en fogningslist, med specialprofil. Utrymmet bakom regntätningen är ventilerat och dränerat genom den öppna horisontalfogen.



Figur 5.7 Vertikalfog mellan element i längsfasad.
(A-betong AB)

5.5.2 Horisontalfog, fig 5.8

Horisontalfogen är i den yttre fasadskivan utformad med en tröskel (effektiv höjd ca 50 mm) som försvårar vatteninträngning. Längre in mellan sandwichelementens värmeisolering har fogen tätats med en isoleringsfyllad polymerlist (Deltafog), som är försedd med en läpp som täcker övre delen av ytterskivans tröskel. I fogkryss försvårar denna läpp för uppifrån kommande vatten att komma in bakom fogningslisten i det nedre elementets vertikalfog.

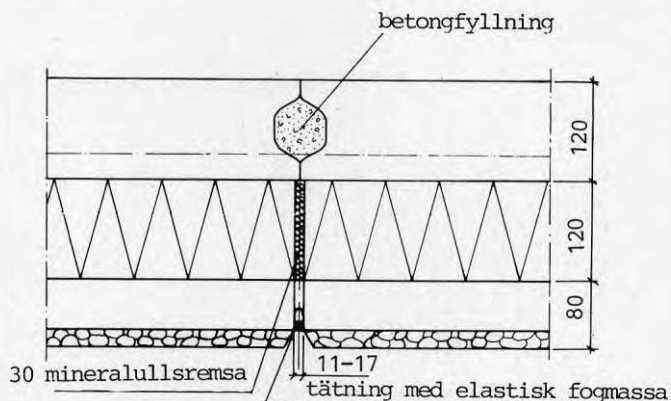


Figur 5.8 Horisontalfog mellan element i längsfasad (A-betong AB)

5.6 Bostadsområde i Lövgärdet, Göteborg 19/1-73
Fasadelement: AB Göteborgshem (Bygg-Tema)

5.6.1 Vertikalfog mellan element i gavelvägg,
fig 5.9.

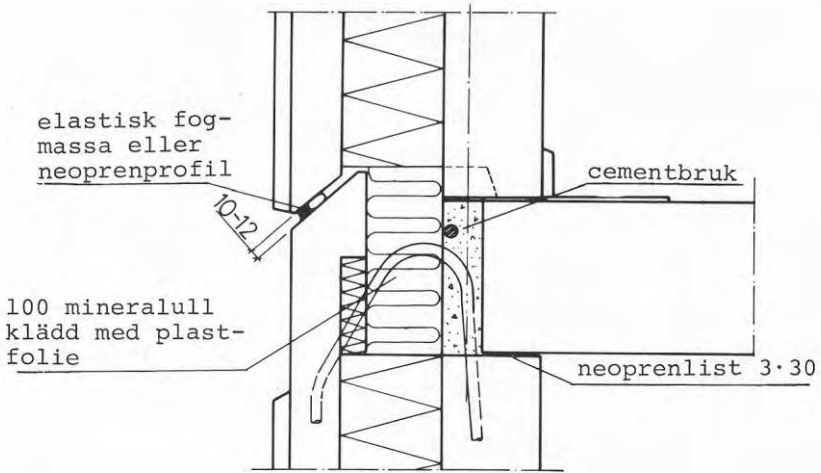
Väggen är utformad som en sandwich-vägg. Ursparingen mellan de inre betongskivorna har fyllts med cementbruk. I fogen mellan isoleringsskivorna av cellplast är monterad en mineralullsremsa, som fästs på elementet innan nästa bredvidstående element lyfts på plats. Efter montering har man tätat mellan de yttre betongskivorna med elastisk fogmassa mot bottenlist. Bakom denna tätning finns ett luftutrymme, som inte står i direkt förbindelse med uteluften.



Figur 5.9 Vertikalfog mellan gavelelement
(Bygg-Tema)

5.6.2 Horisontalfog mellan element i gavelvägg, fig 5.10

De inre betongskivorna är förankrade i bärlagen. Framför bärlagen är fogen värmeisolerad med plastfolieklädd mineralull. Yttre betongskivorna är utformade så att horisontalfogar med lutande sidor bildats. Effektiva tröskelhöjden, dvs höjdskillnaden mellan nedre ytterskivans översta del och övre ytterskivans understa del är ungefär 50 mm.

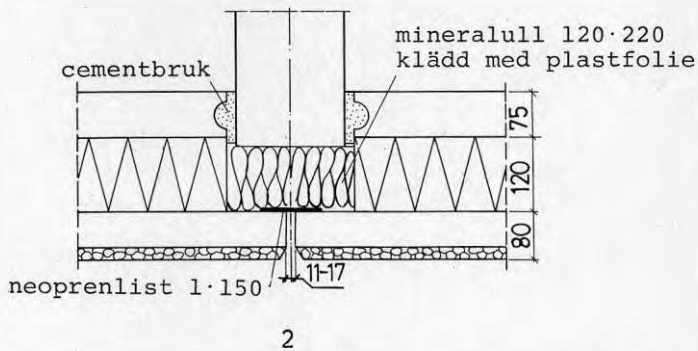
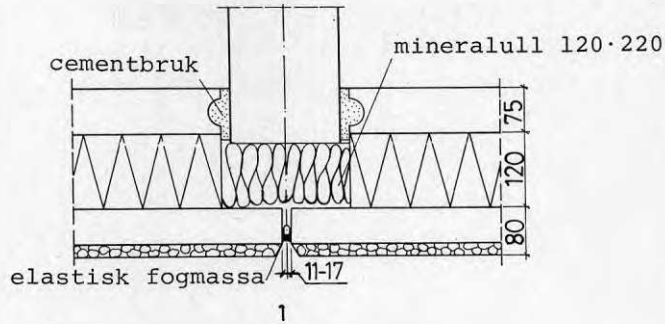


Figur 5.10 Horisontalfog mellan gavelement
(Bygg-Tema)

5.6.3 Vertikalfog mellan element i längsfasad, fig 5.11

Två olika utföranden av vertikalfogar mellan fasad-
element förekommer.

I alternativ 1 är fogen utformad på samma sätt som vertikalfogarna mellan gavelementen. Fogens yttre del är tätad med elastisk fogmassa, som applicerats från utsidan. Luftning och dränering av fogen bakom denna tätning saknas. I alternativ 2 är vertikalfogens ytterdel öppen, på yttre fasadskivans baksida är fogen tätad med en flat gummilist. Denna list monterades från insidan innan värmeisolering och tvärväggar kommit på plats. I övrigt överensstämmer fogutformningen med alternativ 1.

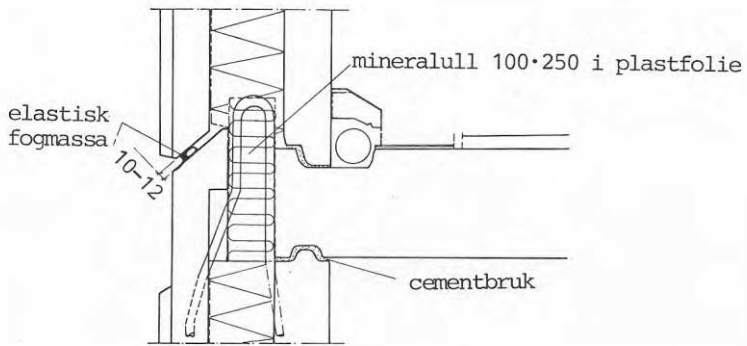


Figur 5.11 Vertikalfog mellan element i längsfasad två utförandelalternativ (Bygg-Tema)

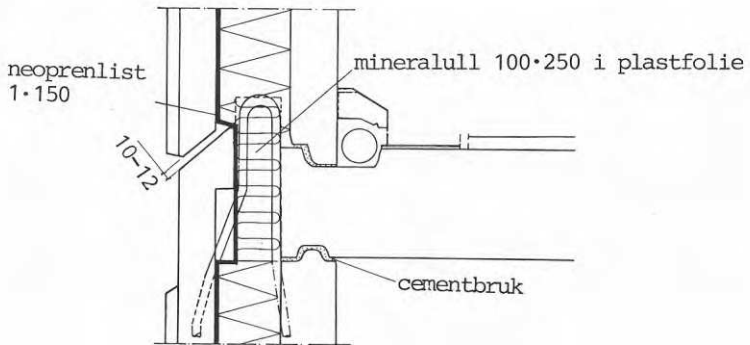
5.6.4 Horisontalfog mellan element i längsfasad, fig 5.12

Utförandet av vertikalfogens utvändiga tätning på två olika sätt medför två olika utförandealternativ av horisontalfogen. Utförandet av horisontalfogen mellan inre fasadskivorna och vid isoleringsskiktet överensstämmer i stort med förfarandet vid gavellement. Yttre fasadskivorna är utformade med lutande fogsidor. I de fall vertikalfogen är utvändigt tätad med fogmassa (alterniv 1 ovan) är även horisontalfo-

gen försedd med fogmassetätning mellan ytterski-
vorna. Då vertikalfogen utförts enligt alternativ
2 ovan, är gummilisten som placerats mot ytterski-
vornas baksida dragen kontinuerligt över horison-
talfogen. I övrigt är horisontalfogen mellan de
yttre betongskivorna öppen vid detta utförande.



1



2

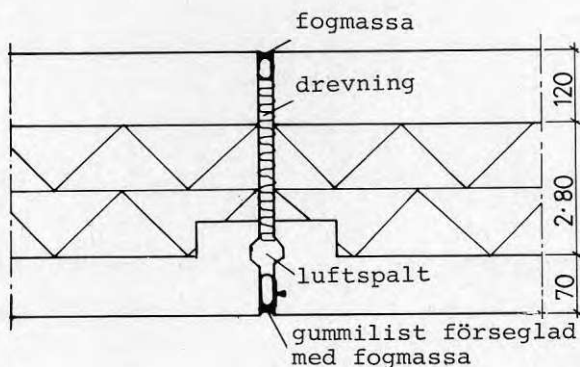
Figur 5.12 Horisontalfog mellan element i längs-
fasad, två utförandealternativ (Bygg-
Tema).

5.7 Huddinge sjukhus 1972-75

Fasadelement: Skånska Cementgjuteriet

5.7.1 Vertikalfog, fig 5.13

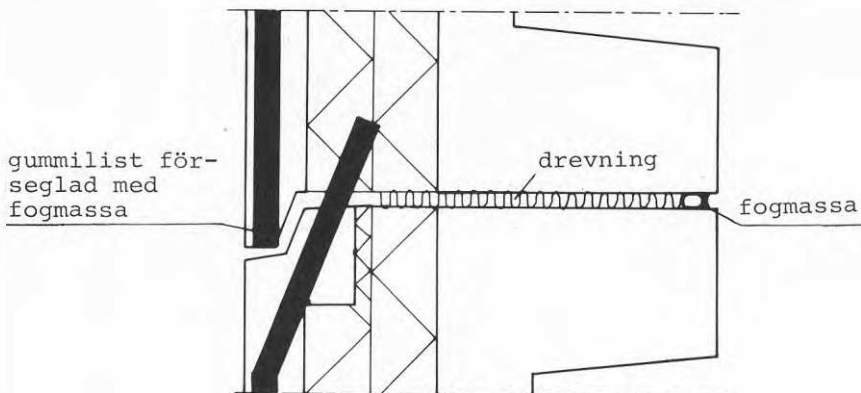
Regntätningen består av en i ena elementet fastgjuten gummilist, mot vilken fogmassa applicerats för ytterligare tätning. Bakom regntätningen vidgas fogen i ett ventilerat utrymme, vars främsta uppgift är att dränera bort inträngande regnvatten samt att tillse att lufttrycket blir ungefär detsamma på regnskärmens fram och baksida. Fogen är drevvad mellan isoleringsskivorna i anslutande fasadelement. Den inre tätningen består av en cirkulär gummilist förseglad med fogmassa.



Figur 5.13 Vertikalfog mellan fasadelement
(Skånska Cementgjuteriet)

5.7.2 Horisontalfog, fig 5.14

Sandwichelementets ytterskiva är utformad med en tröskel (effektiv höjd ca 50 mm) som fungerar som regnspärr. I fogkryssen är vertikalfogens regnskärm överlappskarvad. Fogens värmeisolering och inre tätning är utförd på samma sätt som vid den vertikala fogen.



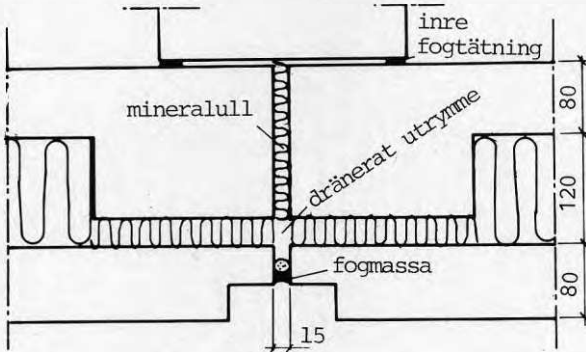
Figur 5.14 Horisontalfog mellan fasadelement.
(skånska Cementgjuteriet)

5.8 Lagercentral i kvarteret Lådan, Växjö 1978.
Fasadelement: Skånska Cementgjuteriet

5.8.1 Vertikalfog. fig 5.15

Fasadelementens innerskivor är förstyvade runt elementens kanter, vilket medför att värmeisoleringen endast blir 30 mm tjock på dessa ställen mot 80 mm i övriga delar av elementet. Fogen mellan innerskivorna har drevats med mineralull och ansluter invändigt till en pelare. Ett luftutrymme finns mellan elementens isoleringsskikt och bakom den yttre fogtätningen, detta utrymme är dränerat i vertikalfogens nedre del vid grunden. Fasadelementens ytterskivor är av arkitektoniska skäl utformade så att vertikalfogen är placerad i en ca 40 mm djup och 120 mm bred fördjupning i fasaden. En allvarlig nackdel med denna utformning är att ytvattenströmmen kan koncentreras

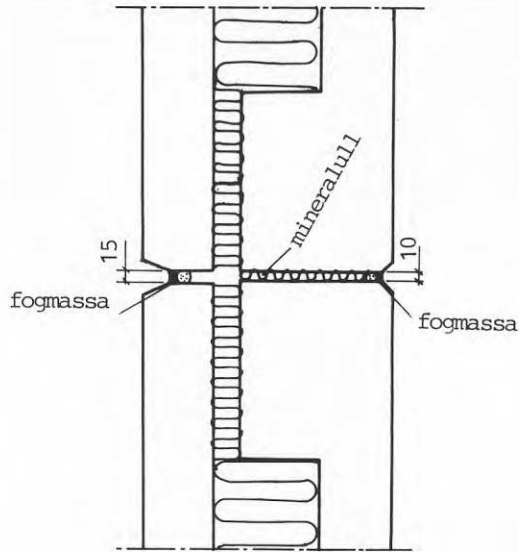
till sådana fördjupningar vid slagregn med ogynn-
sam vindriktning. Fogtätningen mellan ytterskivorna
består av elastisk fogmassa mot bottningslist.



Figur 5.15 Vertikalfog mellan fasadelement
(Skånska Cementgjuteriet).

5.8.2 Horisontalfog, fig 5.16

Fogen är i sina inre delar utformad på samma sätt
som vertikalfogen. Den invändiga fogtätningen, som
är avsedd att fungera som diffusionsspärr, består
av elastisk fogmassa mot bottningslist. Den utvän-
diga fogtätningen är också en fogmassetätning. I
fogens ytterdel är kanterna på betongskivorna av-
fasade, vilket kan medföra att vatten lättare tränger
in i fogen än vid raka fogkanter.

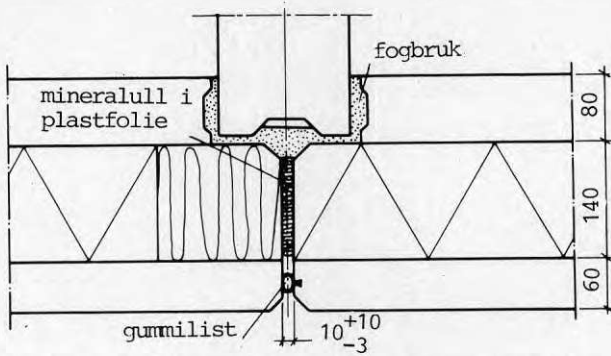


Figur 5.16 Horisontalfog mellan fasadelement
(Skånska Cementgjuteriet).

5.9 Bostadsområde i Akalla, Stockholm 1978.
Fasadelement: Skarne system.

5.9.1 Vertikalfog, fig 5.17

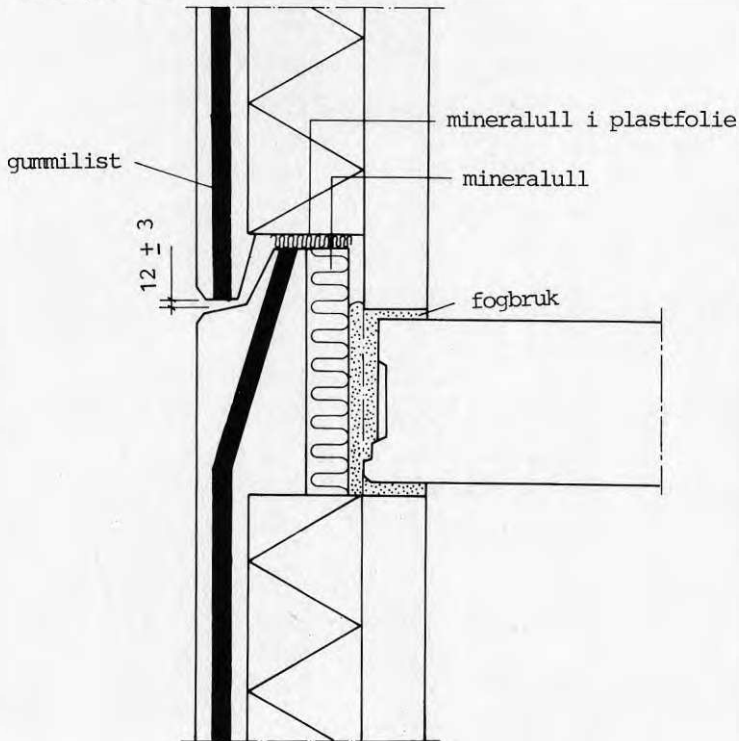
Fogen mellan elementens innerskivor och stommen är fylld med bruk. Mellan cellplastskivorna är fogen isolerad med mineralull i plastfolie. Den yttre regntätningen består av en gummilist fastsatt i ena elementets ytterskiva. Bakom gummiprofilen finns en luftspalt som ventileras genom horisontalfogen.



Figur 5.17 Vertikalfog mellan fasadelement
(Skarne System)

5.9.2 Horisontalfog fig 5.18

Horisontalfogens yttre del är utformad med tröskel för att hindra vatteninträngning. Effektiv tröskelhöjd är ca 65 mm.

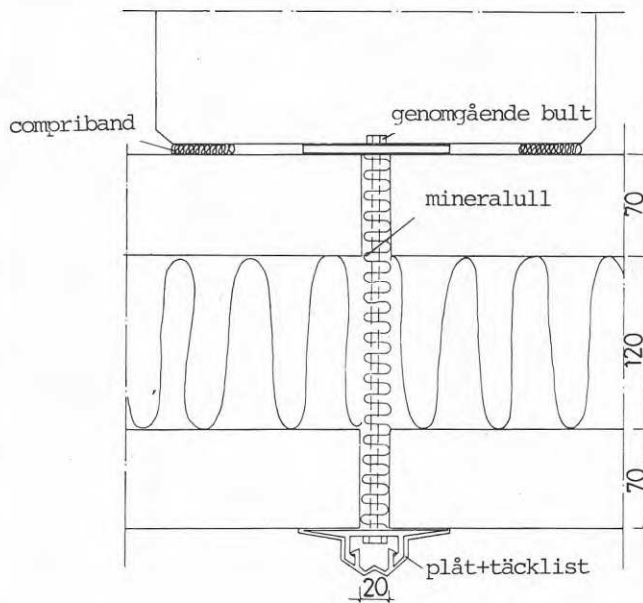


Figur 5.18 Horisontalfog mellan fasadelement
(Skarne System).

5.10 Industribyggnad, 1980
 Fasadelement: AB Strängbetong

5.10.1 Vertikalfog, fig 5.19

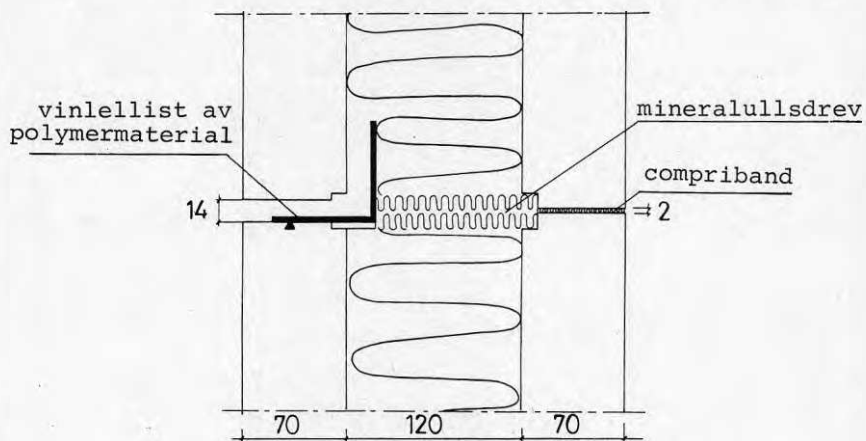
Fogen mellan elementen är fylld med mineralull. Utvändigt är fogen täckt med en plåt som med genom elementet gående bult är fastsatt i en tvärs fogen gående ankarskena på insidan. Den utvändiga plåten är så utformad att en yttre täcklist i form av en plåtprofil kan tryckas på plats. På insidan är en pelare placerad bakom elementfogen, mellan pelare och fasadskiva är tätat med compriband.



Figur 5.19 Vertikalfog mellan fasadelement
 (AB Strängbetong).

5.10.2 Horisontalfog, fig 5.20

Fogen mellan ytterskivorna är öppen. Regnskyddet utgörs av en vinkellist av polymermaterial, som bildar en ca 70 mm hög tröskel bakom yttre betongskivan. Vinkellisten är fäst i ett spår i ytterskivans översyta. Bakom regnskyddet är fogen drevad med mineralull. Fasadelementens innerskivor vilar på varandra med mellanliggande porösa plastband, typ compriband.



Figur 5.20 Horisontalfog mellan fasadelement
(AB Strängbetong)

6. FOGSKADOR

6.1 Allmän översikt

Olika inventeringar visar på att fogar mellan betong-element ofta har uppvisat funktionsbrister. Som tidigare nämnts i kap. 3 påverkas en fog av ett flertal faktorer som ställer krav på dess vatten- och vindtäthet. En av SABO (Sveriges allmännyttiga bostadsföretag) genomförd undersökning omfattande de 46 största medlemsföretagen, visar att av dessa företags sammanlagt 56,000 lägenheter i elementbyggda hus har i c:a 6,500 (11,6%) förekommit vattenläckage vid betongelementfasader. Även förvaltare av andra byggnadstyper än bostadshus har redovisat problem med vatteninträngning vid fogar mellan betongelement.

Intressant är att notera att skadade byggnader förekommer såväl i ost- som västkustområdet samt inlandet.

I anslutning till projektet har fogskador hos ett flertal olika objekt studerats. Som exempel redovisas resultat från en inventering av fogskador vid ett storsjukhus. Undersökningen har utförts som examensarbete vid avdelningen för Byggnadskonstruktion, Bergeld (1981). I byggnaderna som är uppförda under perioden 1965-1978 förekommer både enstegsfogar med fogmassetätning och tvåstegsfogar med fogningslister. De olika fogskadorna har grupperats efter fog- och skadetyper. Sammanlagt antecknades 117 st olika felaktigheter med en fördelning som framgår av tab. 6.1. Exempel på utseenden av skadade fogar, se fig. 6.1-6.4.

Tabell 6.1 Utvärdering av fogskadeinventering.

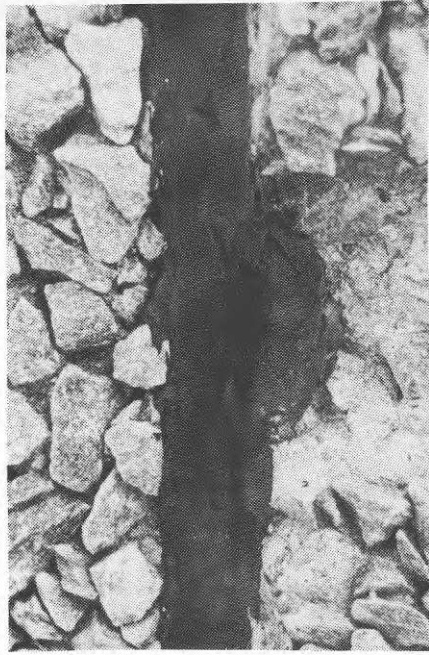
	a	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄
Σ	10	12	4	31	16	16	9	5	8	6
%	-	15.2	5.1	39.2	20.3	20.3	32.1	17.9	28.6	21.4

Teckenförklaring*

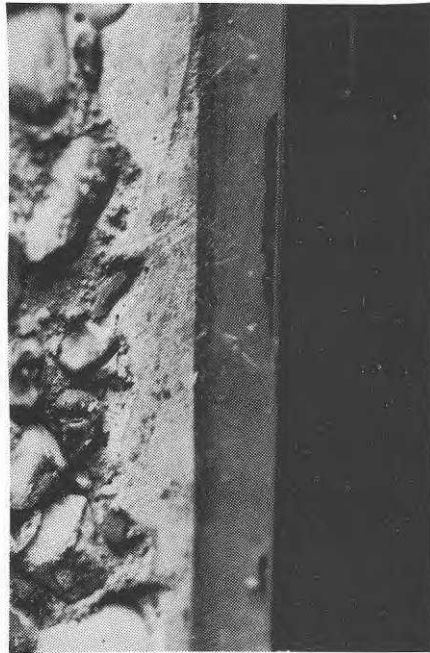
- a Betongelementet är skadat/kantstöt (se fig. 6.1)
 b₁ Fogmassan har börjat släppa från underlaget (se fig. 6.2)
 b₂ Fogmassan har börjat spricka sönder
 b₃ Fogmassan har släppt från underlaget
 b₄ Fogmassan har spruckit sönder (se fig. 6.3)
 b₅ Fogmassa saknas
 c₁ Fogningslisten är intryckt
 c₂ Fogningslisten har börjat vandra ut
 c₃ Fogningslisten har vandrat ut (se fig. 6.4)
 c₄ Fogningslist saknas

*Observera att fogmassa (b) och fogningslist (c) är separat behandlade.

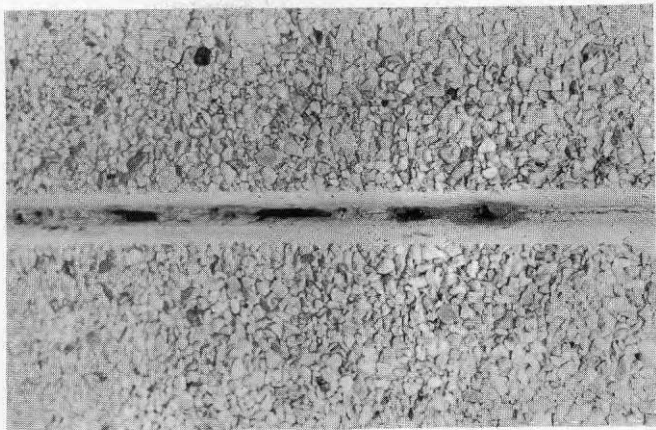
Man kan notera att c:a 20% av de skadade fogarna helt saknar yttre fogtätning, samt att ett antal betongelement är skadade. Det är naturligtvis felaktigt att dra några generella slutsatser av detta, men nödvändigheten av noggrant arbetsutförande och rätt val av fogmaterial framgår. Av resultaten framgår också vikten av att på ett korrekt och realistiskt sätt bestämma toleranser och fogrörelser.



Figur 6.1 Betongelementet är skadat. Försök har gjorts att fylla ut skadan med fogmassa.



Figur 6.2 Vidhäftningsbrott mellan fogmassa och metallparti.



Figur 6.3 Fogmassan har spruckit upp helt och vatteninträngning sker obehindrat.



Figur 6.4 Fogningslisten har glidit ur fogen. Felaktig listdimension i förhållande till fogbredd har använts.

Rapporter som behandlar olika fall av fuktskador i ytterväggar är bl a KBS-rapport (1971), Isaksen (1969), Beijer (1980).

En skadad fog kan bl a medföra:

- Ökad vattenmängd
- Ökad lufttäthet
- Risk för frostsprängning
- Försämrad värmeisolering
- Risk för kondens
- Försämrat utseende av byggnadsfasad

Ett antal undersökningar om fogskador och deras orsaker utfördes både inom och utom Sverige redan under 1960- och början av 1970-talet. Agri & Holmlund (1973) anger att fogskador kan orsakas av

Konstruktionsfel

- Ej fullständigt genomförd fogtätning
- Olämplig fogutformning
- Avsaknad av dränering och luftning av fogen
- Sättningar eller deformationer i stommen

Materialfel

- Olämpligt val av fogmaterial
- Aldrat fogmaterial
- Olämplig fogbredd med hänsyn till valt fogmaterial
- Felaktigt dimensionerad fogprofil
- Fuktabsorberande bottningslist

Felaktigt arbetsutförande

- Trasiga, porösa eller dåligt rengjorda fogytor
- Ej förbehandlade fogytor (grundning)
- Fogning vid för låg temperatur
- Våta fogytor vid fogning

I rapporten Ytterväggar, KBS (1971), anges att fogar tätade enligt 1-stegsprincipen lätt erhåller nedsatt funktion med allvarliga skador som följd. Vidare rekommenderas att en fasadfog bör utföras enligt 2-stegsprincipen. Liknande och andra rekommendationer kan hämtas från Grunau (1967, 1968), NBI (1968) Isaksen (1972), Herbert (1974). Som synes förelåg redan vid tiden för "miljonprogrammets" början omfattande information om och rekommendationer för lämplig fogutformning. Under senare tid har ytterligare artiklar eller rapporter publicerats, t. ex. ISO (1975), Larsen (1975), Grunau (1976), NBI (1977), Brandt & Kjaer (1977), Cziesielski (1978), BRANZ (1979), Beijer (1980), Bartels (1981). I både den tidigare och senare epoken har forskare i ett flertal länder behandlat fogskador och lämplig fogutformning, vilket antyder bl. a. informationsproblem av likartat slag även i andra länder. Det torde vara lämpligt att fästa uppmärksamheten på att fogar uppbyggda enligt tvåstegsprincipen redan tidigt användes (flera hundra år sedan) inom träbyggnadstekniken med gott resultat.

6.2 Skadetyper

I den i föregående avsnitt nämnda litteraturen redovisas byggnader med skador orsakade av brister i fogfunktionen. Vid kontakter med förvaltare, byggnads-entreprenörer, byggnadskonstruktörer, fogentreprenörer och fogtätningmaterialtillverkare har framkommit olika synpunkter på lämplig fogutformning och orsaker till erhållen bristande fogfunktion. En uppställning av skadeorsaker etc vid speciella byggnader blir dock något oöverskådlig. I det följande redovisas därför vanligt förekommande fogskador och skadeorsaker.

Skador som orsakats av felaktigt gjutna betongelement, transportskador, felberäknad fogrörelse, olämpligt vald fogbredd etc. upptages ej här.

6.3 Skador i fogar med enstegstätning.

Trots den tidiga kunskapen om enstegstätningens negativa funktionsegenskaper har fogtätningstypen använts i Sverige i mycket stor utsträckning. Orsaken härtill torde bl. a. vara det något enklare formsättnings- och gjutningsarbete.

I vertikalfogar har skadorna i allmänhet orsakats av att vid fogar tätade med fogmassa denna spruckit eller av att vidhäftningsbrott mellan massa och betongelement erhållits. Vatten har p.g.a. tryckskillnaden över främre fogdelen pumpats in i väggen och eftersom en enstegsfog saknar dränering och ventilation erhålles fuktskador, risk för frostsprängning eller bildande av istappar, försämrad värmeisolering etc. I enstegsfogar försedda med gummiprofiler erhålles vatteninträngning vid dålig anliggning mellan list och element eller då gummiprofilen förskjutits ur sitt läge. Orsaken till att gummiprofilen förskjutits är ofta felaktigt vald profildimension i förhållande till aktuell fogbredd. Ibland är fogtätningen (fogmassa eller gummiprofil) destruerad p.g.a. vandalism.

Vatteninträngning observeras dock mycket sällan vid vertikalfogen utan vid eller i närheten av anslutningen mellan vertikal- och horisontalfog. P.g.a. försämrad värmeisolering har i vissa fall kondens erhållits på väggens insida längs delar av den vertikala foglinjen.

Vatteninträngning i horisontalfogar uppträder av samma orsaker som vid de vertikala fogarna. Horisontalfogarna är mera utsatta för regnpåverkan än vertikalfogarna och uppvisar därför fler skador. Horisontal-

fogar utförda med horisontella fogsidor är exempel på en mycket olämplig men vanligt förekommande fogutformning. Inträngande vatten leds vid sådana fogar in i väggkonstruktionen ofta med svåra skador som följd. Att i dessa fall i efterhand få en väl fungerande fog synes vara näst intill omöjligt. Skador vid horisontalfogar utformade med tröskel är mera sällan förekommande och orsakas i de fall de uppträder av otillräcklig tröskelhöjd i kombination med ej tillräcklig lufttätning.

Skadorna ökar med ökad lufttäthet. Otätheter, som möjliggör luftströmmar, kan även bildas av spalter (springor) mellan isoleringsskivor som i någon väggdel är förbundna med byggnadens inre. En lufttätning bör därför anbringas vid ytterskivans insida och vara beständig.

6.4 Skador i fogar med tvåstegstätning.

Fogar tätade enligt tvåstegsprincipen uppvisar ett mindre antal skador än enstegsfogar. Skadorna har orsakats i huvudsak av för liten eller obefintlig tröskel i horisontalfogen och/eller otillräcklig dränering och ventilation. Vid intervjuer och besiktningar har även framkommit att ren okunskap har förelegat (eller föreligger) om tvåstegsfogens rätta uppbyggnad. Detta innebär att fogutformningen motsvarar någon mellanform. T. ex. har flera fall kunnat konstateras där man omsorgsfullt tätat fogen och därigenom förhindrat möjligheten till dränering eller ventilation. Ett annat problem som kunnat påvisas är att utrymmet för den vertikala dränerings- och ventilationskanalen tagits till så stor att värmeisoleringen av fogen blivit för dålig med i vissa fall kondens på innerväggen som följd.

6.5 Övriga skador

Vid besiktning av skadade byggnader har förvaltare etc. i en del fall haft uppfattningen att skadeorsaken varit nedsatt funktion eller olämplig utformning av fogen mellan betongelementen utan att närmare klarlägga skadeorsaken. Det är dock väsentligt att påpeka att vatteninträngning kan erhållas av andra skäl, exempel härpå är olämpligt utformad anslutning mellan vägg och fönsterkarm eller andra öppningsanslutningar. Andra olämpliga detaljlösningar kan finnas i anslutningar mellan betongelement och lättväggar med plåt- eller träbeklädnad. Vanligt förekommande skadeorsak är olämplig anslutning mellan fasadvägg och yttertak. I flera fall har täckplåtar endast dragits ned från takkrönet en kort sträcka (≤ 5 cm) vilket är helt otillräckligt.

Vid besiktningar av skadade byggnader har ibland påståenden framförts att vatten trängt direkt igenom ospruckna fasadytterskivor. Vid laboratoriekontroll av element utförda på samma sätt har dessa dock befunnits helt täta. Otäthet kan dock troligen uppkomma vid element med frilagd ballast och tunn skivtjocklek

I något fall har vi konstaterat att fuktskador orsakats av att ytter- och innerskivan blivit sammangjutna, vilket medfört nedsatt värmeisolering med kondens som följd. Sker sammangjutningen nära fogområdet kan sådana skador vara svårbedömda.

Slutsatsen är därför att man icke utan noggrann prövning får hänföra fukt- och vattenskador till nedsatt fogfunktion.

7. EXPERIMENTELL UNDERSÖKNING AV FOGTÄTNING OCH FOGUTFORMNING

7.1 Målsättning

Den experimentella undersökningens syfte kan sammanfattas i följande punkter:

Konstruktion av enkel (= icke dyrbar) försöksutrustning för laboratorietester av täthet hos fogar mellan byggnadsdelar under slagregnsförhållanden.

Utveckling av lämplig provningsmetodik. Val av rimliga värden på parametrarna vindhastighet och ytvattenflöde i laboratorieförsöken. Studier av hur variationer i dessa belastningar påverkar provningsresultaten.

Jämförande provning av olika fogtätningars funktion under likartade reproducerbara förhållanden.

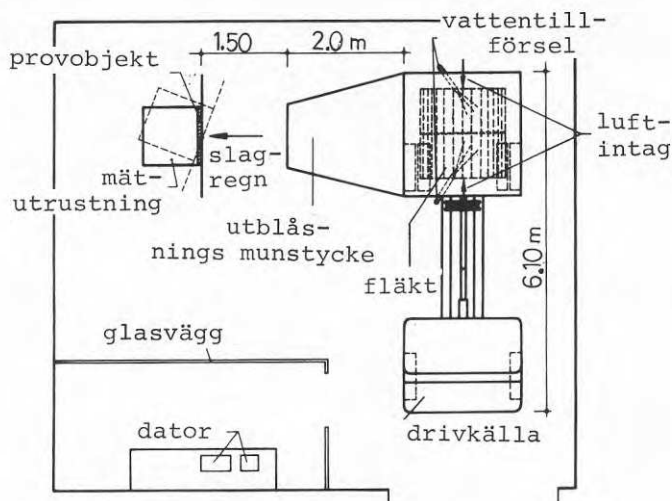
Jämförelse mellan egna provningsresultat och resultat från andra publicerade undersökningar.

7.2 Slagregnsprovning

Många olika provningsmetoder och typer av provningsutrustningar för testning av byggnadsdelars täthet mot regn och vind i laboratorium förekommer, i vilka man söker efterlikna naturpåverkningar. En av de första provningsutrustningarna för laboratorietestning av byggnadsdelar under slagregnsförhållanden togs i bruk vid NBI (Norges Byggforskningsinstitut) omkring år 1960. Numera har de flesta större högskolor och forskningsinstitut utrustning för slagregnsprovning.

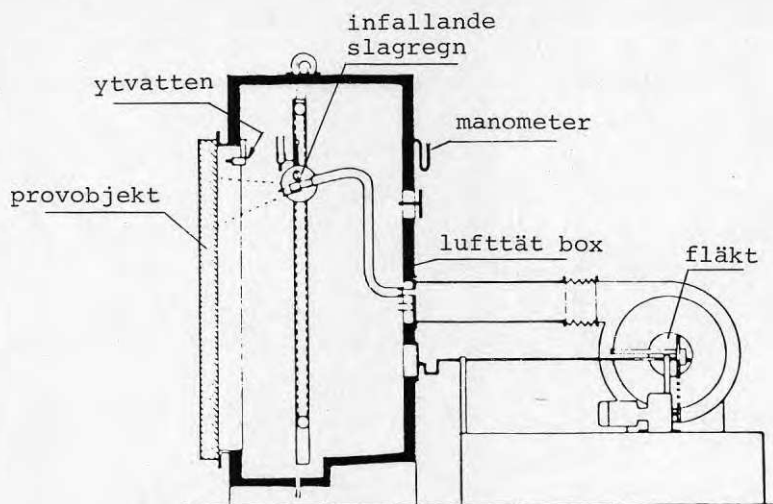
Provningsutrustningarna kan antingen vara "öppna" eller "slutna". I de "öppna" utrustningarna blåses en luftström mot testobjektet. Vatten som tillförs luftströmmen infaller mot provobjektets yta som

slagregn. Ett exempel på "öppen" slagregnsapparat ges i fig. 7.1.



Figur 7.1 Försöksutrustning av "öppen" typ, använd vid Technische Universität i Berlin. Utrustningen sedd från ovan. Enligt Cziesielski & Maerker (1981).

"Slutna" slagregnsapparater, som är vanligaste förekommande, består av en lufttät box som fästs vid provobjektets framsida, fig 7.2. Genom att luft blåses in i boxen alstras ett övertryck som motsvarar det vinden ger. Regnets verkan åstadkoms genom att vatten sprejas via munstrycken mot provobjektet. Stora skillnader i utföranden mellan enskilda utrustningar förekommer. I de flesta utrustningar finns möjlighet att åstadkomma ytvattenflöden på den provade byggnadsdelen, däremot har inte alla apparater möjlighet att simulera direktinfallande slagregn mot provobjektets yta. Det senare är av mindre betydelse vid provning av fogar mellan fasadelement. I de mera avancerade provningsutrustningarna är man inte begränsad till att studera vind som infaller vinkelrätt mot provobjektets yta, utan anblåsning kan ske från godtyckligt håll.



Figur 7.2 Slagregnsapparat av "sluten" typ, använd vid Norges Byggeforskningsinstitut (NBI). Enligt Isaksen (1972).

Det finns ett flertal olika provningsmetodiker. Det är dock möjligt att särskilja två helt olika grundläggande provningsprinciper, "statisk" resp "dynamisk" provning.

Vid "statisk" provning hålls tryckskillnaden över byggnadsdelen (vindhastigheten) konstant under försöken. Detta förfarande efterliknar dåligt naturliga förhållanden, då vindhastigheten fluktuerar även under korta tidsperioder.

Vid "dynamisk" provning varierar vindhastigheten under försöken. Någon provningsmetod med fluktuerande vindlast kring grundvärden förekommer ej, utan med "dynamisk" provning enligt praxis menas att vindhastigheten ökas från ett grundvärde regelbundet under korta tidsperioder i form av lika stora vindstötter ett antal gånger per minut. Metoden med vindstötter beskriver inte de naturliga förhållandena korrekt, men ger en viss uppfattning om hastighetstopparnas

inverkan*

I västeuropa har t ex normerade provningsmetoder utarbetats inom CEN (1980) och Nordtest (1980) CEN-normen anger en statistisk provningsmetod, medan Nordtestnormen arbetar med vindstötter. I båda normerna föreskrivs ett provningsförfarande där vindtrycket stegvis ökas med jämna tidsmellanrum tills läckage genom den provade byggnadsdelen uppstår. De normerade provningsmetoderna är främst avsedda för provning av fönster o dyl och inte direkt menade att tillämpas vid provning av fogar mellan byggnadsdelar.

7.3 Beskrivning av använda provningsutrustningar

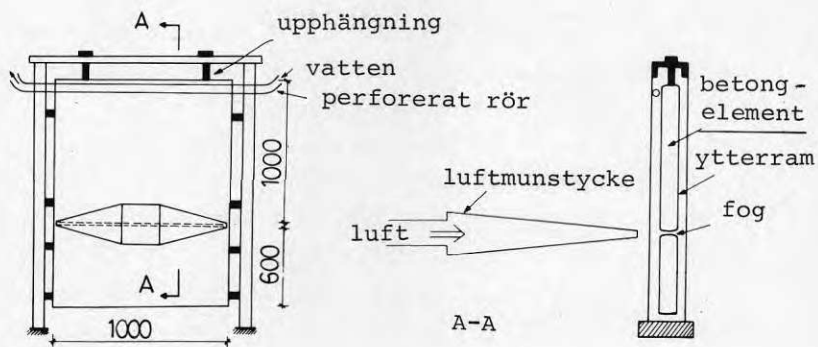
Två olika typer av slagregnsapparater har utprovats och använts vid provningarna.

Slagregnsapparat 1:

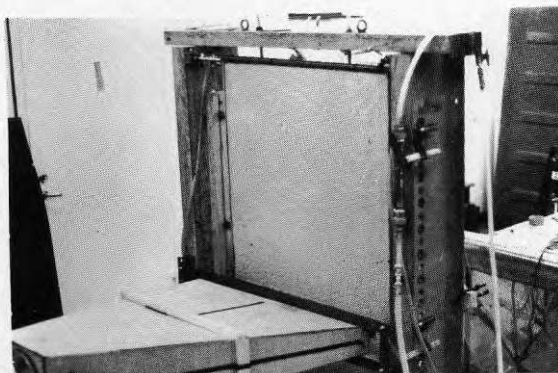
Utrustningen är av "öppen" typ och dess utseende framgår av figur 7.3 och 7.4.

Två betongelement upphängdes ovanför varandra i en stålram med en horisontell fog mellan elementen. Med hjälp av en fläkt blåstes luft genom ett munstrycke som riktades mot fogen mellan betongelementen. Härigenom erhöles en tryckskillnad över fogen, som simulerade vindens verkan mot en fasad. Regnets verkan simulerades genom att en ytvattenström påfördes ele-

* I denna undersökning har enbart statistisk provningsmetod använts. I ett forskningsprojekt har författarna studerat fogtätning mellan marmorskivor med dynamisk metod. Rapport med resultat av dessa undersökningar kommer att publiceras 1983.



Figur 7.3 Slagregnsapparat 1.



Figur 7.4 Fotografi av slagregnsapparat 1.
(övre del)

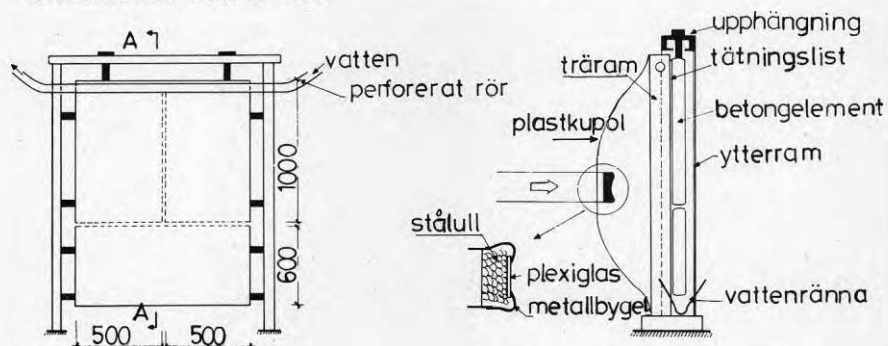
menten med hjälp av ett perforerat rör, som via en flödesmätare kopplades till vattenledningen. Vid provning är det väsentligt att tryck- och vattenbelastningen är så jämn som möjligt längs fogen. Utrustningen kalibrerades genom att tryckskillnaden mellan fogens fram och baksida uppmättes med en multimanometer i 16 punkter längs fogen för olika varvtal på fläktens motor. Genom att justera luftmunstyckets öppningsvidd och dess avstånd till elementfogen kunde en relativt jämn tryckfördelning längs fogen erhållas. Tiden för vattnets penetration av fogtätningen bestämdes vid vissa provningar med hjälp av 15 elektriska resistansmätare som reagerar för mycket små mängder av fukt, fig 7.5. Tyvärr visade det sig att denna mätapparat störde strömbilden och mätförfarandet ändrades till okulärbesiktning.



Figur 7.5 Kännare för registrering av vattenläckage monterade i horisontalfogen. När vatten tränger förbi fogtätningen sker kortslutning mellan trådändarna.

Slagregnsapparat 2

Slagregnsapparat 2, fig 7.6 och 7.7 utvecklades för att ge möjlighet att även prova vertikala fogar och fogkryss mellan elementen. Apparat 2, som är av "sluten" typ, skiljer sig från apparat 1 genom att luftmunstycket tagits bort och en plastkupol fästs vid elementens framsida.

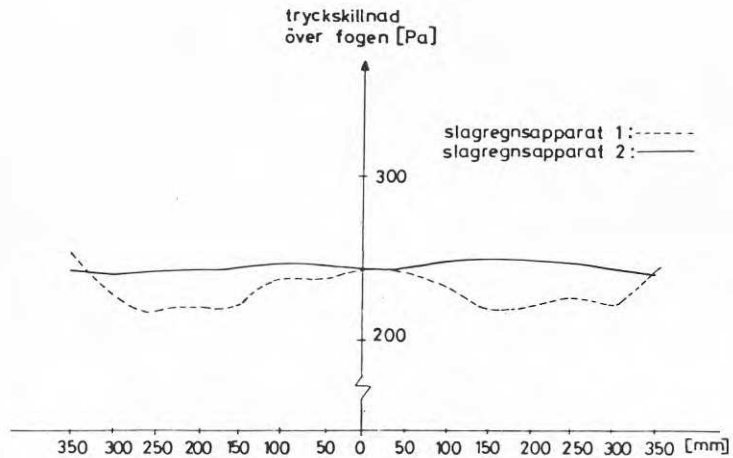


Figur 7.6 Slagregnsapparat 2



Figur 7.7 Fotografi av slagregnsapparat 2.

Med hjälp av en fläkt blåstes luft in i plastkupolen var ett övertryck uppstod. Tryckskillnaden mellan plastkupolens inre och provelementens baksida registrerades. Vid användning av utrustningen erhöles vid stora anblåsningshastigheter en jämnare tryckfördelning längs fogarna än vid apparat 1, fig 7.8. Vid försöken i apparat 2 registrerades tiden för vattengenomträngning manuellt, p g a de tidigare omtalade problemen med den automatiska registreringsanordningen. Övrig utrustning överensstämmer med den som användes i slagregnsapparat 1.



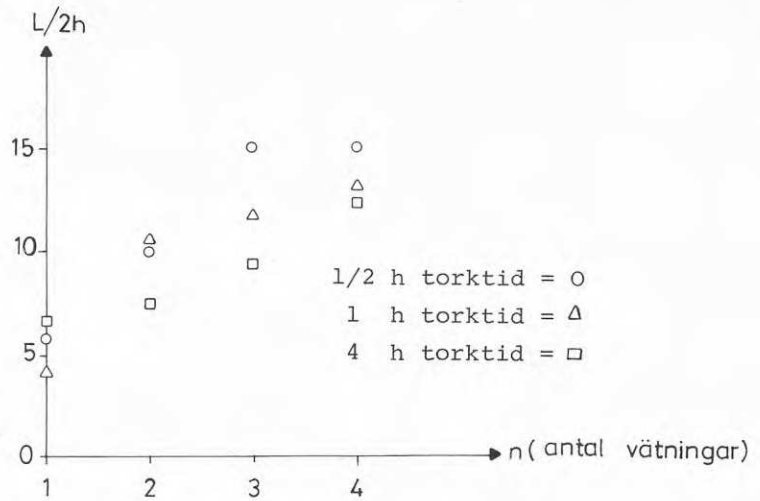
Figur 7.8 Tryckfördelning längs horisontalfogen vid hög vindhastighet 20 m/s. Vid lägre vindhastigheter blir tryckfördelningen jämnare.

7.4 Provningsmetodik

7.4.1 Mätteknik

Vid försöken registrerades tiden från provningens början till dess vatten trängde igenom fogtätningen. Tidtagningen startade när horisontalfogen började utsättas för ytvattenflödet vilket innebar att vattnets rinntid på det övre provelementet inte är medräknad. Tiden bestämdes till den första vattendroppen trängt förbi den provade fogtätningen och blev synlig på dess baksida. Vid provningarna med öppna fogar bestämdes tiden till dess vattnet trängt igenom fogen och börjat droppa ned på provelementens baksida. Efter en första proveriod utvidgades mätningarna med uppmätning av den inläckta vattenmängden. Läckmängden bestämdes efter en tid av två timmar med konstant vindtryck och ytvattenflöde. En fogtätning utan vattenläckage efter 2 timmars provning har betecknats som "tät" i resultatredovisningen. I vissa fall erhöles ett så kraftigt vattenläckage att provningarna måste avbrytas innan två timmar p g a att uppsamlingskärlet, som hade en volym på 1,3 l blev fullt på kortare tid. I resultatredovisningen anges inläckt vattenmängd under provtiden två timmar och i de fall mätningen avbrutits har den angivna vattenmängden extrapolerats till att motsvara mängden för en tvåtimmarsperiod.

Mellan provningarna torkades provobjekten i minst ett dygn. För att kunna göra jämförelser mellan olika provningar är det mycket viktigt att fuktillståndet i betongelementen är ungefär detsamma vid samtliga provningar. I figur 7.9 visas hur den inläckta vattenmängden ökar för varje provning vid otillräcklig torktid. Även tidpunkten för vattengenomträngning påverkas av torkningsperiodens längd.



Figur 7.9 Försöksresultat för öppen horisontalfog med horisontella fogsidor vid otillräcklig torktid mellan provningarna. Figuren visar inläckt vattenmängd som funktion av antal vätningar vid torktiden 0,5, 1 och 4 timmar.

7.4.2 Fogpåverkningar vid provningarna

Storleken på de vindtryck och ytvattenflöden som använts vid testerna har bestämts med ledning av publicerade undersökningar av vind- och regnpåverkan på byggnader. Jämförelser har även gjorts med de belastningar som används i andra slagregnsapparater. Storlekarna på påverkningarna har valts så att de motsvarar belastningar på byggnader i mycket utsatt läge.

De undersökta fogtätningarna har provats vid tryckskillnader på 0, 15,3, 61,3, 138 och 245 Pa över fogarna, vilket motsvarar vindhastigheterna 0, 5, 10, 15 och 20 m/s beräknat enligt nedanstående samband mellan hastighetstryck och vindhastighet.

$$p = C_p \rho_l v^2 / 2 \quad (7.1)$$

$$C_p = 1$$

p = hastighetstryck (tryckskillnad över fogtätningen) [Pa]

v = vindhastighet [m/s]

ρ_l = luftens densitet [kg/m^3]

Den använda trycksimuleringen följer inte verklig vindpåverkan, eftersom den naturliga vinden fluktuerar och under korta perioder kan ha betydligt större hastigheter än medelvindhastigheten. I Sverige är det ovanligt med nederbörd vid vind av högre hastighet. Enligt SMHI förekommer de flesta nederbörds-tillfällena vid hastigheter < 10 m/s.

I slagregnsapparaten har fogtätningarna utsatts för samtidigt påverkan av vind och ytvattenflöden, de senare motsvarar de flöden som uppstår på en betongelementfasad vid slagregn. Uppkomsten av och storleken hos sådana ytvattenströmmar beskrivs i avsnitt 3.2.4. I vissa slagregnsutrustningar kan förutom ytvattenflöden även infallande regndroppar simuleras. I den provningsutrustning som använts i denna undersökning har simulering av infallande slagregn inte varit möjlig (kostnadsskäl) och ej heller ansetts vara nödvändig. Undersökningar utförda på ett provhus med släta fasadelement i Skottland visar att ca 80% av det genom öppna vertikala fogar inträngande vattnet härstammar från ytvattenflöden på fasaden, Bishop, Webster & Herbert (1968). Dubinski (1977) redovisar resultat från liknande mätningar på en naturligt exponerad plåtpanel med modellfogar (CIB-panelen).

En komplikation vid simulering av infallande regndroppar är att påverkningens storlek blir beroende av storleken på provobjektet. Ett provobjekt med stor yta träffas av en större slagregns mängd än ett

objekt med mindre yta, vilket medför att olika stora ytvattenströmmar uppstår.

I denna undersökning har i regel ett ytvattenflöde på 180 l/m h använts. Detta motsvarar enligt avsnitt 3.2.5 ett ytvattenflöde på en 40-50 m hög byggnad med släta betongelementfasader utan utskjutande detaljer, efter ca 20 minuters infallande slagregn med intensiteten 10 mm/h och fördelning över fasaden enligt fig 3.10. Isaksen (1975) och Vos & Tammes (1977) har påvisat sådana slagregnsintensiteter vid mätningar. De värden på maximalt dygnsvärde för fritt slagregn som anges i SBN 80 är inte tillämplbara vid slagregnsprovning då maximala slagregnsmängder under korta tidsperioder är av större intresse. I tabell 7.1 redovisas slagregnsbelastningar som använts i provningar vid olika företag och institutioner. Uppgifterna är i huvudsak hämtade från Herbert (1972). Provningsförfarande och använda slagregnsmängder varierar som synes mycket.

De resultat som anges i avsnitt 7.7 gäller för ytvattenflödet 180 l/m h om ej annat anges, Vissa resultat redovisas för ytvattenflöden på 60 och 120 l/m h

Tabell 7.1 Slagregnsbelastningar och provningsmetoder för några olika utrustningar

Land	Institution	Provningsmetod	Slagregn mm/h	Ytvatten- flöde l/mh
Danmark	SBI	Statisk + vindstöt	8 - 12	0 - 120
Frankrike	CSTB	Statisk	-	42
Nederländ	TNO	Statisk + vindstöt	72 - 144	-
Norge	NBI	Statisk + vindstöt	17	100
Rumänien	BRI	Statisk	-	90 - 480
Storbrittanien	BRS	Statisk + vindstöt	10 - 240	-
"	BSI	Statisk + vindstöt	-	150
Sverige	CTH	Statisk	-	180
"	HSB	Statisk + vindstöt	-	150
Syd Afrika	NBRI	Statisk + vindstöt	200 - 600	-
V Tyskland	IWT	Statisk + vindstöt	120	-

7.5 Beskrivning av provelementen

Betongelementen utformades att motsvara ytterskivan i ett sandwichelement. De tillverkades i hållfasthetsklass K30 i liggande form med fasadytan uppåt, vilken enbart ytavjämnades. Elementtjockleken var 75-80 mm. Betongelementens kanter (=fogsidorna) göts mot formplywood. Fogutformningen valdes efter utförandet i existerande byggnader.

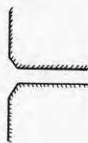
Två olika elementtyper tillverkades, dels element med horisontell utformning av horisontalfogens sidor dels element med lutande fogsidor. De olika fogutformningarna framgår av figurer i resultatredovisningen, avsvitt 7.7.

Provelement tillverkades även med frilagd ballast. Vid de experimentella undersökningarna med dessa element visade det sig att ytvattenströmmen koncentrerades till områden mellan ballastpartiklarna. Härigenom blev horisontalfogen ojämnt belastad med en obestämbart variation längs fogen varför enbart ett fåtal studier med denna typ av provelement utfördes.

7.6 Sammanställning över provade fogtätningar

Nedan redovisas de fogtätningar som provades. Fogbredden är 10 mm om inget annat anges.

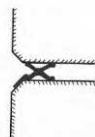
Öppen fog med
horisontella fogsidor



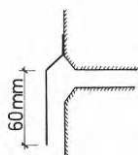
Fogningslist 1 i fog
med horisontella fogsidor
material: EPDM-gummi



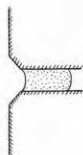
Fogningslist 2 i fog
med horisontella fogsidor
material: EPDM-gummi



Fog med horisontella fogsidor
täckt med skyddsplåt



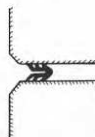
Fogskum i fog med horisontella fogsidor
material: polyuretanskum
fogbredd: 12 mm



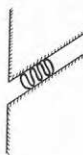
Öppen fog med
lutande fogsidor,
lutning 45°



Fogningslist 1 i fog
med lutande fogsidor,
lutning 45°

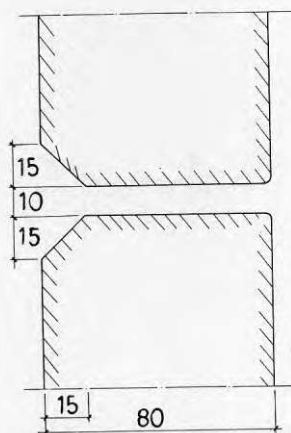


Tätremsa av mineralull i
fog med lutande fogsidor,
lutning 45°



7.7 Resultatredovisning

7.7.1 Provning av horisontalfogar med horisontell utformning av fogsidorna och utan bakomvarande vindttätning.



Figur 7.10 Geometriska data för horisontalfog mellan provelement med horisontella fogsidor.

I tab. 7.2 - 7.7 redovisas tid för vattengenomträngning i horisontalfogar mellan provelement med horisontella fogsidor utan bakomvarande vindttätning. Slagregnsapparat 1 användes vid testerna.

Tabell 7.2 Tid för vattengenomträngning i öppen fog med horisontella fogsidor.



tryckskillnad över fogen	0 Pa	15,3-245 Pa
tid för vattengenomträngning	10 s	< 10 s

Tabell 7.3 Tid för vattengenomträngning i fog med horisontella fogsidor tätad med fogningslist 1.



tryckskillnad över fogen	0 Pa	15,3-245 Pa
tid för vattengenomträngning	60 s	≈20-40 s

Tabell 7.4 Tid för vattengenomträngning i fog med horisontella fogsidor tätad med fogningslist 2.



tryckskillnad över fogen	0	15,3	61.3-245
tid för vattengenomträngning	"tät"	7 min	≈3 min

Tabell 7.5 Tid för vattengenomträngning i fog med horisontella fogsidor täckt med skyddsplåt



tryckskillnad över fogen	0-15,3 Pa	61,3-245 Pa
tid för vattengenomträngning	"tät"	< 60 s

Tabell 7.6 Tid för vattengenomträngning i fog med horisontella fogsidor tätad med fogskum.



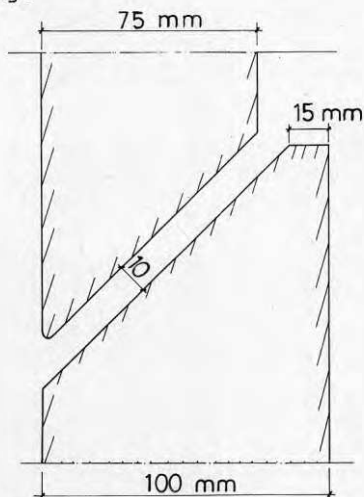
tryckskillnad över fogen	0-245 Pa
tid för vattengenomträngning	"tät"

Ytterligare en provning utfördes med denna polyuretanskumtätning, efter det att fogen vidgats 1 mm (8.3%). (Enligt uppgift från tillverkare är rörelseupptagande förmågan c:a 10%). Vid denna breddökning uppstod en spricka mellan betong och skum, vilket avsevärt försämrade fogens täthet.

Tabell 7.7 Tid för vattengenomträngning i fog med horisontella fogsidor tätad med fogskum. Fogbredd vidgad 1 mm efter tätning med skum.

tryckskillnad över fogen	0 Pa
tid för vattengenomträngning	21 min

7.7.2 Provning av horisontalfogar med lutande utformning av fogsidorna och utan bakomvarande vindtätning.



Figur 7.11 Geometriska data för horisontalfog mellan provelement med lutande fogsidor.

I tab. 7.8 - 7.10 redovisas tid för vattengenomträngning i horisontalfogar mellan provelement med lutande fogsidor, utan bakomvarande vindtätning. Slagregnsapparat 2 användes vid testerna.

Tabell 7.8 Tid för vattengenomträngning i öppen fog med lutande fogsidor.



tryckskillnad över fogen	0 Pa	15,3-245 Pa
tid för vattengenomträngning	"tät"	< 10 s

Tabell 7.9 Tid för vattengenomträngning i fog med lutande fogsidor tätad med fogningslist 1.



tryckskillnad över fogen	0-15,3 Pa	61,3 Pa	137 Pa	245 Pa
tid för vattengenomträngning	"tät"	100 min	29 min	16 min

Tabell 7.10 Tid för vattengenomträngning i fog med lutande fogsidor tätad med tätremsa av mineralull i plastfolie.

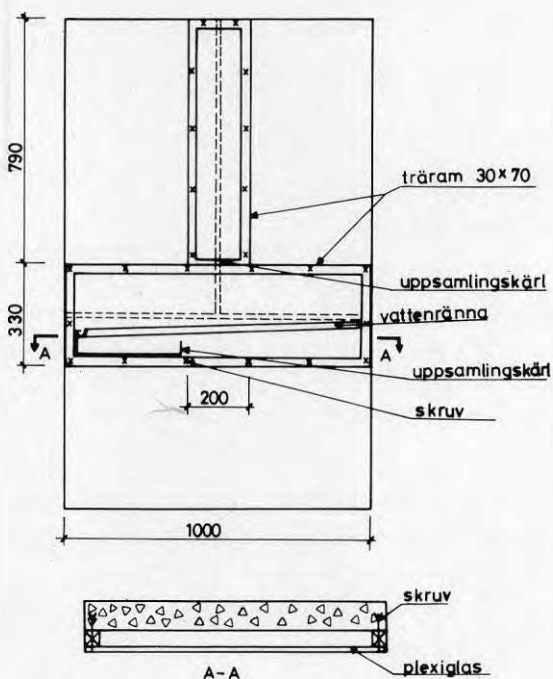


tryckskillnad över fogen	0-15,3 Pa	61,3 Pa	137 Pa	245 Pa
tid för vattengenomträngning	"tät"	40 min	8 min	2,5 min

7.7.3 Anordning för vindtätning

För att kunna studera vindtätnings effekt på fogkonstruktionens regntäthet anordnades en vindtätning på provelementens baksida, fig. 7.12. Denna bestod av

en 6 mm tjock plexiglasskiva i en träram, som var fäst vid provelementens baksida. Samtliga anslutningar tätades omsorgsfullt för att förhindra luftgenomströmning. Tätheten i anslutningarna kontrollerades med såpvatten vid maximal tryckskillnad över fogen.



Figur 7.12 Anordning för vindtätning monterad på provelementens baksida.

Förutom helt lufttät vindtätning studerades inverkan av olika grad av otätheter. Vid dessa provningar användes som vindtätning plexiglasskivor med hål och spalter. Vid funktionsstudien av horisontalfogar med horisontella fogsidor användes tre olika vindtätningar. Vindtätning (A) bestod av en helt tät plexiglasskiva. De båda övriga vindtätningarna (B och C) bestod av plexiglasskivor genom vilka borrats ett antal hål placerade med jämna avstånd längs fogen. Den totala hålarean för vindtätning B utgjorde 1.69% av fogarean och för vindtätning C 8.37%.

Luftflödet per längdmeter fog genom vindtätningarna B och C vid olika tryckskillnader bestämdes genom mätningar. Mätutrustningen finns beskriven i Jergling (1981). Resultaten av mätningarna redovisas i tab. 7.11.

Tabell 7.11 Luftflöde vid olika tryckskillnader över vindtätningar B och C

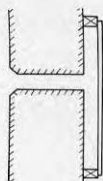
Tryckskillnad över tätningen Pa		15,3	61,3	138	245
Luftflöde m ³ /mh	Vindtätning B	2,3	4,8	7,6	10,2
	Vindtätning C	10,7	21,7	32,9	43,3

En jämförelse med teoretiskt beräknade luftflöden ger att friktionsförlusterna vid luftströmning genom vindtätning B är omkring 20% och vid vindtätning C omkring 28%.

Vid den experimentella studien av horisontalfogar mellan provelement med lutande fogsidor erhöles inget vattenläckage vid de tre tidigare beskrivna vindtätningarna (A, B, C). Detta medförde att ytterligare en vindtätning användes. Denna bestod av en plexiglasskiva med en 7 mm bredd spalt, och genom att stänga för olika stor andel av spalten kunde hålarean varieras. Provningar utfördes med 30, 40, 50, 60 och 70% hålarea av fogarean.

7.7.4 Provning av horisontalfogar med horisontell utformning av fogsidorna och bakomvarande vindtätning.

Tid för vattengenomträngning i horisontalfogar mellan provelement med horisontella fogsidor redovisas i tab.7.12. Fogarna var försedda med bakomvarande vindtätning av tre olika grad av lufttäthet. I tab. 7.13 redovisas inläckt vattenmängd i fogen under två timmars provning. Slagregnsapparat 2 användes vid provningarna.



Tabell 7.12 Tid för vattengenomträngning i fog med horisontella fogsidor vid olika vindtätningar

tryckskillnad över fogen, Pa		15,3	61,3	138	245
tid för vattengenomträngning min, s	vindtätning A	4 min 10 s	15 min	(20 s)*	4 min 20 s
	vindtätning B	(30 s)*	5 min	(30 s)*	4 min 20 s
	vindtätning C	1 min 50 s	1 min 20 s	3 min	2 min 10 s

* Avvikande resultat, se avsnitt 7.8.

Tabell 7.13 Inläckt vattenmängd i fog med horisontella fogsidor vid olika vindtätningar.

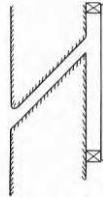
tryckskillnad över fogen Pa		15,3	61,3	138	245
inläckt vattenmängd ml/2h	vindtätning A	(4600)*	2730	3360	3270
	vindtätning B	880	2520	3000	3640
	vindtätning C	5000	5760	6880	9600

*Avvikande resultat, se avsnitt 7.8.

7.7.5 Provning av horisontalfogar med lutande utformning av fogsidorna och bakomvarande vindtätning.

Tid för vattengenomträngning i horisontalfogar mellan provelement med lutande fogsidor redovisas i tab. 7.14. Fogarna var försedda med bakomvarande vindtätning med olika grad av lufttättheter. I tab. 7.15 redovisas

inläckt vattenmängd i fogen under två timmars provning.
Studien utfördes i slagregnsapparat 2.



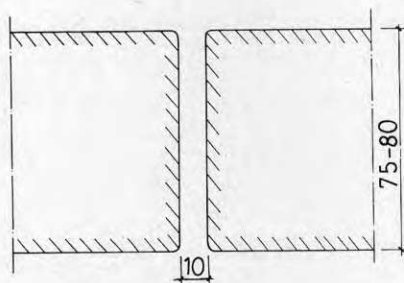
Tabell 7.14 Tid för vattengenomträngning i fog med lutande fogsidor vid olika vindtätningar.

tryckskillnad över fogen Pa	0-61,3	138	245	
tid för vattengenomträngning, s	vindtätning med 0-30% relativ hålärea	"tät"	"tät"	"tät"
	vindtätning med 40% relativ hålärea	"tät"	"tät"	40
	vindtätning med 50% relativ hålärea	"tät"	"tät"	30
	vindtätning med 60% relativ hålärea	"tät"	"tät"	20
	vindtätning med 70% relativ hålärea	"tät"	30	10

Tabell 7.15 Inläckt vattenmängd i fog med lutande fogsidor vid olika vindtätningar.

tryckskillnad över fogen Pa	0-61,3	138	245	
inläckt vattenmängd ml/2h	vindtätning med 0-30% relativ hålärea	0	0	0
	vindtätning med 40% relativ hålärea	0	0	50
	vindtätning med 50% relativ hålärea	0	0	340
	vindtätning med 60% relativ hålärea	0	0	950
	vindtätning med 70% relativ hålärea	0	20	6720

7.7.6 Provning av vertikala fogar med och utan bakomvarande vindtätning.



Figur 7.13 Geometriska data för vertikalfog.

Vid slagregn som infaller snett mot en fasad kan vatten samlas i vertikalfogarna p.g.a. vindens drivkraft. För att i försöksutrustningen simulera denna effekt monterades ett särskilt munstycke så att vertikalfogen kunde utsättas för ett koncentrerat vattenflöde vid fogens övre del.

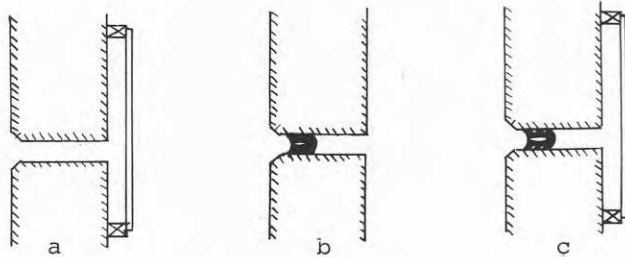
De utförda provningarna visar att risken för vatten- genomträngning är mindre vid vertikala fogar än vid horisontella.

En vertikalfog tätad med fogningslist 1 klarade ett koncentrerat flöde på 180 l/h och en tryckskillnad på 245 Pa över fogen under två timmar utan att något vatten läckte in. En helt öppen vertikalfog utan vindtätning utsatt för koncentrerat flöde på 180 l/h och tryckskillnad 245 erhöll vattenläckage efter mindre än 1 min. Även då den öppna vertikalfogen försågs med en helt tät bakomvarande vindtätning skedde läckage genom fogen i form av små vattendroppar nästan omedelbart. Efter ca 1.5 timmars provning med

samma vattenflöde och tryckskillnad som ovan ökade läckaget kraftigt.

7.7.7 Provingar med olika ytvattenflöden.

För att utröna inverkan av ytvattenströmmens storlek på penetrationstid och inläckt vattenmängd provades tre olika fogtätningar, fig. 7.14, vid olika vattenflöden.



Figur 7.14 Fogtyper som provats vid olika stora ytvattenflöden. Samtliga fogar är horisontalfogar med horisontell utformning av fogsidorna. Fog a är en öppen fog med bakomvarande helt lufttät vindtätning. Fogarna b och c är tätade med foglist 1, fog c är dessutom försedd med bakomvarande vindtätning.

Tiden för vattengenomträngning vid de olika fogarna för ytvattenflöden på 60, 120 och 180 l/mh framgår av tab. 7.16. Inläckt vattenmängd vid 245 Pa tryckskillnad över fogen under två timmar redovisas i tab. 7.17. Proven utfördes i slagregnsapparat 2 vid 245 Pa tryckskillnad över fogen. Som framgår av tab. 7.16 och 7.17 påverkas inte tiden för vattengenomträngning nämnvärt av olika ytvattenflöden, men däremot påverkas läckmängden.

Tabell 7.16 Tid för vattengenomträngning vid olika ytvattenflöden.

ytvattenflöde l/mh		60	120	180
tid för vattengenomträngning s	Öppen fog med bakomvarande vindtätning (a)	(10 s)*	4 min 40 s	4 min 20 s
	fogningslist 1 (b)*	30 s	20 s	20 s
	fogningslist 1 med bakomvarande vindtätning (c)*	30 s	30 s	30 s

* se avsnitt 7.8

Tabell 7.17 Inläckt vattenmängd vid olika ytvattenflöden.

ytvattenflöde l/mh		60	120	180
Inläckt vattenmängd ml/2h	Öppen fog med bakomvarande vindtätning (a)	140	1270	3270
	fogningslist 1 (b)*	2400	2880	2510
	fogningslist 1 med bakomvarande vindtätning (c)*	1590	1700	(8000)*

* se avsnitt 7.8

7.8 Diskussion av resultaten

Den använda provningsmetoden med konstant tryckskillnad över fogen under hela provningstiden skiljer sig från de normerade metoderna för fönsterprovning där trycket ökas stegvis med jämna tidsmellanrum (5-10 minuter) under provningarna. Den använda metodens fördel är att läckage som uppstår efter en längre tids påverkan kan observeras. Detta är speciellt värdefullt vid undersökning av fogar försedda med fogtätning, vilka ofta uppvisar en viss "tröghet" vid provning. Som exempel på en fogtätning med sådan "tröghet" kan nämnas fogningslist 2, som är utformad som ett kryss och avsedd att användas i horisontella fogar. Vid provning av denna list tränger vatten relativt snabbt förbi den främre övre delen av listan, men därefter dröjer

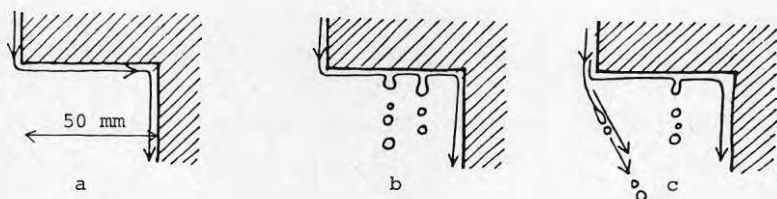
det en tid medan utrymmet mellan listens övre delar fylls med vatten. När detta utrymme vattenfyllts tränger vatten även förbi listens övre bakre del och blir synligt på dess baksida. Vid provning enligt de normerade metoderna hinner kanske trycket över fogen att ökas flera gånger medan det ovan beskrivna förloppet pågår och en överskattning av den provade fogtätningens förmåga sker.

Det faktum att provningarna utförts i två olika slagregnsutrustningar är av mindre betydelse för resultatens jämförbarhet. Inga klart urskiljbara skillnader i provningsresultat mellan de båda utrustningarna har påvisats, vilket överensstämmer med resultat från undersökning av olika slagregnsutrustningar utförd av Brackley (1981).

De parametrar (tid för vattengenomträngning och inläckt vattenmängd), som redovisas i avsnitt 7.7, utgör värden från såväl enstaka som flera mätningar. I senare fallet anges medelvärde. På grund av det ringa antalet mätningar som ligger bakom varje enskilt redovisat provningsresultat är det inte meningsfullt att analysera de redovisade värdena statistiskt. Av samma skäl är det svårt att entydigt uttala sig om tillförlitlighet, några tydliga tendenser finns dock.

För den öppna horisontalfogen med horisontella fog-sidor är provningsresultatens reproducerbarhet låg. Flera "oförklarliga" eller "ologiska" testresultat har erhållits vid experiment med denna fogutformning. Sådana resultat har i resultatredovisningen 7.7 placerats inom parentes. Osäkerheten i resultaten för denna fogutformning är inte unik för denna undersökning, såväl Isaksen (1972) som Brackley (1981) redovisar liknande problem. Förklaringen till dessa problem torde stå att finna i det faktum att andra drivkrafter såsom kapillärkrafter, ytspänningsfenomen etc. förutom tryckskillnaden över fogen spelar en

avgörande roll för vatteninträngande. Vid den öppna horisontalfogen men horisontella fogsidor sker vattenläckage även då ingen tryckskillnad föreligger över fogen, vilket beror på att vatten på grund av dess ytspänning kan rinna längs övre provelementets nederkant och fortsätta in i fogen utmed undersidan av den horisontella fogsidan. Detta förlopp har beskrivits av Robinson och Baker (1975), fig.7.15. Det är även troligt att kapillärkrafter har stor betydelse för vattengenomträngningen vid denna fogutformning. Förloppet har verifierats av den teoretiska beräkningsmodellen i 8.5, tabell 8.3.

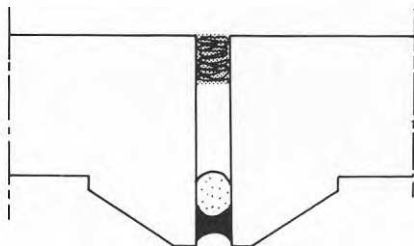


Figur 7.15 Observerade vattenflöden över en utkragning på en fasadyta av polerad granit. Enligt Robinson & Baker (1975).

- a. litet ytvattenflöde
- b. medelstort ytvattenflöde
- c. kraftigt ytvattenflöde

Provningsresultatens spridning synes minska något om någon fogtätning placeras i fog med horisontella fogsidor. Resultaten för horisontalfog med lutande fogsidor uppvisar avsevärt mindre spridning än resultaten för motsvarande fog med horisontella fogsidor. Förklaringen till detta är att för den lutande horisontalfogen spelar tryckskillnaden över fogen och den därav förorsakade luftströmningen en helt dominerande roll som drivkraft vid vattenläckage. Detta medför att det är möjligt att ställa upp en teoretisk beräkningsmodell för vattnets transport genom fogar med denna utformning, se kap. 8.

Den geometriska utformningen av fogarna har stor betydelse för deras funktion. Det har i ett flertal praktiska fall konstaterats att utformningen av horisontalfogar med horisontella fogsidor är olämplig. Resultaten av den experimentella undersökningen ger ytterligare stöd åt detta påstående. Förutom att fogens sidor är horisontella avfasas ofta övergången mellan fasadelementens ytteryta och fogsidor, vilket medför att vatten som rinner på fasadytan lätt leds in i fogen. Av provningsresultaten framgår att horisontalfogar med lutande fogsidor fungerar betydligt bättre. Denna typ av fog kan göras ännu effektivare genom att fogsidorna utförs med vinkeländringar (trösklar). Vertikalfogar uppvisar i regel en större täthet än horisontalfogar. Deras funktion kan förbättras genom att angränsande fasadelement utformas med upphöjningar nära fogarna, fig 7.16, Bielek (1975). På detta vis förhindras vatten från omgivande fasadytor att samlas i vertikalfogarna.



Figur 7.16 Utformning av upphöjningar vid vertikalfog, vilka förhindrar vatten från angränsande fasadytor att ansamlas i fogen.

Undersökningarna av fogarna försedda med vindtätning visar klart vikten av att begränsa luftflödet genom fogarna. Med helt tät bakomvarande vindtätning förbättrades tätheten för en öppen horisontalfog med lutande fogsidor (elementtjocklek 80 mm) så att den kunde motstå maximal påfrestning (245 Pa, 180 l/mh)

under mer än två timmars provning utan att läckage uppstod. Den studerade effekten av vindtätningar med olika grad av defekter visar hur funktionen hos fogen med lutande fogsidor försämras när luftströmningen genom fogen ökar. Vattentätheten hos fogen med horisontella fogsidor förbättrades också något när den försågs med helt lufttät bakomvarande vindtätning, men resultaten försämrades väsentligt redan vid mycket små brister i densamma. Det bör tilläggas att användande av lufttät vindtätning bakom fogningslister har liten effekt vid den undersökta utformningen enligt figur 7.14 c, tabell 7.16 - 7.17. Otätheter mellan list och fogsidor täcks helt av ytvatten varvid en tryckskillnad över fogtätningen uppstår, med vattenläckage som följd. För att konstruktionen skall fungera väl enligt tvåstegsprincipen fordras att utrymmet bakom fogningslisten står i kontakt med elementets framsida genom en tryckutjämningskanal.

Av de provningar med olika ytvattenflöden som utförts är det svårt att med bestämdhet dra några slutsatser, men tendensen kan skönjas att ytvattenströmmens storlek (över en miniminivå) har liten inverkan på genomträngningstiden medan den däremot är av stor betydelse för hur mycket vatten som passerar genom fogen.

Av utförda provningar framgår den direkt avgörande effekt som tryckskillnaden över fogarna har som drivkraft vid vattenläckage. Vissa svårigheter föreligger dock i att relatera de använda tryckskillnaderna till verkliga förhållanden. Kunskapen om mikroklimatet kring en byggnad är fortfarande bristfällig. Vindhastigheterna vid byggnaders begränsningsytor kan avsevärt avvika från de som uppmäts i den ostörda luftströmmen. Tryckskillnader över fogarna i en fasad kan även förorsakas av andra faktorer än vinden, t ex av ventilations-systemet inom byggnaden och skillnader i luftdensitet

mellan inneluft och uteluft (termiska drivkrafter), se avsnitt 3.1. För enstegsfogar är i allmänhet huvuddelen av tryckskillnaden över fogen orsakad av vind, vilken ger ett dynamiskt tryck, enligt ekv. 7.1. Tvåstegsfogarna bör vara utformade så att tryckskillnader över yttre fogtätningen (regnskärmen) inte skall kunna uppstå. Det går dock inte att förhindra att tryckskillnader uppkommer under korta tidsperioder p g a vindens fluktuationer eller av luftrörelser i luftspalten och vid otätheter i ytterväggarna.

7.9 Jämförelse mellan egna provningsresultat och resultat från andra publicerade undersökningar.

De slagregnsutrustningar som finns för undersökning av byggnadsdelars täthet mot regn och vind används företrädesvis för fönsterprovning. Mera sällan används utrustningarna för att studera enskilda fogars funktion. I de fall sådana undersökningar har utförts är resultat från en undersökning mycket svåra att jämföra med resultat från en annan undersökning. Provningsmetod, använda belastningar, testade fogutformningar, använda material i fogytorna, uppmätta parametrar etc. skiljer ofta mellan olika undersökningar.

Nedan presenteras två omfattande studier av fogars funktion utförda av Isaksen (1972) resp Brackley (1981). Några intressanta erfarenheter från dessa undersökningar redovisas. Försök till jämförelse mellan resultat från dessa undersökningar och egna provningsresultat görs i de fall det är möjligt.

Isaksen (1972) sammanfattar resultat från studier av fogars funktion som utförts i NBI:s (Norges Byggforskningsinstitut) slagregnsutrustning under åren 1962-1968. Under denna tidsperiod har utrustningen byggts om och förbättrats flera gånger. Provningsmetod

och använda belastningar har också förändrats. I början utfördes statisk provning (se avsnitt 7.2), men år 1963 ombyggdes utrustningen så att provning med vindstötter blev möjlig. Påverkan var konstant eller konstant varierande vid varje test. Provnings-tiden var fem timmar om inte läckage uppstod tidigare. De belastningar som förekom vid experimenten var vindtryck (0-1100 Pa), infallande slagregn (0-60 l/m²h) och ytvattenflöde (0-102 l/mh) eller koncentrerat flöde vid vertikalfog (0-30 l/h). Endast fogar utformade enligt tvåstegsprincipen testades. Inverkan av olika fogutformning, olika fogbredd samt luftläckage genom vindtätningen studeras. Såväl horisontalfogar, vertikalfogar som fogkryss provades. Provelementen för experimenten med vertikalfogar respektive fogkryss var tillverkade av trä respektive plexiglas. Horisontalfogarna var av två skilda utföranden och gjorda i trä respektive betong. Även olika ytbehandlingar av fogytorna provades.

De främsta erfarenheterna från undersökningen utförd av Isaksen är:

- a) Horisontalfogar bör vara 6 mm eller mer breda för att förhindra läckage på grund av att fogöppningen helt täcks med vatten.
- b) Vindtätningen bör placeras så att vatten inte kan nå fram till den.
- c) Öppna vertikalfogar bör vara mindre än 3 mm breda och anslutande fasadelement försedda med upphöjningar så att ytvatten förhindras nå fogen. Bredare vertikalfogar måste förses med någon form av regntätning.

- d) Luftspalten i vertikala fogar bör vara minst 5 x 10 mm och fogsidorna försedda med vertikala eller utåt lutande spår för att förhindra att vatten tränger förbi luftspalten och vidare in i fogen.
- e) Luftläckage, speciellt koncentrerat luftläckage, nedsätter fogars regntätande funktion.

Enskilda provningsresultat är som tidigare påpekats svåra att jämföra med provningsresultat redovisade i denna rapport. De i den norska undersökningen provade horisontalfogarna hade 6° eller 11° lutande fogsidor och fogbredderna 2, 4 och 6 mm. Betongelementens tjocklek var 110 mm. Experimenten visade att den bredaste fogen fungerade bäst. Vid inte någon av fogbredderna uppstod vattenläckage för enbart ytvattenflöde utan samtidigt vindtryck, vilket är i överensstämmelse med undersökningsresultat i avsnitt 7. Den norska undersökningen visade också att fogar med släta fogytor fungerar bättre än dito med skrovliga ytor.

Brackley (1981) redovisar en undersökning där syftet varit att jämföra olika slagregnsutrustningar med varandra. Slagregnsutrustningar med testarrangemang enligt BS 4315, CEN, DIN 18055 och Nordtest användes vid experimenten. Vid provningarna användes en statistisk provningsmetod där fogarna under 15 minuter utsattes för enbart regnpåverkan. Därefter tillkom vindpåverkan som höjdes stegvis i steg på 50 Pa var femte minut. Inläckt vattenmängd under varje trycksteg registrerades. Vid undersökningen studerades fogutformningar härstämmande från tre olika elementbyggnadssystem. I det ena systemet var provelementen av betong medan elementen i de övriga systemen var av trä som bestrukits med färg med inblandad grov sand. Samtliga horisontalfogar var öppna utvändigt och försedda med en 50-100 mm hög, i det närmaste vertikal tröskel samt en vindtätning. Vertikalfogarna var försedda

med en regntätning bestående av någon typ av fogningslist. I vertikalfogarna hade vindtätningen borttagits för att läckage lättare skulle uppstå. Förutom ovan nämnda fogar testades också modellfogar som utformats i en plåtpanel (CIB-panelen). Varje fogsystem testades tio gånger i var och en av de fyra slagregnsutrustningarna.

Ursprungligen var det tänkt att provningsresultaten skulle behandlas i en ganska omfattande statistisk analys. Det visade sig dock att testresultatens spridning var så stor att någon sådan analys inte blev meningsfull. Den statistiska bearbetningen kom att begränsas till de värden på vindtryck som uppmättes i samband med första läckage genom fogarna. Standardavvikelserna för dessa värden för de provade fogarna varierade mellan 5% och 300% av testmedelvärdena. I medel var standardavvikelsen för resultaten 40%. Någon större skillnad mellan de olika slagregnsutrustningarna förelåg inte, motsvarande värde för testarrangemang enligt BS var 54,6%, CEN 37,0%, DIN 45,2% och Nordtest 25,4%. Brackley konstaterar att de iaktagna spridningarnas storlek synes bero mera på den provade fogens utformning än på den använda slagregnsutrustningens utförande. Detta konstaterande stämmer väl med egna erfarenheter, jämför avsnitt 7.7.

Beträffande jämförande provningar av de i den egna undersökningen använda fogtätningarna intar fogningslist 1 en särställning. Denna list har provats på uppdrag av tillverkaren i såväl HSB:s som NBI:s slagregnsutrustningar. I HSB:s undersökning användes listen som enstegstättning i vertikala fogar mellan betongelement och fungerade väl vilket överensstämmer med resultat i avsnitt 7.7.6. I NBI:s undersökning användes listen som regnskärm i tvåstegsfogar, i ett fogkryss mellan fyra lättbetongelement med putsad och målad yta. Horisontalfogen var försedd med en 5 mm hög tröskel. Fogningslisten fungerade tillfredsställande i denna undersökning, vilket avviker från resultatet

för horisontalfog mellan betongelement, avsnitt 7.7.1, tab. 7.3. Avvikelsen beror troligen på att fogytorna vid NBI:s undersökning var betydligt jämnare än de betongytor som användes vid föreliggande undersökning, avsnitt 7.6.

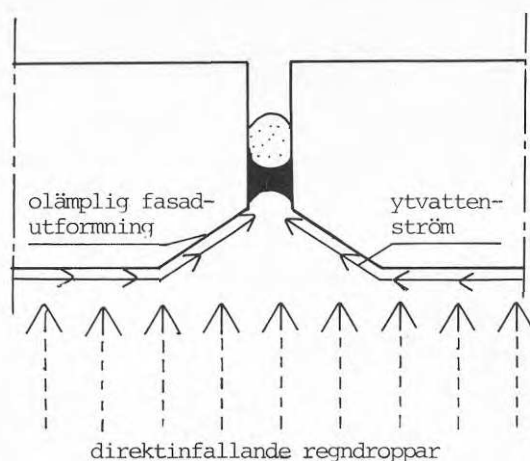
8. TEORETISKA BERÄKNINGSMODELLER FÖR VATTENTRANSPORT I FOGAR

8.1 Vattentransport i fogar - Inledning

I avsnittet 7.8 rörande experimentell undersökning av fogar samt avsnittet 6.2 om fogskador konstateras att vatteninträngningens förlopp beror på fogutformningen. En approximativ beräkning av erforderlig tröskelhöjd utgående från vindens dynamiska tryck ger resultatet 25 mm vid 20 m/s (245 Pa). Den experimentella undersökningen liksom erfarenheter från praktiken visar emellertid att en tröskelhöjd av 25 mm är helt otillräcklig för att förhindra vattenläckage vid en tryckskillnad av 245 Pa över fogen. En mera utvecklad beräkningsmetod av vattenströmningen måste därför användas.

Vattenströmningen i och kring en fog är olika vid vertikalfogar och horisontalfogar. Vid vertikalfogar kan vattenpåverkningar (fig. 8.1) orsakas av

- a. direktinfallande regndroppar,
- b. ytvattenström med horisontell hastighetskomponent,
- c. vattenström orsakad av olämplig fasadprofilering.

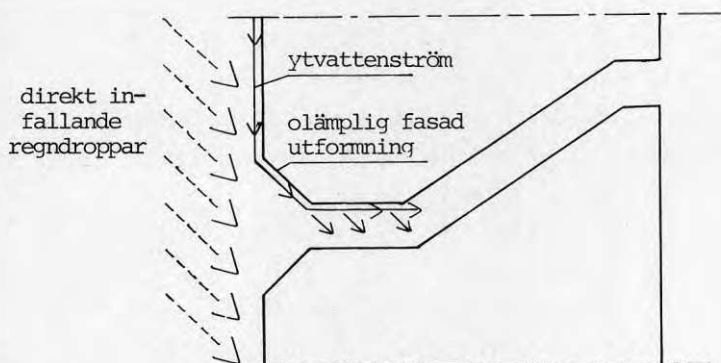


Figur 8.1. Vattenpåverkningar vid vertikalfogar.

Mängden direktinfallande regn är relativt sett liten. Det dominerande bidraget till vattenströmmen i vertikalfogar utgörs vid kraftiga slagregn av vatten från angränsande fasadytor som p.g.a. vindens drivkraft ansamlas i vertikalfogarna. Vattenströmmen i en vertikalfog kan av denna orsak bli flera gånger större än ytvattenströmmarna på angränsade ytor. Den geometriska utformningen av fasadelementen vid fogarna är av stor betydelse. Likaväl som det är möjligt att genom upphöjningar helt eller delvis förhindra att ytvatten från angränsande fasadytor når fogen, (avsnitt 7.8, fig. 7.16), kan en olämplig fasadprofilering förorsaka en ökning av vattenpåverkningarna (fig. 8.1). Undersökningar av skadefrekvens bekräftar att vertikalfogar i allmänhet belastas i lägre grad än horisontalfogar. Vatteninträngningen och därmed dess skadliga effekt kan med enkla medel undvikas genom lämplig teknisk lösning av regnskydd, fogdränering och fogventilation samt fasadprofilering. En speciell beräkningsmetod för vattenströmning i vertikala fogar är därför av mindre intresse.

Vattenpåverkningen vid horisontalfogar (fig. 8.2) orsakas av

- a. direktinfallande regndroppar,
- b. vattendroppar eller vattenfilm från ytvattenström,
- c. vattenström orsakad av olämplig fasadprofilering.



Figur 8.2 Vattenbelastningens transportvägar vid horisontella fogar.

Vid horisontalfogar med normal utformning är fogvattenmängden orsakad av direktinfallande regndroppar liten och kan anses ingå i den mängd vatten, som erhålles av vattendroppar från ytvattenströmmen, fig. 8.2. Vatten som rinner på fasadytan bildar när det kommer till övre fasadskivans nederkant antingen vattendroppar som påverkas av luftströmmen i fogen och transporteras in i fogen, eller en vattenfilm som följer övre fasadskivans undersida, fig. 8.2. Vattendropparnas storlek beror på bl. a. ytvattenströmmens storlek, fasadytans råhet och profilering, utformning av fasadelementens nederkant och vindhastighet.

8.2 Beräkning av vattendroppens transportkurva i horisontalfog.

Erforderlig tröskelhöjd i en horisontalfog bestäms till en första del av den sträcka som luftströmmen förmår transportera vattendropparna i fogen.

Följande samband antages gälla för vattendroppens rörelse, fig. 8.3,

$$C_p \frac{\rho_l (v_l - \dot{x})^2}{2} A - mg \sin \alpha = m \ddot{x} \quad (8.1)$$

där

C_p = formfaktor (antages = 1 i beräkningarna)

ρ_l = luftens densitet [kg/m³]

v_l = luftströmmens hastighet i fogen [m/s]

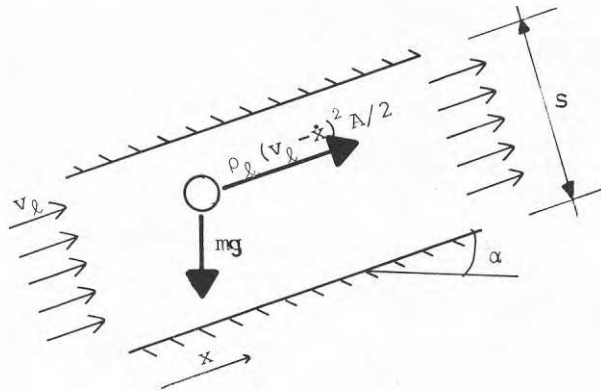
$\dot{x} = \frac{dx}{dt}$ = vattendroppens hastighet [m/s]
(för $t=x=0$ antages $\dot{x}=0$)

A = vattendroppens mot luftströmmen projicierade yta [m²]

m = vattendroppens massa [kg]

α = fogsidans lutning

x = sträcka längs fogsida [m]



Figur 8.3. Vattendroppe som transporteras av luftström i horisontalfog.

Antages vattendroppen vara klotformig erhålles

$$m = \frac{1}{6}\pi\Phi^3\rho_v \text{ och } A = \frac{\pi\Phi^2}{4}$$

där

Φ = vattendroppens diameter (m)

ρ_v = vattnets densitet (kg/m^3)

Om ekvation (8.1) skrives

$$\frac{C_p \rho_l A}{m} \left(\frac{\rho_l}{2} v_\ell^2 - mg \sin\alpha \right) = \ddot{x} + \frac{\rho_l A}{2m} 2v_\ell \dot{x} - \frac{\rho_l A}{2m} \dot{x}^2 \quad (8.2)$$

och löses fås vattendroppens förflyttning längs fogsidan

$$x = \frac{1}{D} \ln \frac{2\sqrt{\frac{g \sin\alpha}{D}}}{\left(\sqrt{\frac{g \sin\alpha}{D}} - v_\ell\right) + \left(\sqrt{\frac{g \sin\alpha}{D}} + v_\ell\right) e^{2t\sqrt{Dg \sin\alpha}}} + \left(v_\ell + \sqrt{\frac{g \sin\alpha}{D}}\right) t \quad (\text{för } C_p=1) \quad (8.3)$$

där

$$D = \frac{\rho_l A}{2m} \text{ eller } D = \frac{3}{4} \frac{\rho_l}{\rho_v} \frac{1}{\Phi}$$

t = tiden [s]

Vattendroppens rörelse i vertikalled bestämmer den tid som åtgår för droppen att förflytta sig tvärs fogen, från den övre fogsidan till den undre, ekv. (8.4)

$$t = \sqrt{\frac{2s}{g \cdot \cos\alpha}} \quad (8.4)$$

där

s = fogbredd [m] (fig. 8.3)

Vattendroppens transportsträcka längs fogsidan kan bestämmas ur ekv. (8.2) med den ur ekv. (8.4) erhållna tiden. I fig. 8.4 visas sambandet mellan transportsträcka och tid för 0.5 mm droppstorlek och 45° lutning på fogsidan. I figurerna har markerats hur långt vattendroppen transporteras i horisontell riktning in i en fog med 10 mm höjd. Nödvändigheten av att reducera luftströmmen genom fogen framgår tydligt. Transportsträckan ökar vid mindre droppdimensioner och minskar vid större.

$$\frac{\rho_l (v_l - \dot{x})}{2} A = m\dot{x} \quad (C_p=1) \quad (8.5)$$

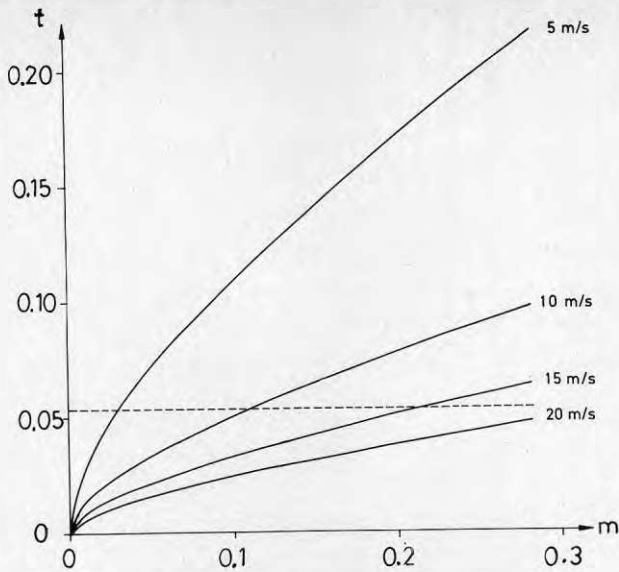
med lösningen

$$x = v_l t - \frac{2m}{\rho_l A} \ln \left(1 + \frac{v_l \rho_l A}{2m} t \right) \quad (8.6)$$

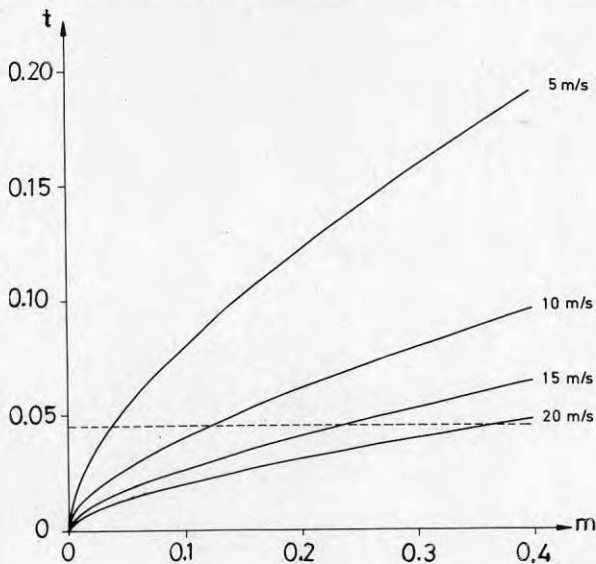
Vid klotformig vattendroppe fås

$$x = v_l t - \frac{4\rho_v \Phi}{3\rho_l} \ln \left(1 + \frac{3v_l \rho_l}{4\rho_v \Phi} t \right) \quad (8.7)$$

Sambandet mellan transportsträcka och tid vid horisontella fogsidor illustreras i fig. 8.5 för droppar med 0.5 mm diameter.



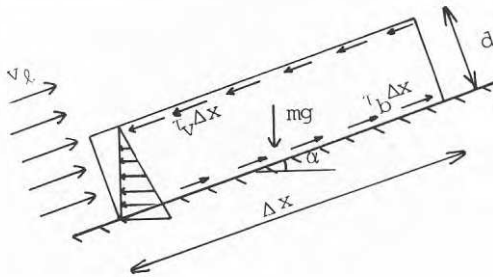
Figur 8.4 Samband mellan tid och förflyttning i horisontell led för vattendroppe med 0,5 mm diameter som transporteras av luftströmning i en horisontell fog med 45° lutande fogsidor. Den streckade linjen i figuren anger tid då vattendroppen träffar undre fogsidan i en 10 mm fog.



Figur 8.5 Samband mellan tid och förflyttning i horisontell led för vattendroppe med 0,5 mm diameter som transporteras av luftströmning i en horisontell fog med horisontella fogsidor. Den streckade linjen i figuren anger tid då vattendroppen träffar undre fogsidan i en 10 mm fog.

8.3 Beräkning av vattenfilmslängd

De vattendroppar som transporteras in i fogen kan bilda en sammanhängande vattenfilm på undre fogsidan. Antages att vattenflödet är sådant att ett jämviktsläge, fig. 8.6, bildas erhålles följande samband för vattenfilmen om vattendroppens rörelseenergi vid nedslagningstillfället försummas:



Figur 8.6 Beräkningsmodell för vattenfilmslängd.

$$\frac{1}{2}\rho_l v_l^2 d - \frac{1}{2}\rho_v g d^2 \cos\alpha + (\tau_v - \tau_b)\Delta x - \rho_v d \Delta x g \sin\alpha = 0 \quad (8.8)$$

varur

$$\Delta x = \frac{\rho_l v_l^2 d - \rho_v g d \cos\alpha}{2\rho_v g \sin\alpha - \frac{1}{d}(\tau_v - \tau_b)} \quad (8.9)$$

där

Δx = vattenfilmens längd

d = vattenfilmens tjocklek

τ_v = vindinducerad skjuvspänning

$\tau_v = 3 \cdot 10^{-3} v_l^2$

τ_b = skjuvspänning mot undre fogsida

$\tau_b \cong \tau_v$ alt $\tau_b \cong 1 \text{ Pa}$

Användes alternativet $\tau_b = \tau_v$, Lyngfelt (1982), fås i en fog med lutningen $\alpha = 45^\circ$ samhörande värden enligt tab. 8.1.

Tabell 8.1 Längd av vattenfilm av olika tjocklek (m) vid fog med lutning, $\alpha = 45^\circ$.

v_ℓ [m/s] \backslash d[m]	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
5	0,0021	0,0019	0,0017
20	0,0349	0,0349	0,0347

Vid en fog med horisontell sida fås

$$\Delta x = \frac{\rho_\ell v_\ell^2 d}{\tau_b - \tau_v} \quad (8.10)$$

Med $\tau_b = 1$ Pa resp, 0,5 Pa och $\tau_v = 3 \cdot 10^{-3} v_\ell^2$ fås längd av vattenfilm enligt tab. 8.2 ($\tau_b = \rho_v v_v^2 \frac{3}{Re}$ vid laminär strömning.)

Tabell 8.2 Längd av vattenfilm (m) av olika tjocklek vid horisontell fogsida.

τ_b Pa \backslash v_ℓ [m/s]	d[m]	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
1	5	0,007	0,016	0,031
	10	0,034	0,086	0,171
	18.25*	∞	∞	∞
0.5	5	0,013	0,031	0,063
	10	0,120	0,300	0,600
	12.9*	∞	∞	∞

* gränshastighet

Tab. 8.2 visar att fogar med horisontella sidor måste undvikas, vilket ger överensstämmelse mellan teori och praktisk erfarenhet.

8.4 Beräkning av kapillär transportsträcka

Om tryckförhållandena och vattentillförseln är sådana att en vattenfilm erhålles i fogen kan vatten transporterats ytterligare in i väggkonstruktion genom kapillärer. Den mängd vatten som överföres genom kapillärsugning kan beräknas enligt metod beskriven av Nevander och Elmarsson, (1981). En bedömning av förekomst av kapillärer i väggkonstruktioner är mycket vansklig, varför en beräkning av vattenmängder ej redovisas här. Den riktiga tekniska lösningen är att fogen förseglas, så att spalter och kapillärer ej erhålles.

8.5 Luftströmningens gränshastighet för vattengenomträngning.

I avsnitt 8.2 - 8.4 redovisades de transportsträckor som är möjliga vid olika lufthastigheter genom fogen. Jämföres vattentransporten genom fogar med ytströmning på vägar kan luftströmningens gränshastighet för vattengenomträngning bestämmas. Enligt Lyngfelt (1982) kan ytflöden på asfalt- och betongvägar bestämmas enligt uttrycket

$$Q = d^{3/2} \sqrt{\frac{8g \tan\alpha}{\mu + 2,4 \cdot 10^{-4} \left(\frac{v_l}{v}\right)^2}} \quad (8.11)$$

där

d = ytfilmens tjocklek [m]

$\tan\alpha$ = lutning

$$\mu = \frac{24}{Re} = \frac{24v}{Q} = \frac{24v}{vd}$$

v = kinematisk viskositet [m^2/s]

eller

$$Q = \frac{d^2}{24v} (dg \tan\alpha - 2,4 \cdot 10^{-4} v_l^2) \quad (8.12)$$

Ekvation (8.12) anger att ytflöden erhålles om $d \tan \alpha > 2,4 \cdot 10^{-4} v_{\ell}^2$. I tab. 8.3 redovisas gränshastigheter vid olika lutning och vattenfilmtjocklek.

Tabell 8.3 Gränshastighet m/s för luftströmning genom fog vid olika vattenfilmtjocklekar.

d[m] tan α	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
0	0	0	0
1 (45°)	2,9	4,5	6,4

Beräkningen visar att fogar med horisontella sidor måste undvikas (jfr. även tab. 8.2) samt att luftströmning genom fogar måste förhindras. Vid små filmtjocklekar kan även kapillära krafter påverka vattentransporten.

Enligt Beijer & Johansson (1976) har en normal ytvattenfilm tjockleken $d \approx 0,5$ mm, vilket ger en gränshastighet av 4,5 m/s vid en öppen fog med lutande sidor. Detta värde överensstämmer med resultat från den experimentella undersökningen, avsnitt 7.7. Isaksen (1972) har utfört omfattande laboratorieprovningar av fogar. Ekvation (8.9) visar att de vattenfilmlängder som kan erhållas är större än de elementtjocklekar som använts vid dessa provningar.

9. REPARATIONSÅTGÄRDER VID FOGSKADOR

9.1 Åtgärder vid enstegsfogar

I tidigare avsnitt redovisas svårigheten att bibehålla tätheten hos enstegsfogar. Vid tätning med fogmassa erhålles förr eller senare otätheter i fogen som möjliggör för vatten att tränga in utan att kunna dräneras ut. Motsvarande svagheter erhålles vid fogar tätade med gummiprofiler orsakade av brister i anläggningen mellan tätningslist och elementytor. Det synes vara möjligt att en omsorgsfullt tätad vertikal fog kan fungera under begränsad tid. Reparation av en fogtätning innebär dock ett omfattande arbete med borttagning av gammal fogmassa och rengöring av betongelementens fogsidor. Tyvärr utföres ofta reparationsarbetet genom påläggning av ett tunt fogmasseskikt på befintlig tätning. Ett sådant tillvägagångssätt är direkt förkastligt. Horisontalfogar tätade enligt enstegsprincipen är mycket svåra att få beständigt täta. Är fogarna dessutom utförda med horisontella sidor visar laboratorieförsöken att en sådan fog ej kan göras funktionsduglig under tillräckligt lång tid. Förslag till besiktningsprocedur ges i fig. 9.1. Reparation av enstegsfogar bör utföras enligt följande principer:

- a) Utforma den nya fogtätningen så att en tvåstegsfog bildas.
- b) Är befintlig elementutformning sådan att en fungerande tvåstegsfog ej kan utformas bör fogarna (eller hela byggnaden) täckas med plåtar som fungerar som vattenavvisare. Lufttätningen placeras i själva fogen mellan betongelementens ytter-skivor.

- c) Risk för vatteninträngning i fogar och anslutningar mellan fönsteröppningar och element måste beaktas, t ex erforderliga plåtbleck (vattenavvisare) över fönster insättas.
- d) Värmeisolering i fog kontrolleras.
- e) Invändiga anslutningar kontrolleras, tätas och justeras.

Anm Horisontalfogar med horisontella sidor är praktiskt taget omöjliga att få funktionsdugliga.

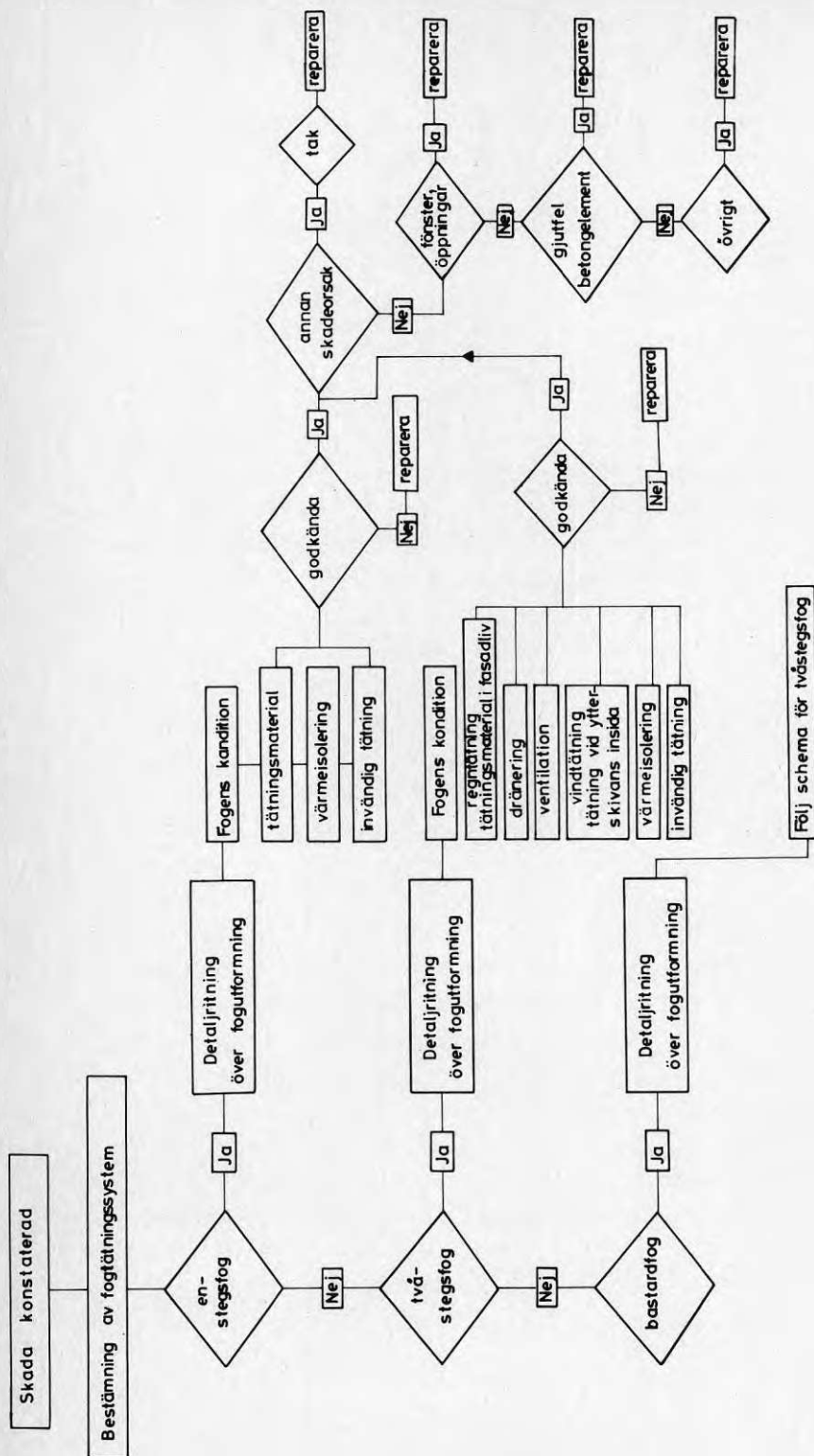
9.2. Åtgärder vid tvåstegsfogar

Av ovanstående framgår att fogar i ytterväggar bör tätas enligt tvåstegsprincipen. Skador har påvisats där skadeorsaken har varit för liten eller obefintlig ventilation och dränering bakom yttre tätning. Det är således icke någon fördel att omsorgsfullt täta den yttre delen i fogen. Avgörande för fogens tätande funktion är att luftströmning från väggens yttre till dess inre elimineras. Detta innebär att tätningen i steg 2, dvs lufttätningen, måste placeras på inre delen av ytterskivan så att luftströmning ej erhålles i springor eller spalter mellan isolerskivor. Förslag till besiktningssprocedur ges i fig. 9.1.

Reparation av tvåstegsfogar bör utföras enligt följande principer:

- a) Kontrollera och ev justera yttre tätningen (regnskärmen) så att ventilation och dränering av utrymmet bakom denna tätning erhålles.
- b) Den inre lufttätningen placeras vid den yttre skivans inre del, vilken tätning måste utföras omsorgsfullt.

- c) Dränering och vattenavledning över fasad-
öppningar kontrolleras och justeras.
- d) Värmeisolering i fog kontrolleras.
- e) Invändiga anslutningar kontrolleras, tätas och
justeras.



Figur 9.1 Förslag till besiktningsprocedur.

10. REKOMMENDATIONER FÖR FOGUTFORMNING

Följande rekommendationer för utformning av fogar i ytterväggar kan göras:

- a. Utformning av tätningen bör utföras enligt tvåstegsprincipen, dvs en yttre tätning som regn- och vattenavvisare och en i väggens inre del (jfr C) utförd lufttätning.
- b. Utrymmet bakom regntätningen måste vara ventilerat och dränerat. Luftspalten i vertikala fogar bör vara minst 5 x 20 mm och fogsidorna försedda med vertikala eller utåt lutande spår för att förhindra att vatten tränger förbi luftspalten och vidare in i fogen. Vattenavledningen måste ske utåt.
- c. Lufttätningen måste placeras vid inre delen av yttre väggskivan i en "sandwich"-konstruktion för att förhindra oavsiktlig luftströmning i spalter och springor mellan isolerskivor. Luftläckage, speciellt koncentrerat luftläckage, nedsätter fogars regntätande funktion. Tätningen bör placeras så att den ej kan vätas av inträngande vatten.
- d. Horisontalfogar mellan fasadelement utföres med lutande sidor $\geq 30^\circ$. Tröskelhöjden kan dimensioneras enligt ekvationer angivna i avsnitt 8. Ofta är 70 mm (minimimått) effektiv tröskelhöjd tillräcklig. En kombination av en lutande del ($\alpha=45^\circ$) och en vertikal del ($\alpha=90^\circ$) är lämplig.
- e. Horisontalfogar måste vara ≥ 6 mm för att förhindra läckage på grund av att fogöppningen helt täcks med vatten.
- f. Fogen utföres med erforderlig värmeisolering innanför lufttätning.

- g. Fogar i inre väggliv utföres så att byggnadens täthet ur energisynpunkt blir tillräcklig.
- h. Över samtliga öppningar i fasadväggen utföres vattenavvisning med t ex plåtar.
- i. De i avsnitt 2.1 angivna övriga funktionskrav tillfredsställes i erforderlig omfattning.

REFERENSER

- ADAMSON, B, 1970, Val av klimatdata vid beräkning av högsta rumstemperatur, (Statens institut för byggnadsforskning), Rapport R49:1970, Stockholm.
- AGRI, O & HOLMLUND, V, 1973, Fogar i yttervägg (Statens institut för byggnadsforskning), Informationsblad B12:1973, Stockholm.
- BARTELS, W, 1981, Fugenabdichtungen im Bau, Kunststoffe im Bau 3, p 118-122.
- BEARD, K V & PRUPPACHER, H R, 1969, A determination of the terminal velocity and drag of small water drops by means of a wind tunnel, Journal of atmospheric science 26, p 1066.
- BEIJER, O & JOHANSSON, A, 1976, Slagregn mot betongfasader, (Cement- och betonginstitutet), Rapport 7:1976, Stockholm.
- BEIJER, O, 1976, Temperatur- och fuktrörelser i fasadskivor av betong, (Cement- och betonginstitutet) Rapport 8:1976, Stockholm.
- BEIJER, O, 1980, Fuktproblem vid ytterväggar av betongelement, (Statens råd för byggnadsforskning), Rapport R31:1980, Stockholm.
- BERGELD, H, 1981, Fogar och fogskador, (Chalmers Tekniska Högskola, Avdelningen för byggnads-konstruktion), 1981:8, Göteborg.
- BERRY, E X & PRANGER, M R, 1974, Equations for calculating the terminal velocities of water drops, Journal of atmospheric science 31, p 108.

- BIELEK, M, 1975, Joints and water movement on walls,
(Norges byggforskningsinstitutt), Rapport 60 , Oslo.
- BISHOP, D, WEBSTER, C J D & HERBERT, M R M, 1968,
The performance of drained joints, (weathertight
joints for walls, Norges byggforskningsinstitutt),
Rapport 51C, Contribution 64C, Oslo.
- BOLTEUS, L, 1982, Samverkan byggnad-undergrund
(Statens råd för byggnadsforskning), Projekt 770181-0.
- BRACKLEY, G, 1981, The variability of the measurement
of watertightness for the main European types of
pressure box, (6th meeting of CIB working commission
W61 in Berlin), Contribution 9, SBI Hörsholm,
Denmark.
- BRANDT, A & KJAER, A, 1977, Fugemasser og facadefuger,
(Statens byggeforskningsinstitut), Anvisning 108,
Hörsholm, Danmark.
- BRANZ, 1979, The natural weathering of sealants in
cyclic movement testers (Building Research Asso-
ciation of New Zealand), Technical paper P26,
Porirua, New Zealand.
- BROWN, G & ISFÄLT, E, 1974, Solstrålning och sol-
avskärmning, (Statens institut för byggnads-
forskning), Rapport R19:1974, Stockholm.
- CEN EN 86, 1980, Methods of testing windows.
Watertightness test under static pressure.
- CZIESIELSKI, E, 1978, Belüftete Fugen, Betonwerk
& Fertigteile-Technik 8, p 441-447.

- CZIESIELSKI, E & MAERKER, B, 1981, A method for the generation of driving rain for the testing of structural members, (6th meeting of CIB working commission W61 in Berlin), Contribution 3, SBI Hörsholm, Denmark.
- DIERGARTEN, B, 1973, Und sie bewegen sich doch oder nicht? Messungen von Fugenbreitenänderungen, (Thiokol Gesellschaft mbh), Mannheim-Waldhof.
- DUBINSKI, M K, 1977, Provning av vatteninträngning i fasadfogar. Studier på fältstation, (Chalmers Tekniska Högskola, Avdelningen för byggnads-konstruktion), 1977:8, Göteborg.
- EATON, L R & HOFFER, T E, 1969, Experiments on droplets in free fall I. Terminal velocity and wall effects, Journal of applied meteorology 9:2, p 269.
- GUNN, R & KINZER, G D, 1949, The terminal velocity of fall for water drops in stagnant air, Journal of meteorology 6, p 243.
- GRUNAU, E B, 1967, Fassade und Wasser haushalt der Wand, (Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln-Braunsfeld).
- GRUNAU, E B, 1968, Fugen im Hochbau, (Verlagsgesellschaft Rudolf Müller), Köln-Braunsfeld.
- GRUNAU, E B, 1976, Lebenserwartung von Dichtstoffen im Hochbau, Das Baugewerbe 5, p 31-40.
- HENDRY, I W L, , Rainfall on high buildings, (Building research station, Scottish laboratory), Internal note.

HERBERT, M R M, 1972. Summary of answers to questionnaire on weather tightness testing and test methods sent to CIB W61 members, (1st meeting with CIB working W61 commission in Budapest, Contribution 2, CTH Göteborg.

HERBERT, M R M, 1974, Open-jointed rain screen claddings, (Building research establishment), Current paper CP 89/74, Watford.

HOLMGREN, O, 1972, Snow loads, driving rain and building design (Colloquium Teaching the teachers on building climatology, Statens institut för byggnadsforskning), Contribution 35, Stockholm.

HOPPESTAD, S, 1955, Slagregn i Norge, (Norges byggforskningsinstitut), Rapport 13, Oslo.

HSB, 1972, Prov i HSB's slagregnmaskin, (HSB), Rapport 1979:5, Stockholm.

HUS AMA 72, 1979, Allmän material- och arbetsbeskrivning för husbyggnadsarbeten, (AB Svensk Byggtjänst), Stockholm.

HÖGLUND, I & STEPHENSON, D G, 1968, Tabeller för beräkning av solinstrålning mot byggnader, (Statens institut för byggnadsforskning), Rapport R49:1968, Stockholm.

HÖGLUND, I, 1973, Metod för beräkning av extrema yttemperaturer hos isolerade ytterkonstruktioner, (Statens institut för byggnadsforskning), Rapport R6:1973, Stockholm.

ISAKSEN, T, 1969, Ytterveggskader (Byggskader, Norges byggforskningsinstitut), Rapport 65, p 17-25, Oslo.

- ISAKSEN, T, 1972, Driving rain and joints, (Norges byggforskningsinstitutt), Rapport 61, Oslo.
- ISAKSEN, T, 1975, Driving rain in Bergen, (3rd meeting with CIB working commission W61 in Hörsholm), Contribution 2, SBI Hörsholm, Denmark.
- ISO 3447, 1975, Joints in building - General check-list of joint functions.
- JERGLING, A, 1981, Luftläckage genom sprickor i betongelement, (Chalmers Tekniska Högskola, Avdelningen för byggnadskonstruktion), 1981:7, Göteborg.
- J & W, 1968, Fukt i fasader, (Jacobson & Widmark AB), Projekteringsdag 68/2, Stockholm.
- JÄRNMARK, T, 1968, Slagregn 1-2, (Statens institut för byggnadsforskning), Informationsblad 39-40:1968, Stockholm.
- KARPATI, K K & SEREDA, P J, 1976a, Joint movement in precast concrete panel cladding, Journal of Testing and Evaluation 2, p 151-156.
- KARPATI, K K & SEREDA, P J, 1976b, Measuring the behaviour of expansion joints, Building Research and Practice Nov/Dec, p 346-355.
- KBS, 1971, Ytterväggar, (Kungliga Byggnadsstyrelsen), Rapport 58, Stockholm.
- LACY, R E, 1965, Driving rain maps and the onslaught of rain on buildings (CIB symposium in Helsinki) p 15-29, Helsingfors.

LARSEN, H, 1975, Recent Danish facade joint design, (Danmarks Tekniske Högskola, Institutet för husbygning), Rapport 110, Lyngby, Denmark.

LYBERG, M D, 1979, Review of micro- and building-physical properties of driving rain, (Statens institut för byggnadsforskning), Meddelande M79:13E, Gävle.

LYNGFELT, S, 1982, Urban runoff modelling, (Chalmers Tekniske Högskola, Institutionen för vattenbyggnad), Göteborg.

NBI, 1968, Weathertight joints for walls, (Norges byggforskningsinstitut), Rapport 51C, Oslo

NBI, 1972, Slagregngjennomgang i elementfuger tett med TB-fog, (Norges byggforskningsinstitut), Uppdrag 0-2763, Trondheim.

NBI, 1977, Fuger. Typer, funksjoner og problemer, (Norges Byggforskningsinstitut), Byggdetaljblad A 523.601, Oslo.

NEVANDER, L E & ELMARSSON, B, 1981, Fukthandboken, (AB Svensk Byggtjänst), Stockholm.

NORDTEST NT Build 116, 1980, Windows, window-doors, external doors, facades. Pulsating air pressure test.

NYLUND, P O, 1975, Temperaturrelater hos fasadskivor, (Statens råd för byggnadsforskning), Rapport R60:1975, Stockholm.

- ROBINSON, G & BAKER, M C, 1975, Wind-driven rain and buildings, (National Research Council Canada, Division of Building Research), Technical Paper 445, Ottawa.
- RONGE, H, 1961, Bostadsklimatet i murverkshus och betonghus, (Statens institut för byggnadsforskning), Handling nr 38, Stockholm.
- RYDER, J F & BAKER, T A, 1971, The extent and rate of joint movements in modern buildings, (Building Research Station), Current Paper 2/71, Watford.
- SANDBERG, P I, 1970, Icke stationär fukttransport beräkningar med dator, (Tekniska Högskolan i Lund, Institutionen för byggnadsteknik), Rapport 16, Lund.
- SANDBERG, P I, 1973, Byggnadsdelars fuktbalans i naturligt klimat, (Tekniska Högskolan i Lund, Institutionen för byggnadsteknik), Rapport 43, Lund.
- SANDIN, K, 1980, Putsens inverkan på fasadens fuktbalans, (Tekniska Högskolan i Lund, Avdelningen för byggnadsmateriallära), Rapport TVBM-1005, Delrapport VII, Lund.
- SIS 81 21 01, 1971, Sandwichelement av betong. Mått, (Sveriges Standardiseringskommission), Stockholm.
- SVENSK BYGGNORM, 1980, (Statens planverk), Författningssamling PFS 1980:1, Stockholm.
- TAESLER, R, 1972, Klimatdata för Sverige, (Statens institut för byggnadsforskning), Stockholm.

VARNBO, B, 1966, Slagregn, (Svenska Riksbyggen),
Handling 14, Stockholm.

VOS, B H, 1967, Condensation in structures,
(IBBC-TNO), Rapport BI-67-33, Delft.

VOS, B H & TAMMES, E, 1977, Rain penetration through
the outer walls of cavity-structures, (RILEM/ASTM/CIB
symposium on evaluation of the performance of
external vertical surfaces of buildings, Technical
Research Centre of Finland) Vol. 1, p 304-314,
Otaniemi Espoo Finland.

VVS-handboken, 1963, Tabeller och diagram, (VVS-förlag),
Stockholm.

LITTERATUR

- ADAMSON, B, AHLGREN, L, BERGSTRÖM, S G & NEVANDER, L E,
1970, Fukt, (Statens råd för byggnadsforskning),
Programskrift 12, Stockholm.
- AGRI, O & NORRBELIUS, A, 1973, Projektering med
toleranser (Statens institut för byggnadsforskning),
Informationsblad B7:1973, Stockholm.
- AHLGREN, L, BERGSTRÖM, S G, FAGERLUND, G & NILSSON, L O,
1976, Fukt i betong, (Cement- och betonginstitutet),
Kursverksamheten, Stockholm.
- ARNELL, V, 1974, Intensitets-varaktighetskurvor för
häftiga regn i Göteborg under 45-års perioden
1926-1971, (Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen
för vattenbyggnad), Meddelande 74, Göteborg.
- BEECH, J C, 1979, The performance concept in relation
to jointing products, (Building Research Establish-
ment, Princes Risborough Laboratory), PD 88/79
(PR 30/070), Princes Risborough, Aylesbury.
- BEIJER, O & JOHANSSON, A, 1976, Vattenabsorption
hos fasadytor av betong, (Cement- och betong-
institutet), Rapport 6:1976, Stockholm.
- BFR, 1969, Elementbyggnad - problem och forsknings-
behov, (Statens råd för byggnadsforskning),
Programskrift 10, Stockholm.
- BFR, 1975, Monteringsbyggda flerfamiljshus, (Statens
råd för byggnadsforskning), Programskrift 20,
T18:1975, Stockholm.
- BIELEK, M, 1977, Dimenzovanie vertikálnych stykor
montovaných obvodových stein, Stavebnický Cas 7,
p 559-571.

BSA, 1978, Klimatologi for byggeri og planlægning,
(Bygningsteknisk studiearkiv), Köpenhamn.

BSI BS 4315, 1968, Methods of test for resistance to
air and water penetration. Part 1. Windows and
gasket glazing systems.

BURSTRÖM, P G, 1976, Beständighet och åldring hos
fogmassor, (Tekniska Högskolan i Lund, Institutionen
för byggnadsteknik), Rapport TVBM-3001, Lund.

BURSTRÖM, P G, 1979, Ageing and deformation properties
of building joint sealants, (Tekniska Högskolan
i Lund, Avdelningen för byggnadsmateriallära),
Rapport TVBM-1002, Lund.

CTH, 1969, Utställningen elementbyggda flerfamiljshus,
(Chalmers Tekniska Högskola, Sektionen för
arkitektur), Göteborg.

CIB, 1972, Report from the first meeting with CIB
Working Commission W61 in Budapest, Göteborg.

CIB, 1974, Report from the second meeting with CIB
Working Commission W61 in Stockholm, Göteborg.

CIB, 1975, Report from the third meeting with CIB
Working Commission W61 in Hörsholm, Danmark,
Hörsholm, Denmark.

CIB, 1977, Report from the fourth meeting of CIB
Working Commission W61 in Princes Risborough,
England, Hörsholm, Denmark.

CIB, 1979, Report from the fifth meeting of CIB
Working Commission W61 in Trondheim, Hörsholm,
Denmark.

- CIB, 1981, Report from the sixth meeting of CIB Working Commission W61 in Berlin, Hörsholm, Denmark.
- CSIRO, 1972, Wind-driven rain and the multi-storey building, (Division of Building Research, CSIRO), Symposium, Melbourne.
- CSTC, 1979, Joints d'étanchéité en mastic entre éléments de façade, 1979, (Centre Scientifique et technique de la construction), Note d'information technique 124, Brüssel.
- DALAKER, M, 1964, Tettelister, (Norges byggforskningsinstitutt), Rapport 40, Oslo.
- DIN 18055, 1980, Fenster. Fugendurchlässigkeit, Schlagregensicherheit und mechanische Beanspruchung. Anforderungen und Prüfung.
- FORS, B, 1978, Fogmassor för tätning och fyllning, (AB Svensk Byggtjänst), Rapport 4, Stockholm.
- GARDEN, G K, 1963, Rain penetration and its control (National Research Council Canada, Division of Building Research), Canadian Building Digest 40, Ottawa.
- GARDEN, G K, 1968, Look at joint performance, (National Research Council Canada, Division of Building Research), Canadian Building Digest 97, Ottawa.
- GARDEN, G K, 1971, Rain and air leakage at joints, Industrialization forum 4, p 7-12.
- GJELSVIK, T, 1982, Tätningslister, (AB Svensk Byggtjänst), Rapport 11, Stockholm.

- GUSTAFERRO, A H & ABRAMS, M S, 1975, Fire tests of joints between precast concrete wall panels, PCI Journal Sept/Oct, p 44-64.
- HARRISON, H W & BONSHOR, R B, 1970, Weatherproofing of joints: a systematic approach to design, (Building research station) current paper 29/70, Watford.
- HARRISON, H W & BONSHOR, R B, 1977, Designing for fit using the BRE graphical aids, (Building Research Establishment), Current Paper 29/77, Watford.
- HARRYSSON, C, 1971, Deformationsmätningar i monteringsbyggd flerfamiljshus, (Chalmers Tekniska Högskola, Avdelningen för byggnadskonstruktion), 1971:33, Göteborg.
- HASSELBLAD, V & ANDERSSON, K A, 1972, Fogar i betongelementfasader, (Statens institut för byggnadsforskning), Rapport R42:1972, Stockholm.
- HJERTÉN, I, 1969, Elementa, (AB Göteborgsbostäder), Göteborgsbostäders skriftserie 12, Göteborg.
- ISO 2445, 1972, Joints in building - Fundamental principles for design.
- JERGLING, A, 1977, Funktionsprovning av tätningslist, (Chalmers Tekniska Högskola, Avdelningen för byggnadskonstruktion), 1977:6, Göteborg.
- JERGLING, A, 1979, Luftläckning genom fasadfogar med tätningslistor, (Statens råd för byggnadsforskning), Rapport R132:1979, Stockholm.
- JERGLING, A & SCHECHINGER, B, 1981, Fogar i ytterväggar vid betongelementfasader, Byggnadskonst. 8-9, p 43-48.

- J & W, 1968, Måttavvikelser hos betongelement,
(Jacobson & Widmark AB och AB Skånska Cement-
gjuteriet), Stockholm.
- KLINGBERG, L, 1971, Måttnoggrannhetsstudier på
elementhus med flexibel fogutformning, (Statens
institut för byggnadsforskning), Rapport R28:1971,
Stockholm.
- KÄRRHOLM, G & KLINGBERG, L, 1973, Fogbredder i
betongelementfasader, (Chalmers Tekniska Högskola,
Avdelningen för byggnadskonstruktion), 1973:27,
Göteborg.
- LENCZNER, D, 1973, Movements in buildings, (Pergamon
Press), Oxford.
- LEWICKI, B, 1966, Building with large prefabricates,
(Elsevier Publishing Company), Amsterdam.
- LUNDIN, R, 1970, Fogtätningssystem för ytterväggar,
Byggmästaren 12, p 26-32.
- MEIKLE, T A V, 1978, Treatment of joints in precast
cladding, Concrete 12, p 21-24.
- MONKS, W L, 1967, Tolerances in external joints
between precast concrete panels on buildings,
(Cement and Concrete Association), Technical
Report TRA 405, London.
- NBA, 1967, Drained joints in precast concrete
cladding, (The National Building Agency), London.
- NBI, 1973, Fuger og fugetetning, 1973, (Norges
byggforskningsinstitutt), Anvisning 9, Oslo.
- NBI, 1977, Yttervegg, Fuger i vegger av massive
elementer, (Norges byggforskningsinstitutt),
Byggdetaljblad A 523.521, Oslo.

- NYLUND, P O, 1967, Rörelser hos fasadelement av betong, (Kungliga tekniska högskolan, institutionen för byggnadsteknik), Stockholm.
- PCI, 1973, Architectural precast concrete joint details, (PCI committee on architectural precast concrete joint details), PCI Journal Mar/Apr, p 10-37.
- PREBENSEN, K, 1980, Slagregn på facader, Byggeindustrien 1, p 12-17.
- RILEM/ASTM/CIB, 1977, Symposium on evaluation of the performance of external vertical surfaces of buildings, (Technical Research Centre of Finland), vol. 1-3, Otaniemi Espoo, Finland.
- RILEM/CEB/CIB, 1978, Symposium on mechanical & insulating properties of joints of precast reinforced concrete elements, (Ministry for Culture and Sciences, National Technical University of Athens), vol. 1-3, Athens.
- RINGMAR, C-I, , Fogar och förbindningar mellan stomkomponenter i låga bostadshus, (Statens råd för byggnadsforskning), projekt 760675-7 , pågående undersökning.
- SCHWARZ, B & FRANK, W, 1973, Schlagregen, Messmethoden, Beanspruchung, Auswirkung, (Verlag Wilhelm Ernst & Sohn), Berichte aus der Bauforschung 86:1973, Berlin.
- SIB, 1967, Inventering av stomsystem för elementbyggda flerfamiljshus, (Statens institut för byggnadsforskning), Rapport R42:1967, Stockholm.
- SIB, 1969, Element building systems in apartment blocks, (Statens institut för byggnadsforskning), Dokument 1:1969, Stockholm.

SIB, 1972, Teaching the teachers on building climatology, (Statens institut för byggnadsforskning), vol. 1-2, Stockholm.

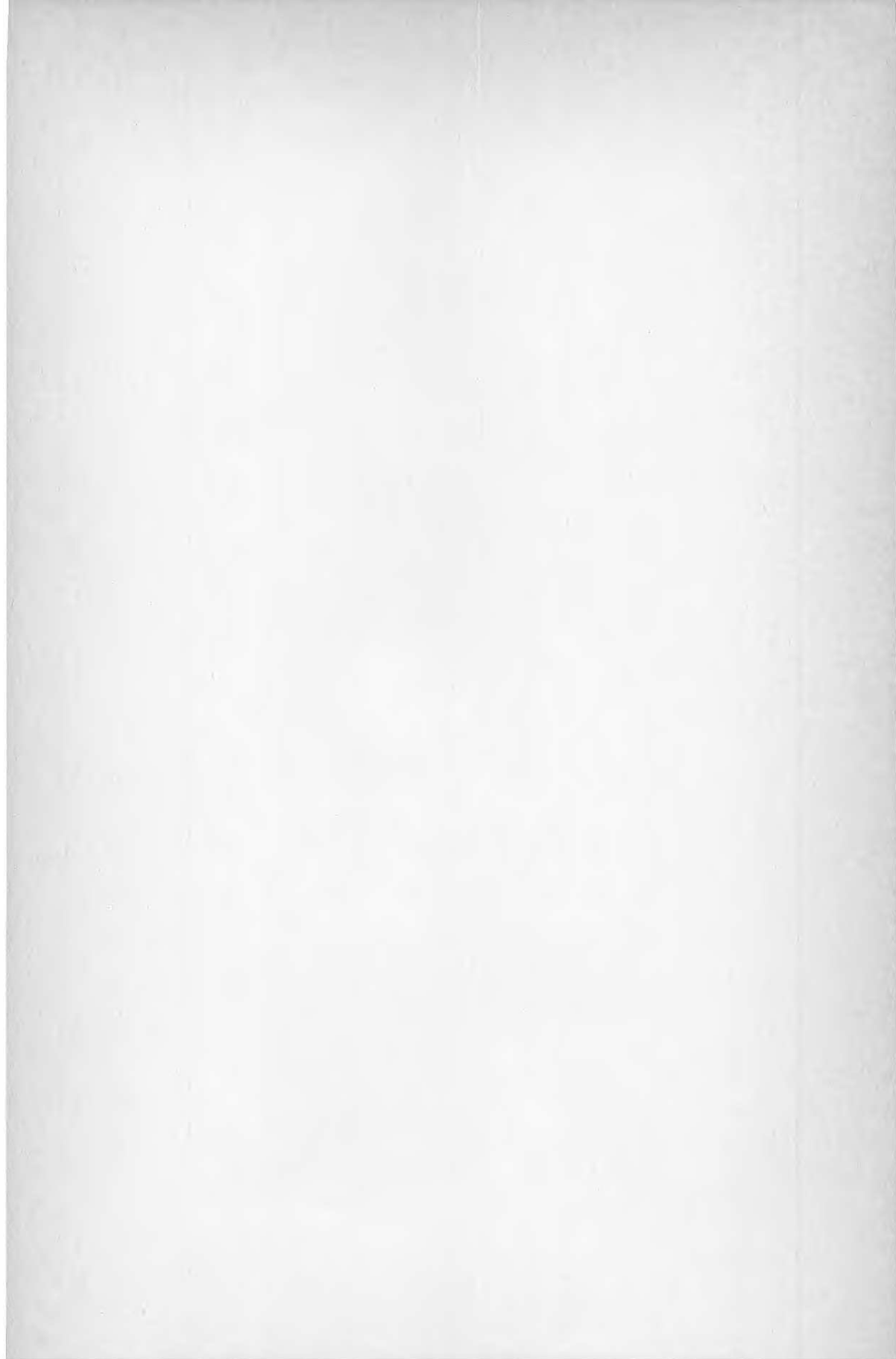
SVENSKA RIKSBYGGGEN, 1968, Fogutformning hos EV-fasadelement, (Svenska Riksbyggen, Utvecklingskontoret), Meddelande 1:68, Stockholm.

TISCHER, , 1975, Konstruktive Ausbildung und Dichtung von Fugen zwischen Aussenwandfertigteilen, Betonwerk & Fertigteil-Technik 10, p 8-10.

VAN DEN BERG, J, 1969, Utsättnings- och kontrollmätningmetoder vid byggnadsproduktion, (Statens institut för byggnadsforskning), Rapport R42:1969.

WICKERTS, S, 1982, Drop-size distribution in rain, (Försvarets forskningsanstalt), FOA rapport C 20438-E1 (E2), Stockholm.





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
790200-0 från Statens råd för byggnadsforskning
till Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.**

Art.nr: 6700789

**Abonnemangsgrupp:
Z. Konstruktioner och material**

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

Cirkapris: 45 kr exkl moms

R89: 1983

ISBN 91-540-3992-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm