



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

R43 :1991

**Skalmurskonstruktionens fukt-
och temperaturbetingelser**

Kenneth Sandin

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400135550

Byggforskningsrådet

R43:1991

SKALMURSKONSTRUKTIONENS FUKT- OCH
TEMPERATURBETINGELSER

Kenneth Sandin

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 870652-5
från Statens råd för byggnadsforskning till Lunds tek-
niska högskola, Byggnadsfysik, Lund.

REFERAT

I rapporten beskrivs byggnadsfysikaliska mätningar i ett provhus med olika skalmurskonstruktioner. Mätningarna har pågått under en 3-årsperiod och främst varit inriktade på fukt- och temperaturbetingelser i murverket, luftspalten, isoleringen och träreglarna.

Mätningarna visar entydigt att själva skalmurens fukt- och temperaturtillstånd är i stort sett oberoende av den bakomliggande konstruktionen. Luftspalt och isolertjocklek har ingen praktisk betydelse. Skalmuren måste betraktas som en kallmur och skall dimensioneras därefter, det vill säga med helt frostbeständiga material.

Den bakomliggande konstruktionens fukt- och temperaturtillstånd påverkas i hög grad av den byggnadstekniska utformningen. En invändig ångspärr medför exempelvis att fuktillståndet under sommaren kan bli mycket högt. I vissa fall sker även kondens på ångspärrens utsida, sommarkondens. Skillnaden mellan en smal luftspalt och ingen luftspalt alls är obetydlig. En bred och välventilerad luftspalt minskar fuktbelastningen under sommaren.

Den bakomliggande konstruktionens fuktillstånd kan även sänkas genom lämpliga ytbehandlingar på utsidan. En vattenavvisande impregnering på tegelytan medför ett mycket lågt fuktillstånd i bakväggen.

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

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R43:1991

ISBN 91-540-5360-9
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Gotab 94032, Stockholm 1991

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	FÖRORD	5
	SAMMANFATTNING	6
1	SKALMURSKONSTRUKTIONEN	8
1.1	Byggnadsteknisk princip	8
1.2	Problem och debatt	9
1.3	Oklarheter och frågeställningar	12
2	UNDERSÖKNINGARNAS UPPLÄGGNING OCH AVGRÄNSNINGAR	13
3	PROVHUS	15
3.1	Allmänt	15
3.2	Provväggar	18
4	MÄTNINGAR	22
4.1	Utomhusklimat	22
4.2	Slagregn	24
4.3	Temperatur i tegelmuren	25
4.4	Fukt i tegelmuren	25
4.5	Fukt och temperatur i luftspalt och isolering	26
4.6	Ventilation i luftspalten	27
4.7	Fukt i reglar	27
5	RESULTAT	29
5.1	Utomhusklimat	29
5.2	Slagregn	30
5.3	Temperatur i tegelmuren	31
5.4	Fukt i tegelmuren	41
5.5	Fukt och temperatur i luftspalt och isolering	45
5.5.1	Temperatur i luftspalten	45
5.5.2	Temperatur i isoleringen	52
5.5.3	Fukttillstånd i luftspalten	57
5.5.4	Fukttillstånd i isoleringen	68
5.6	Ventilation i luftspalten	78
5.7	Fukt i reglar	81

6	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	92
6.1	Frostskador i tegelmurverket	92
6.1.1	Allmänt	92
6.1.2	Klimatets inverkan	93
6.1.3	Luftspaltens inverkan	93
6.1.4	Regelväggens inverkan	94
6.1.5	Den utvändiga ytbehandlingens inverkan	94
6.1.6	Övrigt	95
6.1.7	Slutsatser	95
6.2	Fuktskador i regelväggen	95
6.2.1	Allmänt	95
6.2.2	Klimatets inverkan	96
6.2.3	Ångspärrens inverkan	97
6.2.4	Luftspaltens inverkan	98
6.2.5	Isoleringens inverkan	98
6.2.6	Vindskyddsskivans inverkan	99
6.2.7	Den utvändiga ytbehandlingens inverkan	99
6.2.8	Övrigt	99
6.2.9	Slutsatser	100
	LITTERATUR	101
	BILAGA	103

FÖRORD

Skalmurskonstruktionens fuktbalans har diskuterats under lång tid. Olika uppfattningar har ofta stått mot varandra.

Eftersom forskning bedrivs både inom fuktområdet och inom murverksområdet vid Lunds Tekniska Högskola var det naturligt att problemställningen togs upp till behandling.

Undersökningarna har till stor del genomförts i form av mätningar i ett provhus och i fält. Föreliggande rapport är en slutredovisning av första etappens mätningar i provhuset. Ytterligare mätningar kommer sannolikt att genomföras senare.

En fullständig redovisning av fältmätningarna finns i en annan rapport (Carlsson, 1989).

Undersökningarna har finansierats genom

- BFR:s ramanslag till Fuktgruppen vid LTH
- BFR-anslag 870652-5 till avd Byggnadsfysik, LTH
- BFR-anslag 870487-0 till avd Byggnadsfysik, LTH
- Bidrag från Sveriges Tegelindustri till uppförande av provhus
- Bidrag från Föreningen för Murat Byggande till avd Byggnadsmaterial, LTH

Lund i mars 1991

Kenneth Sandin

SAMMANFATTNING

Skalmurskonstruktionen anses på senare år ha drabbats av ett ökande antal fuktbetingade skador. Dessa skador visar sig främst som frostsprängning i murverket och mögelbildning i den bakomliggande konstruktionen. I debatten om orsakerna till skadorna har stort utrymme ägnats åt luftspalt och isolertjocklek.

För att i detalj studera fuktbetingelserna, och hur dessa kan påverkas, har omfattande mätningar utförts i fält och i ett för ändamålet uppfört provhus. I provhuset har ett 20-tal olika kombinationer av klimatpåfrestningar och väggkonstruktioner studerats under en 3-årsperiod. Faktorer som varierats är bland annat regn- och solbelastning, luftspaltens bredd, luftspaltens ventilationsöppningar, vindskyddsskiva, isolertjocklek (enbart minerull har använts), ångspärr och utvändig ytbehandling.

De mätningar som utförts har främst avsett uteklimat, solstrålning mot fasaderna, slagregnsbelastning mot fasaderna, luftomsättning i luftspalten samt fukt- och temperaturtillstånd i tegelskal, luftspalt, isolering och regler.

När det gäller frostsador är det självklart förhållandena under den kalla årstiden som är intressanta. Mätningarna visar entydigt att fukt- och temperaturtillståndet i tegelmurverket i stort sett är oberoende av den bakomliggande konstruktionen. I södra och västra Sverige är den normala situationen att tegelmuren på någon fasad, främst mot söder eller väster, blir kapillärmättad någon gång under höst/vinter/vår. Sker frysning/tining vid denna tidpunkt utsätts fasaden för en hård frostpåfrestning. Detta sker sannolikt i de flesta fasader. Frågan är bara hur ofta. I vissa fasader sker det säkerligen många gånger per år. I andra fall sker det kanske en gång vart 50:e år. För att fasaden med säkerhet skall klara sig måste sålunda material som ingår i fasaden tåla frysning/tining i kapillärmättat tillstånd!

Den enda byggnadstekniska åtgärden som kan påverka förhållandena väsentligt är en utvändig ytbehandling. En vattenavvisande impregnering kan till exempel minska fuktinnehållet till mycket låga nivåer. Även en traditionell tjockputs sänker det maximala fuktillståndet. Detta får dock inte användas som argument för att använda fasadmaterial med sämre frostbeständighet. Det finns många exempel där en ytbehandling har medfört accelererande frostsador.

När det gäller lukt- och mögelproblem i regelväggen är det främst förhållandena under den varma årstiden som är avgörande. En grundläggande förutsättning för att inga problem skall uppstå är att direkt kapillärsugning undviks från tegelmuren och in till regelväggen. Detta löser man normalt med en luftspalt eller ett kapillärbrytande isolermaterial utanför regelstommen.

Även om väggen konstrueras på traditionellt sätt med en 20 mm luftspalt finns dock risk för mycket höga fuktillstånd i regelväggen. Under ogynnsamma betingelser kan kondensation ske på utsidan av ångspärren. En förutsättning för detta är att en fuktig skalmur utsätts för solbestrålning. För syd- och västfasader i södra och västra Sverige torde denna situation vara relativt vanlig.

Liksom för frostsador har här den utvändiga ytbehandlingen stor be-

tydelse. Lyckas man med en vattenavvisande impregnering hålla tegelskalet torrt finns överhuvudtaget inga förutsättningar för att fukt skall transporteras inåt i väggen. Bortsett från denna ytbehandling har den invändiga ångspärren en avgörande betydelse. Finns ingen ångspärr kan fukten fritt transporteras in i rummet, vilket resulterar i ett lägre fukttillstånd i regelväggen. Att lösa problemet med att avlägsna ångspärren är dock inte realistiskt, eftersom vissa invändiga ytor ofta är täta, till exempel badrumsväggar.

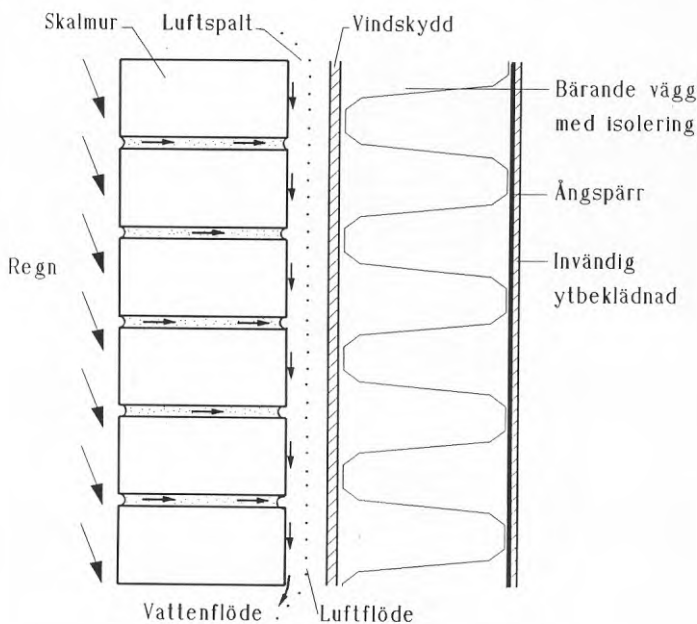
En annan åtgärd som har en gynnsam inverkan på fukttillståndet är en bred luftspalt (cirka 50 mm) med stora ventilationsöppningar (var 4:e sten utbytt mot galler). En 20 mm luftspalt med var 4:e stötfog öppen har obetydlig inverkan på fukttillståndet. Isolertjocklek och normala vindskyddsskivor saknar helt praktisk betydelse.

En åtgärd som kan ha betydelse är att använda cellplast som isolering. Även kulören på fasaden torde ha stor betydelse. En vit fasad torde vara väsentligt gynnsammare än en mörk. Dessa faktorer har inte studerats inom projektet, men skall studeras i vissa kompletterande undersökningar.

1 SKALMURSKONSTRUKTIONEN

1.1 Byggnadsteknisk princip

Skalmurskonstruktionen har fått mycket stor utbredning sedan den introducerades i början på 1950-talet. Grundtanken med väggtypen är att ha ett klimatskyddande murverk ytterst och en bärande och isolerande vägg innanför murverket. Det yttersta murverket är i allmänhet en 1/2-stens tegel- eller kalksandstenmur. I praktiken är det omöjligt att få denna mur tät mot vatteninträngning. Sprickor mellan sten och murbruk möjliggör direkt vattenflöde. För att förhindra att detta vatten tränger in i den bärande väggen har man därför en luftspalt mellan det yttre murverket och bakväggen. För att dränera ut det vatten som tränger in genom murverket öppnas var 4:e stötfog i nedersta skiftet. Ofta anses även att luftspalten kan ventileras bort eventuell fukt som finns i väggen. För att förhindra fuktflöde inifrån och ut i väggen förses insidan med en ångspärr. Det här beskrivna utförandet av skalmurskonstruktionen (traditionell skalmur) illustreras i FIG. 1:1.



Figur 1:1. Avsedd funktion hos traditionell skalmurskonstruktion. Regn träffar murverket och tränger in genom sprickor. På insidan av murverket rinner vattnet nedåt där det dräneras ut. Om luft strömmar genom luftspalten kan även en viss fuktmängd ventileras bort.

Detaljutförandet av skalmurskonstruktionen kan variera kraftigt. Skalmurens tjocklek varierar normalt mellan 1/4- och 1/2-sten. Luftspaltens nominella tjocklek ligger oftast i intervallet 20-50 mm. På senare tid har det även blivit vanligt att fylla luftspalten med isolering. Ventilationsöppningarna nedtill varierar från att var 4:e stötfog är öppen till att var 4:e sten är utbytt mot ventilationsgaller. Placeringen i höjddled varierar mellan 1:a och 3:e skiftet nerifrån.

För att det vatten som rinner på insidan inte skall komma in i bakväggen monteras vattenutledande anordningar (plåt, plast, papp etc) vid alla upplag och öppningar i fasaden.

Motsvarande konstruktion finns i de andra nordiska länderna. Där anser man dock inte att luftspalten skall ventileras bort någon fukt. Luftspaltens enda funktion anses där vara att dränera bort inträngande vatten.

1.2 Problem och debatt

Skalmurskonstruktionen har under den senaste 10-årsperioden ansetts drabbad av ett ökande antal skador. I vissa fall har även principen för hela konstruktionen ifrågasatts.

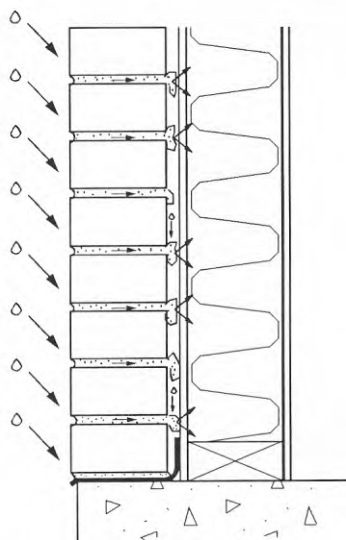
Två typer av skador kan särskiljas. Den mest omdiskuterade är skador i själva skalmuren, i huvudsak frostsador. Den andra typen är fuktskador i den bakomliggande konstruktionen, främst mögel och röta.

I debatten om orsakerna till dessa skador har luftspalten ägnats stort intresse. Debattens ytterligheter beträffande luftspalten kan sammanfattas:

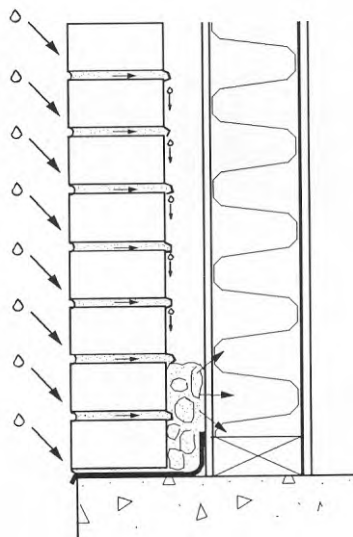
- Det måste finnas en ren och väl ventilerad luftspalt, helst 40-50 mm bred.
- Det skall inte finnas någon ventilerad luftspalt. Den är enbart till skada och medför problem i stället för att eliminera dem.

En direkt skadeorsak som ofta nämns är att det finns murbruk i luftspalten. Vid en nominell luftspaltsbredd på 20 mm blir det lätt brukstugor som ger direktkontakt mellan skalmur och den bärande konstruktionen. Härigenom uppstår det en kapillärkontakt som kan transportera in vatten enligt FIG. 1:2. Ett sätt att undvika denna kapillärkontakt är att öka luftspaltsbredden till 50 mm. Med denna bredd på spalten ramlar dock överskottsbruk ner i botten och täpper till dräneringsöppningarna. Samtidigt får man en kapillärkontakt mellan skalmur och bakvägg i botten enligt FIG. 1:3. Båda dessa problem kan man lösa genom att placera en kapillärbrytande mineralullsisolering i luftspalten. Mot denna lösning har det anförts att man då kan få "omvänd kondens" (sommarkondens) enligt FIG. 1:4. Detta kan inträffa om en blöt skalmur utsätts för kraftig solbestralning. Solstrålningen medför att skalmurens temperatur höjs kraftigt. Detta medför i sin tur att ånghalten i skalmuren höjs och blir väsentligt högre än vid ångspärren. Eftersom mineralullen hindrar ventilationen i luftspalten sker då en fukttransport in i bakväggen, med åtföljande kondensrisk. Den enda säkra lösningen skulle

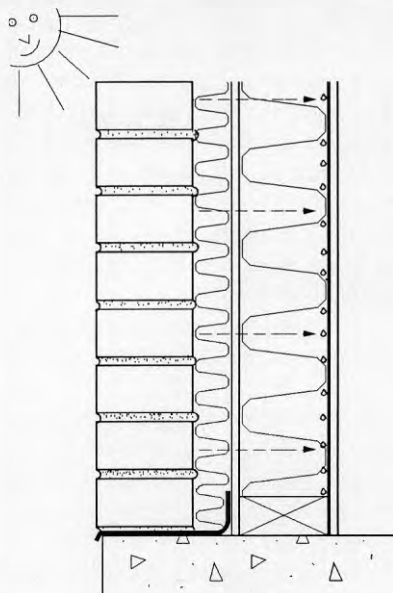
då vara att ha en bred luftspalt som rensas från allt brukspill. Detta anses dock vara svårt (omöjligt enligt många) att genomföra i praktiken.



Figur 1:2. En smal luftspalt med brukstuggor.



Figur 1:3. En bred luftspalt med bruksspill.



Figur 1:4. Luftspalt ersatt med mineralull.

Andra skadeorsaker som nämns i debatten är

- dålig tegelkvalitet
- bristfälligt murningsarbete
- ökad isolertjocklek
- kondens i luftspalten

För att åtgärda förekommande skador har ett flertal olika metoder provats, med varierande framgång. Som exempel kan nämnas

- öppna flera ventilationsöppningar
- fylla luftspalten med karbamidskum
- impregnera fasaden med vattenavvisande preparat
- putsa fasaden
- riva skalmuren och mura om på nytt

Även om det finns många olika uppfattningar när det gäller skalmurskonstruktionens funktionssätt och skadeorsaker råder enighet om att skadorna i huvudsak drabbar fasader som är utsatta för relativt kraftiga slagregn. Det är även lätt att konstatera att många skador i den bärande väggen beror på felaktiga (eller obefintliga) vattenutledande anordningar i väggen.

1.3 Oklarheter och frågeställningar

Den forskning som tidigare gjorts i samband med skalmurar har varit starkt inriktad på själva skalmuren och dess täthet mot regnengenomslag. Mycken möda har lagts ner på att anpassa bruket till stenens egenskaper (främst vattensugning) för att få god vidhäftning och täthet mot regnengenomslag. Frågeställningarna har bland annat studerats av Granholm (1958) och Vähäkallio (1984). Kunskaperna inom detta problemområde måste anses som goda. En entydig slutsats är att det i praktiken är mycket svårt att åstadkomma en tät skalmur. Det inträngande vattnet måste således stoppas eller ledas ut på något sätt.

Kunskaperna om hela konstruktionens funktionssätt, främst ur fuktteknisk synvinkel, har under senare tid ifrågasatts. Nevander (1984) konstaterar bland annat:

- Genom de ökade kraven på värmeisolering och täthet har de byggnadsfysikaliska förhållandena ändrats.
- Vi vet ytterst lite om skalmurens fuktbalans.
- ...nödvändigt att också studera den ventilerade luftspaltens funktion.
- Framförallt skulle man vilja ha en snabb frostprovningssmetod.

Många av frågeställningarna kan bedömas kvalitativt. Det är till exempel uppenbart att en väl fungerande ventilerad luftspalt kan torka bort en viss fuktmängd på ett visst ställe. Frågan är bara hur mycket fukt som kan torkas ut och vart fukten tar vägen? Samma resonemang gäller en mängd andra faktorer. Hur stor betydelse har olika faktorer i praktiken? Bidrar en viss faktor med 1% eller 99% till förekommande skador?

Som exempel på frågeställningar som är oklara, eller omöjliga att kvantifiera, kan nämnas

- hur stor ventilation har luftspalten och vilken inverkan har detta på fuktillståndet
- hur stor är inverkan av olika luftspaltsbredd, olika ventilationsöppningar och förekomst av brukstuggor och bruksspill
- vad händer om luftspalten fylls med värmeisolering
- hur snabbt torkar en vattenmättad skalmur
- hur inverkar kraftigare isolering på skalmurens fuktbalans och frostbeständighet
- hur inverkar tegelkvalitet och murningsutförande på fuktillståndet i skalmur och bakomliggande konstruktion
- samband mellan slagregnsbelastning respektive solstrålning och fuktillstånd i skalmuren

2 UNDERSÖKNINGARNAS UPPLÄGGNING OCH AVGRÄNSNINGAR

Den övergripande målsättningen med projektet är att klargöra de byggnadsfysikaliska förhållandena i skalmurskonstruktionen. Det största intresset ägnas åt fuktbalansen i skalmur och bakomliggande konstruktion. Luftspaltens betydelse och funktion är en primär frågeställning. Olika byggnadstekniska detaljlösningar, till exempel fönsterinfästningar, upplag vid syll och vattenavledande anordningar studeras inte inom projektet.

Projektet har bedrivits i form av

- mätningar i ett provhus
- fältstudier
- laboratorieprovningar
- teoretiska analyser och beräkningar

I föreliggande rapport detaljredovisas främst mätningarna i provhuset. Resultaten från de övriga momenten kommenteras endast kortfattat på olika ställen. Detaljredovisning av dessa moment sker i nedanstående rapporter.

I Carlsson (1989 a) redovisas en uppföljning av fukttillstånd och frostskadeutveckling i två villaområden under en 3-årsperiod.

I Carlsson (1989 b) redovisas en nyutvecklade frostprovningssmetod för tegel. Metoden innebär ensidig frysning av kapillärmättade stenar.

I Gustavsson (1989) redovisas en inventering av ett 15-tal pågående byggen med skalmur.

I Naisan (1989) redovisas ett datorprogram för beräkning av fukt- och temperaturtillstånd i skalmurskonstruktioner.

Mätningarna i provhuset har formen av en parameterstudie. De parametrar som studeras är

- väderstreck
- slagregnsbelastning
- solbelastning
- luftspaltens bredd
- isolering i luftspalten
- ventilationsöppningar i luftspalten
- brukstuggor i luftspalten
- isolertjocklek
- ångspärr på insidan
- vintätningsskivor
- puts på teglet
- vattenavvisande impregnering

Hittills utförda mätningar kan sammanfattas

- Fukt och temperatur i tegelskal, luftspalt och bakvägg
- Luftomsättning i luftspalten
- Slagregnsbelastning mot fasaderna
- Solstrålning mot fasaderna
- Uteklimat (temperatur, fuktighet och vindförhållanden)

De olika variablerna och mätningarna redovisas i detalj i följande avsnitt. Mätningarna påbörjades delvis under 1986. Under 1987-88 pågick kontinuerliga mätningar. Vissa mätningar fortsatte även under 1989.

3 PROVHUS

3.1 Allmänt

Provbyggnaden är belägen på ett stort och öppet fält inom Lunds Tekniska Högskolas område i nordöstra delen av Lund.

Byggnaden är grundlagd med platta på mark och har ett bärande träpelarsystem. Planmått är cirka $5 \times 15 \text{ m}^2$ och höjden cirka 3.5 m.

Byggnadens båda långfasader är helt utbytbara och orienterade mot sydväst respektive nordost. Avsikten med detta är att sydvästfasaden skall utsättas för maximal slagregns- och solbelastning.

Sydvästfasaden har en maximal fri provyta på $13.0 \times 3.0 \text{ m}^2$ medan nordostfasadens fria provyta är maximalt $7.8 \times 2.7 \text{ m}^2$. Sydvästfasaden saknar helt taksprång medan nordostfasaden har ett 0.25 m taksprång.

För de aktuella mätningarna är de båda långfasaderna uppdelade i mindre provytor som är helt avgränsade från varandra. På sydvästfasaden finns 10 sådana provytor med bredden 1.25 m. På nordostfasaden finns 6 likadana provytor.

Provhuset illustreras i FIG. 3:1-3:4.

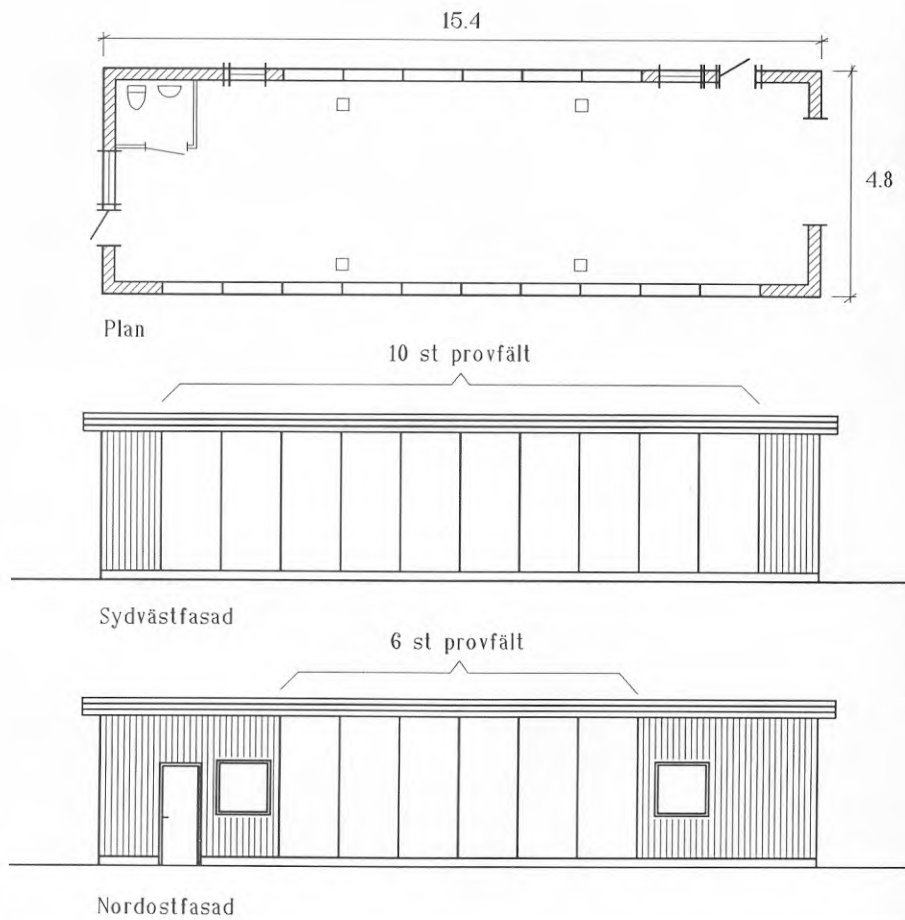
På taket finns instrument för insamling av klimatdata. Registrering sker kontinuerligt av temperatur, luftfuktighet, vindhastighet, vindriktning och nederbörd. På långfasaderna finns vidare ett antal slagregnsmätare och på sydvästfasaden en sensor för registrering av solstrålning.

På vissa delar av provytorna finns möjlighet att åstadkomma en extra slagregnsbelastning på fasaden.

Invändigt finns radiatorer för uppvärmning till $+20^\circ\text{C}$. Någon befuktning av inomhusluften förekommer inte.

Förutom ovanstående generella instrumentering finns mätutrustning som är direkt kopplad till provväggarna. Denna utrustning beskrivs i avsnitt 4.

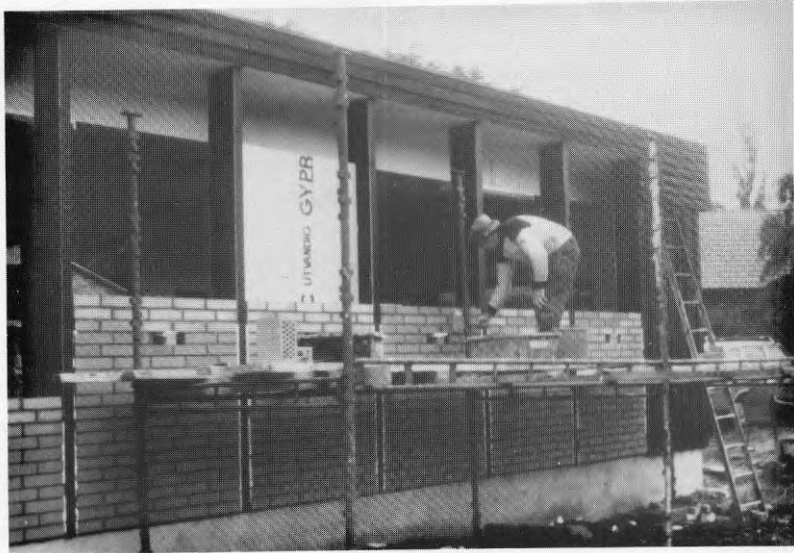
De flesta mätdata registreras numera på mät dator. I början registrerades vissa data på datalogg.



Figur 3:1. Plan och fasad på provhuset.



Figur 3:2. Provhushets stomme.



Figur 3:3. Provväggar muras.



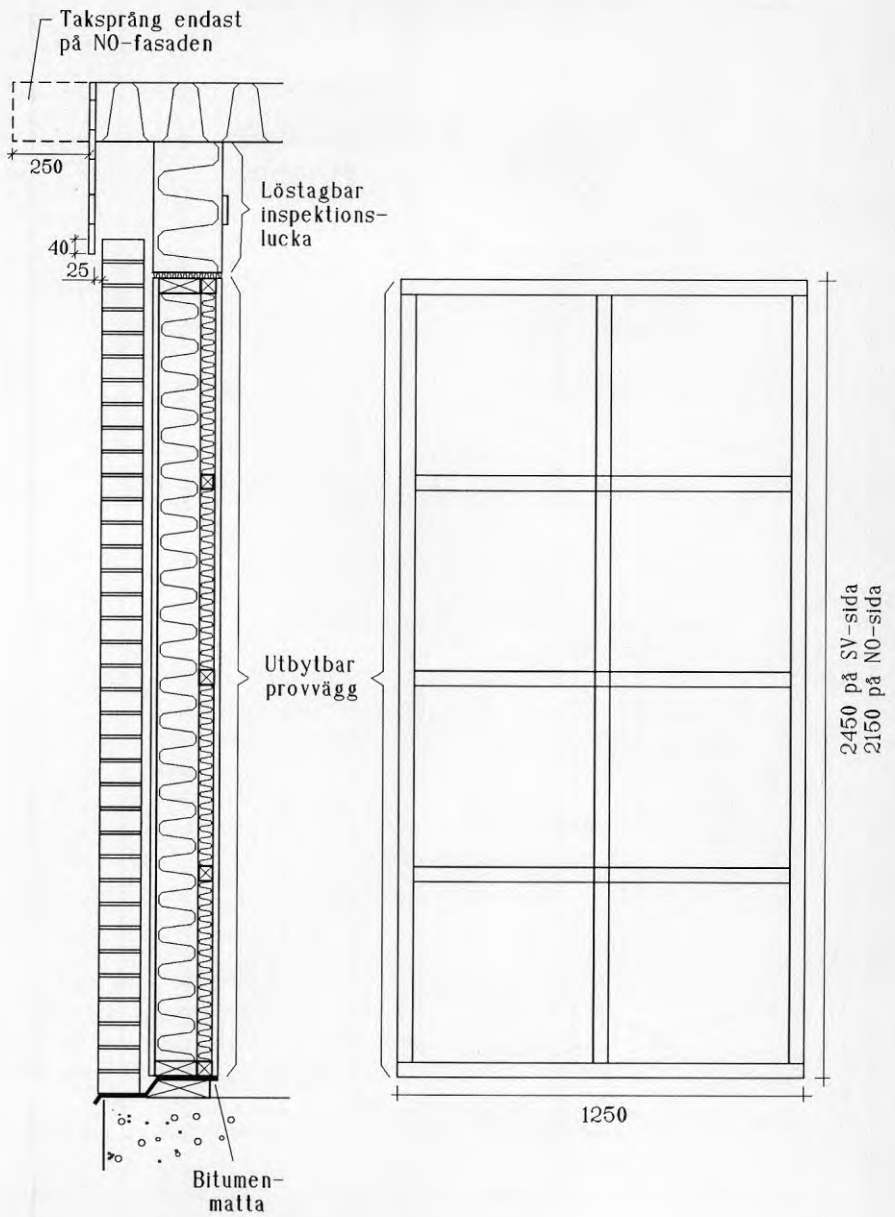
Figur 3:4. Provhusets SV-fasad färdig med provväggar.

3.2 Provväggar

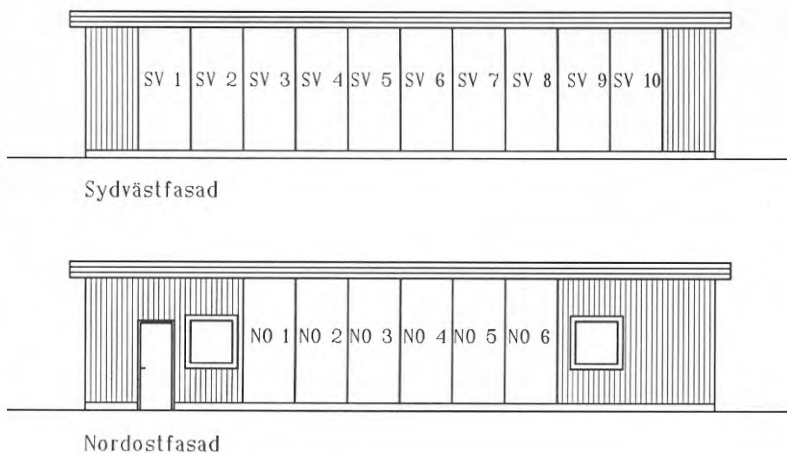
Den principiella uppbyggnaden av provväggarna framgår av FIG. 3:5. Skalmuren är upplagd på kantbalkar och förankrad till avbalkningarna mellan de olika facken. Bakväggen är helt löstagbar och hålls på plats med polyuretanskum mellan de stående sidoreglarna och avbalkningarna mellan facken. Nedtill finns en bitumenmatta. Genom väggens egentyngd erhålles här en tät anslutning.

Provväggarnas numrering och principiella konstruktion redovisas i FIG. 3:6 och TAB. 3:1. Observera att provväggarna mot sydväst i vissa fall haft olika konstruktion under mätperioden.

Den exakta uppbyggnaden av de olika provväggarna redovisas i BILAGA. För att underlätta läsningen av rapporten finns även ett lösblad bifogat med skiss på alla konstruktionerna.



Figur 3:5. Provväggarnas principiella konstruktion.



Figur 3:6. Provväggarnas numrering.

Förklaring till TAB 3:1 och FIG 3:6

- Den inre gipsskivan är på rumssidan målad med akrylfärg
- Gipskvalitet är Gyproc GU9 resp GN13
- Mineralullen är Gullfiberskivor med densitet ca 20 kg/m³
- Alla ventilationsöppningar finns i 1:a skiftet
(stötfog = en stötfog öppen. Sten = en sten utbytt mot galler)
- Skalmuren är uppförd med Kaniks fasadtegel (håltegel) i alla väggar utom NO6 där lättklinkerblock använts. Väggarna murades med Gullex torrbruk B.

- 1) Plexiglasskivan anslöt inte helt till regeln i ena kanten
- 2) "Extra" slagregn innebär att fasaden omedelbart efter ett slagregn utsattes för ytterligare lika mycket slagregn som det naturliga mot provvägg SV9. Det extra slagregnet applicerades under tiden september 1986 - april 1988
- 3) Fasadytan impregnerad med vattenavvisande medel, Snölands Everdry Hydrox
- 4) Fasaden putsad med 2 mm grundningsbruk och 10 mm utstockning av Gullex torrbruk B

TAB. 3:1. Sammanställning av provväggarnas uppbyggnad och vattenbelastning. (Kommentarer till tabellen finns på sid 20.)

Tid	Litt	Luftspalt	Ventilation	Vindskydd	Isolering	Insida	Slagregn	Anmärkning
juli 1986 - april 1989	SV1:1	20 mm ren	stötfog	gips	165 mm	gips	naturlig	} Daglig bevattning 880901-881028 } Daglig bevattning 880727-881028
	SV2:1	20 mm ren	stötfog	gips	310 mm	gips	naturlig	
	SV3:1	20 mm ren	stötfog	gips	95 mm	gips	naturlig	
	SV4:1	20 mm ren	galler	plast	-	-	naturlig	
	SV5:1	50 mm ren	galler	gips	165 mm	gips	naturlig	
	SV6:1	50 mm fylld med min.ull	stötfog	gips	120 mm	gips	naturlig	
	SV7:1	20 mm med brukstuggor	stötfog	gips	165 mm	gips	naturlig	
	SV8:1	20 mm ren	stötfog	gips	165 mm	plast ¹	extra ²	
	SV9:1	20 mm ren	stötfog	gips	165 mm	gips	extra ²	
	SV10:1	50 mm fylld med min.ull	-	gips	120 mm	gips	extra ²	
fr o m maj 1989	SV1:2	20 mm ren	stötfog	gips	165 mm	gips	naturlig	} vattenavvisande ³ putsad ⁴ } Daglig bevattning 890530-890703
	SV2:2	20 mm ren	stötfog	gips	165 mm	gips	naturlig	
	SV3:2	20 mm ren	stötfog	gips	165 mm	gips	naturlig	
	SV4:2	50 mm fylld med min.ull	stötfog	-	120 mm	plast	naturlig	
	SV5:2	50 mm ren	galler	gips	165 mm	gips	naturlig	
	SV6:2	50 mm fylld med min.ull	stötfog	-	120 mm	gips	naturlig	
	SV7:2	20 mm med brukstuggor	stötfog	gips	165 mm	gips	naturlig	
	SV8:2	20 mm ren	stötfog	gips	165 mm	plast ¹	naturlig	
	SV9:2	20 mm ren	stötfog	papper	165 mm	gips	naturlig	
	SV10:2	20 mm ren	-	gips	165 mm	gips	naturlig	
hela tiden	NO1	20 mm ren	stötfog	gips	165 mm	gips	naturlig	
	NO2	50 mm fylld med min.ull	stötfog	gips	120 mm	gips	naturlig	
	NO3	20 mm med brukstuggor	stötfog	gips	165 mm	gips	naturlig	
	NO4	20 mm ren	stötfog	asfaboard	165 mm	gips	extra ²	
	NO5	20 mm med brukstuggor	stötfog	asfaboard	165 mm	gips	extra ²	
	NO6	20 mm ren	hål ϕ 16	gips	165 mm	gips	naturlig	

4 MÄTNINGAR

I detta avsnitt beskrivs alla mätningar och datainsamling. Några resultat redovisas dock inte. All resultatredovisning har samlats i avsnitt 5.

4.1 Utomhusklimat

Under hela försöksperioden har klimatdata för Lund insamlats från SMHI. De klimatuppgifter som främst studerats är

- lufttemperatur
- nederbörd
- vindriktning
- vindhastighet
- luftfuktighet

SMHI:s klimatdata för Lund avser förhållandena klockan 7, 13 och 19 samt i tillämpliga delar dygnsmedelvärden.

Syftet med att insamla ovanstående data var att erhålla en helhetsbild av klimatet samt att till viss del få en kontroll av de egna mätningarna.

I samband med direkta mätningar i provväggarna har det exakta klimatet vid provhuset registrerats. De data som registrerats är

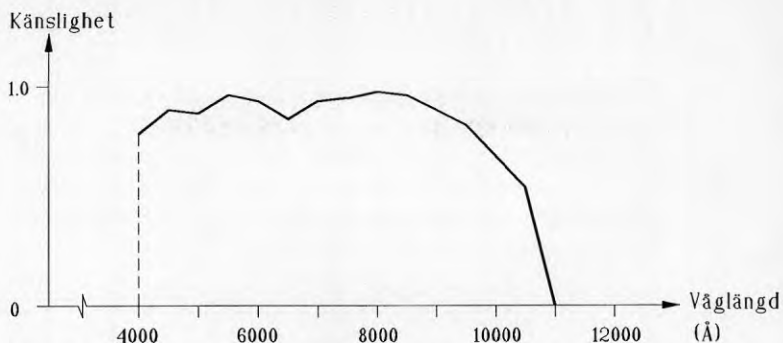
- lufttemperatur
- nederbörd
- vindriktning
- vindhastighet
- luftfuktighet
- solstrålning

Nederbörden har mätts på taket. Registreringen har skett med samma utrustning som slagregnet enligt avsnitt 4.2. Den enda skillnaden är att uppsamlingsytan är horisontell.

Solstrålningen mot SV-fasaden har mätts med en solintensitetsmätare HAENNI SOLAR 118 och ger direkt strålningsintensiteten mot väggen i W/m^2 . Enligt sensors spektralkänslighet, som redovisas i FIG. 4:1, mäts i huvudsak strålningen inom våglängdsområdet 4 000-10 000 Å.

Huvuddelen av solstrålningen faller inom mätområdet. En viss del faller emellertid utanför och medtas inte vid mätningen. Hur mycket som faller utanför mätområdet beror bland annat på väderleken. En rimlig uppskattning av ett medeltal är att den totala strålningen mot fasaden bör vara 10-20% större än den uppmätta. Denna totala strålning inkluderar även himmelstrålning och reflekterad strålning.

I resultatredovisningen redovisas den mätta strålningen utan korrektion för ovanstående. Solstrålningen har registrerats som momentanvärde med samma tidsmellanrum som övriga mätningar. I allmänhet har registrering skett en gång i timmen. I vissa mätningar har registrering skett varje minut.



Figur 4:1. Solsensorns spektralkänslighet.

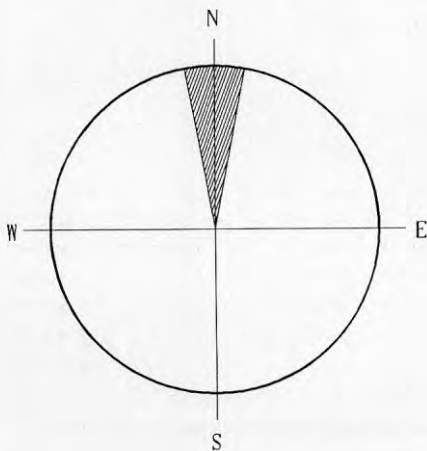
Lufttemperatur, vindförhållanden och luftfuktighet har mätts på en 3 m hög mast på provhusets tak. Registrering har skett med samma tidsintervall som solstrålningen.

Lufttemperaturen mättes med termoelement av koppar/konstantan.

Luftfuktigheten mättes med en sensor av fabrikat VAISALA HMP 125B. Sensorn har mycket god noggrannhet upp till 97-98% RF.

Vindhastigheten mättes med skålkorsanemometer med mätområde 1.5-40 m/s. Vid låga lufthastigheter (< 1.5 m/s) är mätvärdet osäkert.

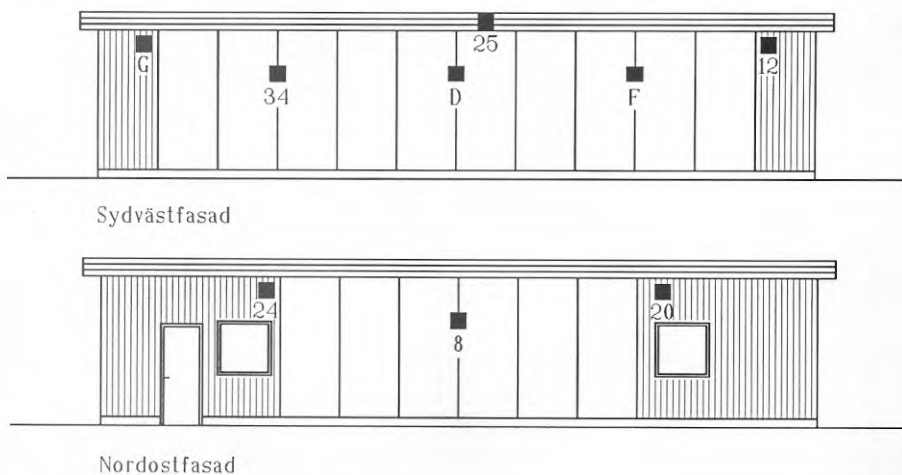
Vindriktningen mättes med en vindflöjel. Registreringen gjordes i sektorer om 22.5° . När mätutrustningen registrerar nordlig vind ligger sålunda vindriktningen inom sektorn enligt FIG. 4:2.



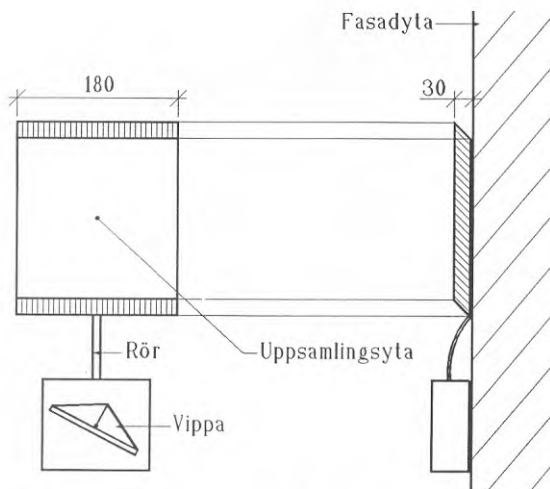
Figur 4:2. Vindriktning inom angiven sektor registreras som nordlig vind.

4.2 Slagregn

Slagregnet mättes med total 9 slagregnsmätare placerade enligt FIG. 4:3. Slagregnsmätarnas konstruktion framgår av FIG. 4:4. Från en 0.03 m^2 stor uppsamlingsyta leds vattnet till en vippanordning. När vippan är full töms den, varvid en impuls ges till en räknare. Den härvid uppsamlade vattenmängden motsvarar en slagregnsmängd på 0.10 kg/m^2 . Noggrannheten hos slagregnsmätarna är cirka $\pm 5\%$.



Figur 4:3. Placering av slagregnsmätare.



Figur 4:4. Slagregnsmätarens konstruktion.

När slagregnsmätarna är torra krävs en viss vattenmängd motsvarande 0.08 kg/m² för att våta uppsamlingsytan. Denna mängd kommer inte med vid registreringen.

Via en datalogg avläses räknarna med två timmars mellanrum. Vid mycket intensiva slagregn kan det förekomma att vipporna "låser sig". Detta tillhör dock undantagen.

4.3 Temperatur i tegelmuren

Syftet med temperaturmätningarna i tegelskalet var främst att studera inverkan av väderstreck och isoleringsgrad. Temperaturen har mätts med termoelement som limmats fast i förborrade hål. Termoelementen monterades i djupled på djupen (utifrån) 0, 5, 10, 20, 50 och 100 mm. I höjd- och sidled satt termoelementen mitt i stenen.

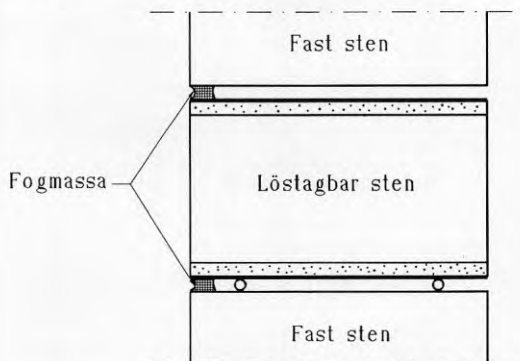
Temperaturmätningar har gjorts i facken SV1, SV2, SV3 och NO1.

Registrering gjordes på dator eller datalog, oftast med två timmars tidsmellanrum. Vid vissa specialstudier registrerades temperaturen oftare.

4.4 Fukt i tegelmuren

Fukttinnehållet i teglet har studerats på två sätt. Dels har en tegelsten i varje fack varit löstagbar och vägts vid vissa tidpunkter och dels har fuktkvoten bestämts på borrmjöl.

Den löstagbara tegelstenen var på löp- och kopyytorna försedd med ett lager bruk för att efterlikna fogarna i den verkliga väggen. För att uppnå symmetri motsvarade tjockleken på detta brukslager halva fogtjockleken. För att undvika fuktutbyte i sidled försågs bruksytan med en epoxibeläggning. Vid montering i väggen applicerades en fogmassa i mellanrummet mellan sten och "provhål" enligt FIG. 4:5.



Figur 4:5. Löstagbar tegelsten för bestämning av fukttinnehåll.

Den löstagbara stenen ger enbart medelfukttinnehållet. För att även fastställa skillnaden mellan yttre och inre halvan uttogs prover för direkt fuktkvotbestämning. Proverna togs genom att borra hål med en slagborrmaskin och samla upp borrhjålet. Prov togs separat för yttre och inre halvan av stenen.

Vid "borrmjölsmetoden" kan en viss fuktmängd avgå på grund av värmeutveckling under borrhningen. Med en kraftfull borrmaskin och ett effektivt borr är dock denna felkälla försumbar i sammanhanget.

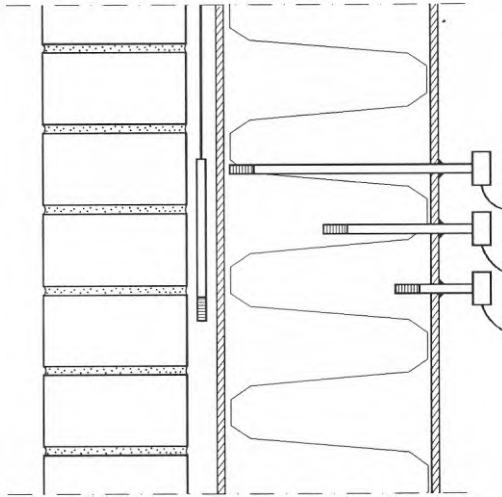
4.5 Fukt och temperatur i luftspalt och isolering

Fukt- och temperaturlståndet i luftspalt och isolering har mätts med sensorer av fabrikat VAISALA.

I luftspalten monterades sensorerna uppifrån genom att släppa ned dem till avsedd höjd. Mätningarna gjordes dels på olika höjd och dels i luftspalter med olika ventilationsgrad. I höjled mättes på höjderna 0.7 och 1.9 m nerifrån.

Sensorerna i isoleringen monterades inifrån genom hål i den inre gipsskivan. För att inte pressa samman isoleringen skars en slits i denna. Mätningar gjordes på höjden 1.5 m nerifrån och på olika djup (vid insidan, i mitten och vid utsidan).

Monteringen av sensorerna framgår av FIG. 4:6.



Figur 4:6. Placering av fukt- och temperatursensorer i luftspalt och isolering.

Mätningarna i luftspalten har pågått under hela försöksperioden med registrering på dator varje eller varannan timme. Mätningarna i isoleringen har skett periodvis under speciellt intressanta yttre betingelser. Syftet med dessa mätningar har främst varit att studera sommarkondensfallet.

Under vissa perioder har även temperaturen på luftspaltens begränsningsytor (tegel respektive gips) mätts med termoelement. I ett fack gjordes en detaljmätning med cirka 15 termoelement på varje yta. Syftet med denna mätning var att studera temperaturprofilen i höjd- och sidled samt temperaturfallet över spalten.

4.6 Ventilation i luftspalten

Flera metoder har använts för att mäta luftspaltens ventilation. I början mättes i huvudsak lufthastigheten med olika typer av anemometrar som placerades i hål från insidan. Mätningarna visade dock dålig överensstämmelse med olika kontroller. Orsaken till den dåliga överensstämmelsen visade sig vara att luften i luftspalten sällan går åt ett håll utan pumpas upp och ner. Med rökampuller kunde konstateras att luftväxlingen var mycket låg, trots att den uppmätta lufthastigheten var hög. Lufthastighetsmätningen är alltså inte användbar eftersom den inte kan avgöra riktningen på luftströmningen. Man får samma mätvärde för en omväxlande upp- och nedåtgående rörelse som för ett konstant flöde.

Den mätmetod som senare valdes för huvudmätningarna var spårgasmätning med avtagande gaskoncentration. Gasen (lustgas) sprutades in genom ventilationsöppningarna uppe och nere så att koncentrationen översteg detekteringsområdet. Gasen sögs sedan ut genom 2-4 hål, fördelade över hela spalten, och detekterades som ett medelvärde. Erhållna resultat ger därför inte ventilationen i enstaka punkter utan är ett medelvärde för hela spalten. Med hänsyn till spaltens ringa volym finns det flera osäkerheter i metoden. Någon kontroll av mätvärdernas absolutbelopp har inte gjorts. För relativa bedömningar torde dock metoden vara tillförlitlig.

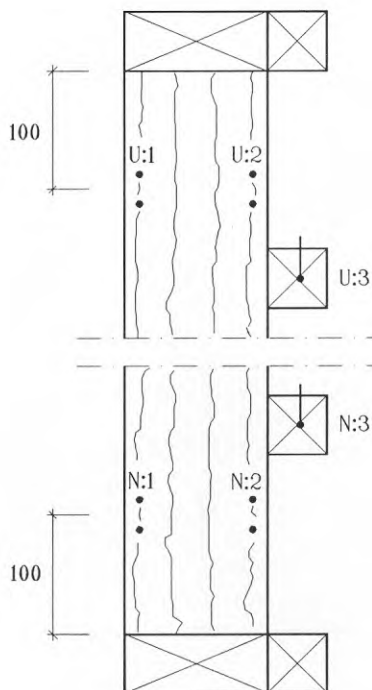
Under vissa perioder har luftströmningen observerats visuellt genom att spruta in rök med samma densitet som luft. Dessa försök gjordes endast i fack SV4:1 med plexiglas på insidan.

4.7 Fukt i regler

I träreglar har fuktkvoten mätts med en traditionell träfuktmätare av resistanstyp. Mätningarna har gjorts mellan fast monterade stiftpar, med avståndet 30 mm mellan stiften. Antalet mätpunkter har varierat i de olika facken. I fack med flest mätpunkter framgår placering och litterering av FIG. 4:7. Mätpunkterna har en bokstav:siffra som beteckning. Bokstaven anger läget i höjddled, Uppre eller Nere. Siffran anger läget i djupled enligt

- 1 = 10 mm utifrån i den yttre stående regeln
- 2 = 10 mm inifrån i den yttre stående regeln
- 3 = 10 mm inifrån i den inre liggande regeln

I vissa fack har en del mätpunkter uteslutits. Även för dessa fack används dock beteckningar enligt FIG. 4:7.



Figur 4:7. Placering och litterering av stift för fuktkvotsmätning i regler.

Fuktkvoten har avlästs manuellt 1-2 gånger per vecka.

Noggrannheten för fuktkvotens absolutbelopp är ± 2 procentenheter. Detta innebär att vid jämförelsen mellan olika mätpunkter kan relativt stora felmöjligheter föreligga. När man däremot studerar hur en viss mätpunkt varierar med tiden är noggrannheten mycket god.

Vidare kan enstaka mätpunkter avvika kraftigt beroende på lokala variationer i virket, till exempel sprickor och kvistar.

5 RESULTAT

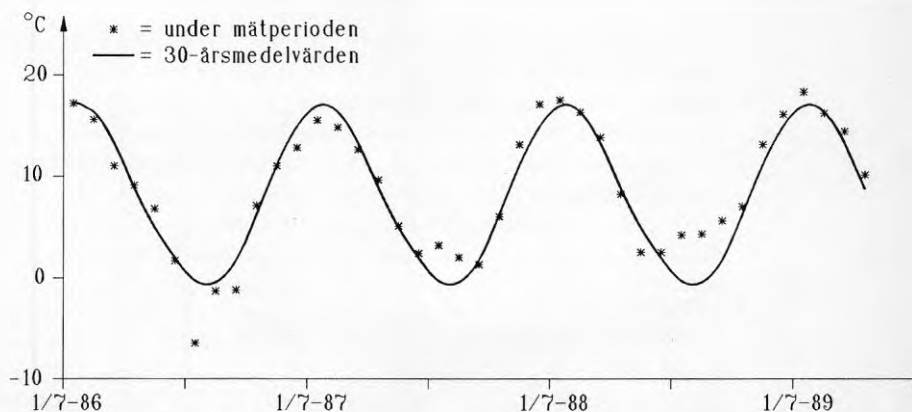
Resultatredovisningen i detta avsnitt följer rubrikmässigt föregående avsnitt. Detta innebär att varje mätning redovisas separat. Vid bedömning och värdering av de olika frågeställningar som angavs i avsnitt 1 måste man ofta analysera flera mätningar samtidigt. Detta görs i senare avsnitt. De kommentarer som ges i samband med resultatredovisningen avser endast iakttagelser som kan göras med utgångspunkt från den enskilda mätningen.

En fullständig redovisning av alla mätresultat är meningslös. De resultat som redovisas är sådana som har betydelse i sammanhanget. I vissa fall kan det vara medelvärden eller variationer under en kort eller lång tid. I andra fall kan det vara extremvärden under mycket korta tidsperioder.

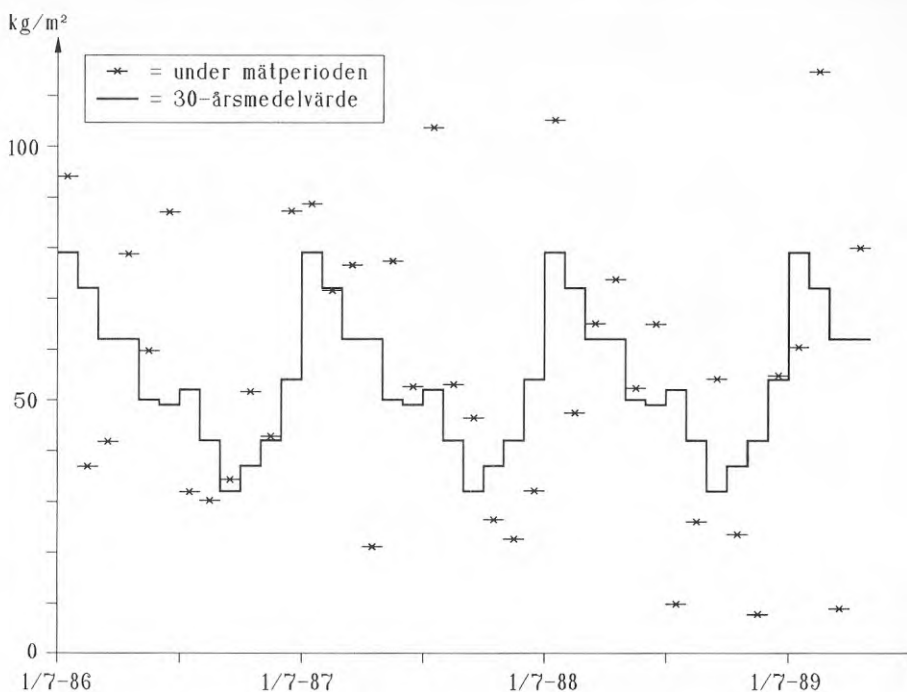
5.1 Utomhusklimat

Månadsmedelvärden av lufttemperatur och nederbörd redovisas för hela mätperioden i FIG. 5:1 respektive FIG. 5:2. För att ge en uppfattning om aktuellt klimat i jämförelse med normalklimatet redovisas även kurvorna för månadsmedelvärdet under en 30-årsperiod.

Övriga insamlade klimatdata, både från SMHI och från egna mätningar, redovisas i samband med andra resultatredovisningar i den mån de har betydelse för bedömningen av resultaten.



Figur 5:1. Månadsmedeltemperaturer.



Figur 5:2. Månadsnederbörd.

5.2 Slagregn

Slagregnsmätningarna har inte fungerat felfritt under hela mätperioden. Under den avsedda mätperioden på 24 månader finns mätningar för 19 hela månader. Den längsta sammanhängande mätperioden är aug 1987-juni 1988. De totalt uppmätta slagregnsmängderna under denna period och för alla 19 månader redovisas i TAB. 5:1. Den maximala slagregnsmängden under en månad uppmättes i december -87 till 13 kg/m^2 i mätpunkt 25.

De uppmätta slagregnsmängderna är väsentligt mindre än "de normala" värdena för Lund. Vid mätningar på en sydfasad i Lund 1981-83 uppmättes enbart under höstmånaderna större mängder än under mätperioden aug 1987-juni 1988. Det maximala månadsvärdet 1981-83 uppmättes i november 1981 till över 30 kg/m^2 , vilket skall jämföras med det nu uppmätta maxvärdet 13 kg/m^2 . Som exempel på andra uppmätta slagregnsmängder kan nämnas en mätning i Göteborgstrakten där det maximala månadsvärdet blev 65 kg/m^2 .

Slagregnsmängderna under mätperioden måste enligt ovanstående anses vara extremt små, vilket är väsentligt att ha klart för sig vid bedömningen av de övriga mätningarna i provväggarna. Orsaken till de små slagregnsmängderna kan vara extremt klimat under mätperioden eller att byggnaden har ett skyddat läge. Det sistnämnda verkar mest sannolikt. Vid uppförandet placerades byggnaden på ett öppet fält för att skapa ett "utsatt"

läge. Bedömningen av detta "utsatta" läge kan vara felaktigt, vilket visar svårigheten att avgöra när en byggnad är "utsatt" eller "skyddad".

Fördelningen av slagregnet över respektive fasad är relativt jämn. På SV-fasaden är relationen mellan minst och mest slagregn 0.7. På NO-fasaden är slagregnet praktiskt taget jämnt fördelat över hela fasaden.

Slagregnsmängderna som träffar NO- respektive SV-fasaden skiljer avsevärt. Slagregnsmängden på NO-fasaden är cirka 15% av den som träffar SV-fasaden. För hela mätperioden blir denna siffra större, beroende på ett enda kraftigt slagregn på NO-fasaden.

TAB. 5:1. Uppmätta slagregnsmängder, kg/m².

Mätpunkt	8	20	24	G	34	D	25	12
Aug 1987-juni 1988	7.6	8.9	9.0	51.8	59.4	42.3	60.0	58.7
Alla mätningar	23.9	25.9	24.9	84.1	91.9	70.0	72.6	98.1

5.3 Temperatur i tegelmuren

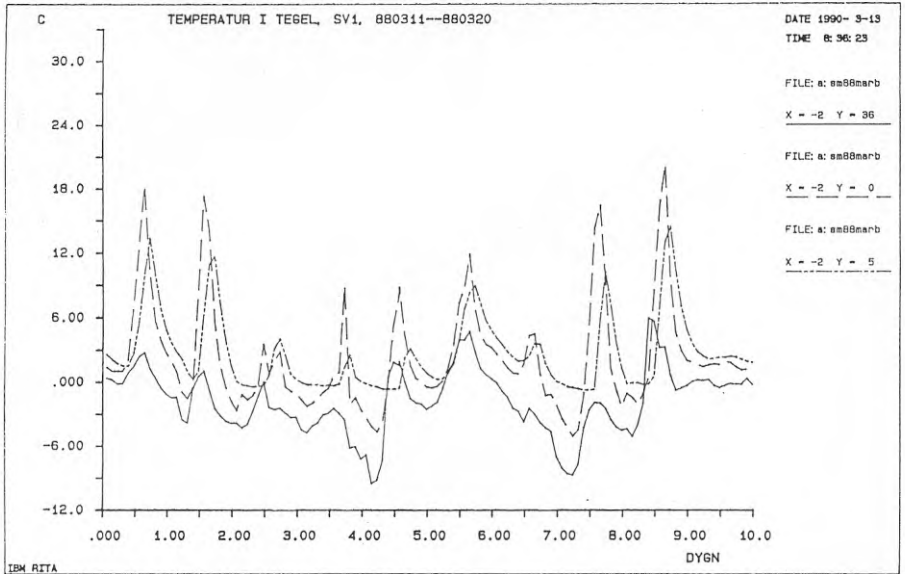
Fullständiga temperaturmätningar enligt avsnitt 4.3 har utförts, med vissa korta avbrott, under tiden januari 1987-april 1989. Alla mätvärden har uppritats i 10 dygnsintervall. I FIG. 5:3 visas ett exempel på ett sådant diagram för några mätpunkter. En fullständig redovisning av alla mätningar är meningslös. I det följande redovisas i stället speciellt intressanta situationer och andra iakttagelser.

Den kallaste perioden inträffade i januari 1987. I FIG. 5:4 redovisas utomhus- och yttemperaturerna i fack SV2, SV3 och NO1 för tiden 8-10 januari. I FIG. 5:5 redovisas temperaturprofilerna när väggarna har de högsta respektive lägsta temperaturerna i motsvarande fack för mätperiodens kallaste dygn.

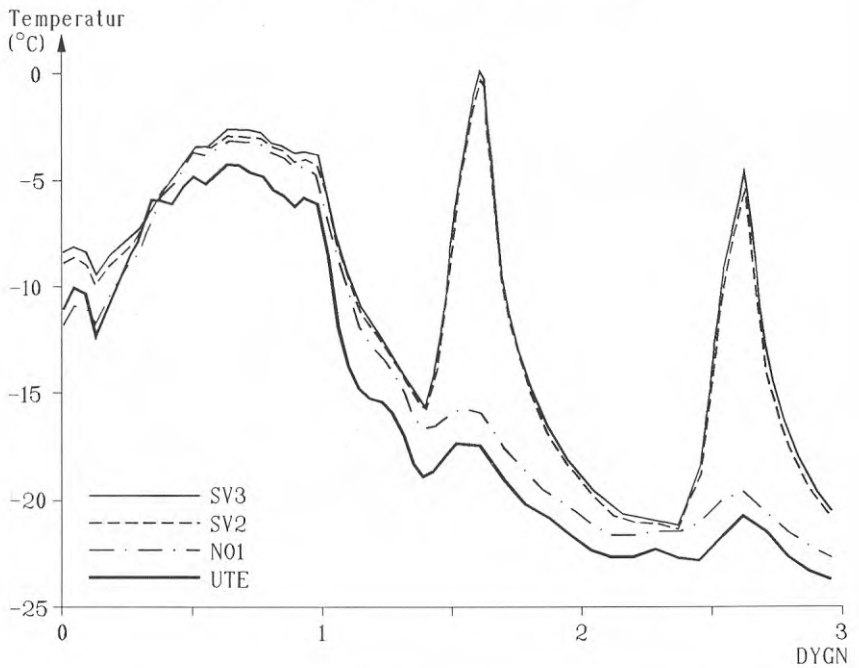
Enligt FIG. 5:4-5 är skillnaden vid olika isolertjocklek (SV2 har 310 mm isolering och SV3 har 95 mm) mycket liten. Vid en utetemperatur på -23°C är skillnaden mellan väggarna mindre än 1°C. Vid högre utetemperatur blir skillnaden ännu mindre.

Fasadens orientering har däremot mycket stor betydelse. Fasaden mot sydväst utsätts för kraftig solbestrålning på dagtid och får härigenom ett energitillskott, vilket höjer temperaturen i teglet väsentligt över utetemperaturen. Fasaden mot nordost följer däremot utetemperaturen relativt väl.

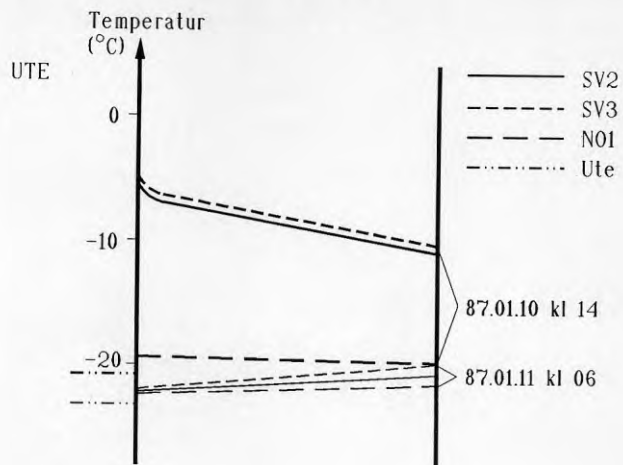
De högsta utetemperaturerna uppmättes i maj 1988. I FIG. 5:6 redovisas utetemperaturen samt yttemperaturerna på facken SV1 och NO1 under tiden 880526-880528. Temperaturprofilerna under dygnet med de högsta temperaturerna redovisas i FIG. 5:7. (Temperaturen i den inre halvan av NO1 är uppskattad eftersom den inre mätpunkten var ur funktion.)



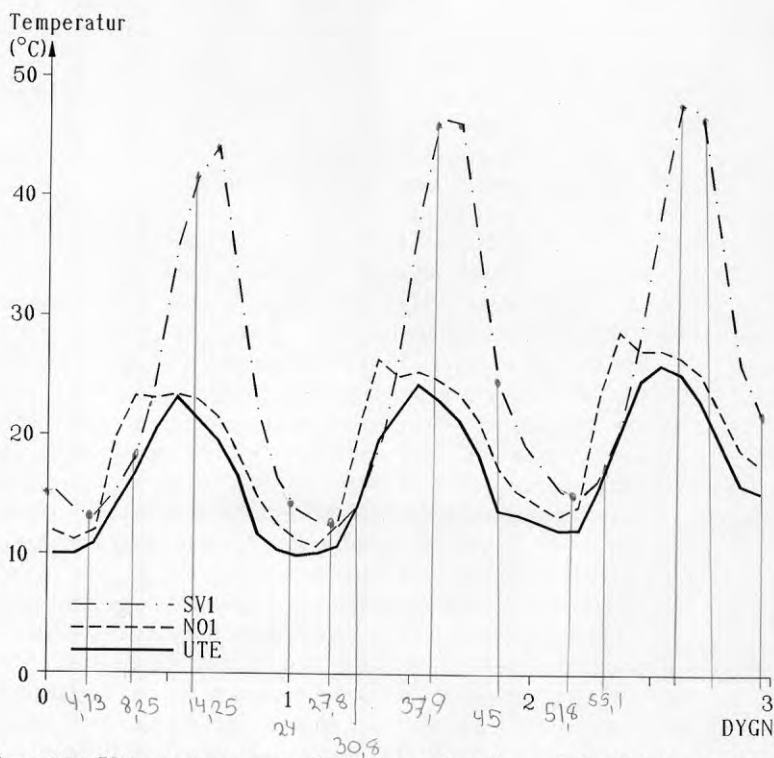
Figur 5:3. Exempel på temperaturmätning.



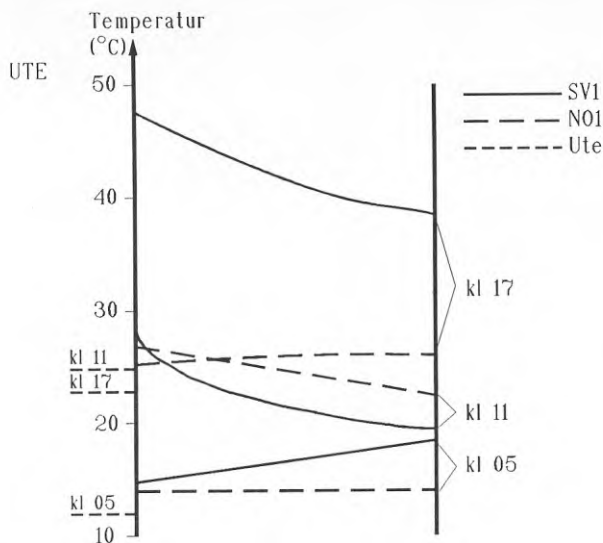
Figur 5:4. Yttertemperaturer under mycket kall period, 8-10 januari 1987.



Figur 5:5. Temperaturprofiler under det kallaste dygnet.



Figur 5:6. Yttertemperaturer under varm och solig period, 26-28 maj 1988.



Figur 5:7. Temperaturprofiler under ett varmt och soligt dygn, 880528.

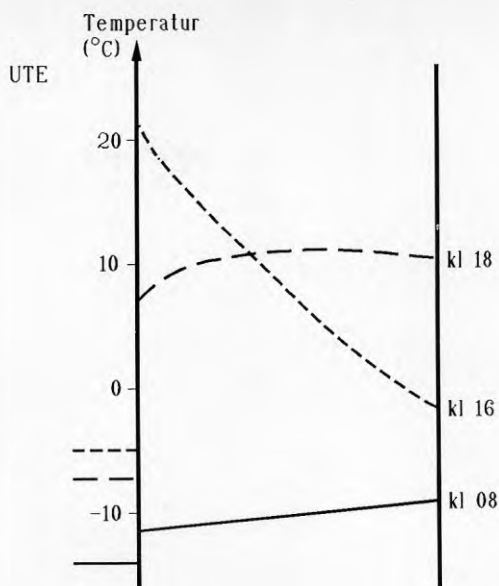
Enligt FIG. 5:7 är nordostväggen något varmare än sydvästväggen på förmiddagen. Detta beror på en kortvarig solbestrålning på morgontimrarna. Under inverkan av eftermiddagssolen stiger sedan temperaturen mycket kraftigt på sydvästfasaden. Maxvärdena blir cirka 50°C på ytterytan och 40°C mot luftspalten.

Den största dygnsamplituden under ett kallt dygn uppmättes 870305. I FIG. 5:8 visas max- och mintemperaturerna under detta dygn. Enligt denna figur varierar yttemperaturen på utsidan mellan +21°C och -11°C, d v s en skillnad på 32°C. Motsvarande skillnad mot luftspalten är cirka 20°C.

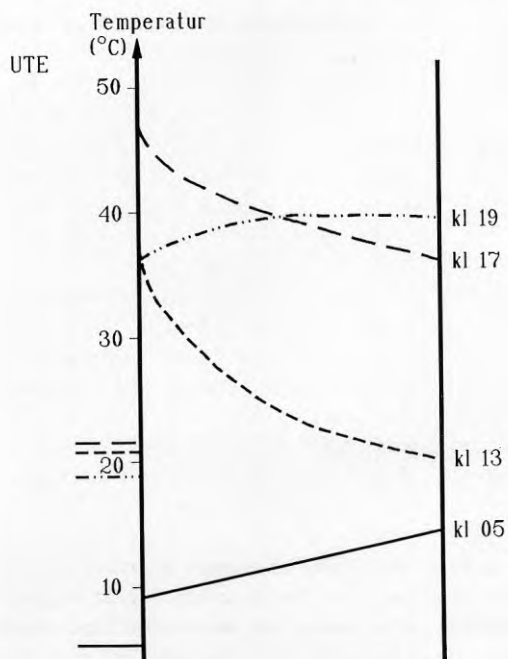
Under det aktuella dygnet varierade utomhustemperaturen mellan -5°C och -14°C. Trots denna låga utetemperatur steg yttemperaturen på utsidan till +21°C och mot luftspalten till +10°C.

Den största dygnsamplituden under ett varmt dygn redovisas i FIG. 5:9. I detta fall varierade yttemperaturen på utsidan mellan +47°C och +9°C, d v s en skillnad på 38°C. Ytterytans övertemperatur, d v s skillnaden mellan yttemperatur och lufttemperatur, var maximalt 26°C. Den maximala skillnaden mellan yttemperaturen på utsidan och mot luftspalten var 17°C.

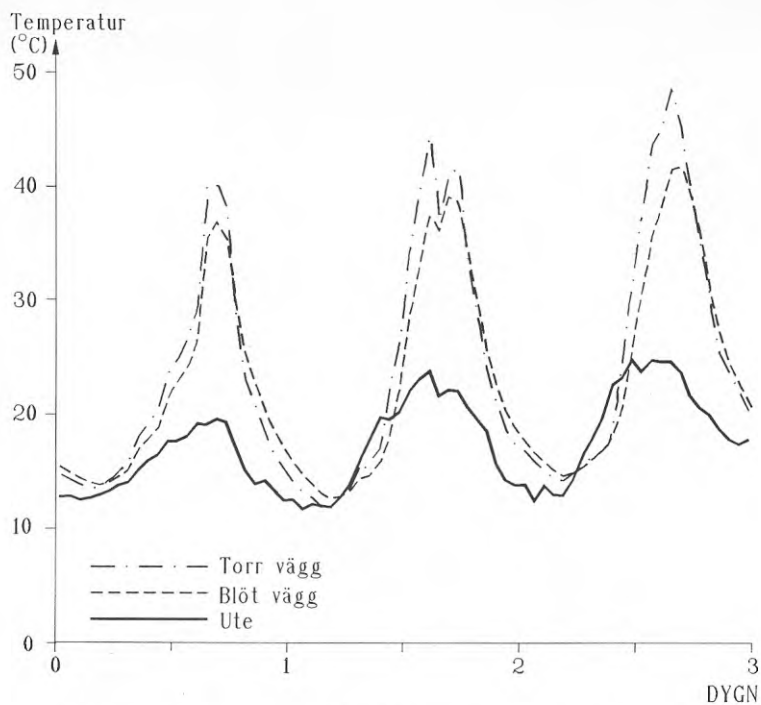
Under sommaren 1989 utfördes kompletterande mätningar på två väggar, den ena helt blöt och den andra torr. Yttemperaturerna för några dygn med kraftig solbestrålning redovisas i FIG. 5:10. För dygnet med högst yttemperaturer visas hela temperaturfördelningen genom tegelskalen i FIG. 5:11. Som synes får den blöta väggen lägre temperaturer, både med avseende på maximalvärden och medelvärden, i hela väggsnittet. Orsaken till att medelvärdena skiljer beror helt på att det åtgår stora energimängder för att avdunsta vatten från den blöta väggen. Att maximaltemperaturerna skiljer så pass mycket, upp till 7°C beror dels på avdunstningen dels på att den blöta väggen har större värmekapacitet.



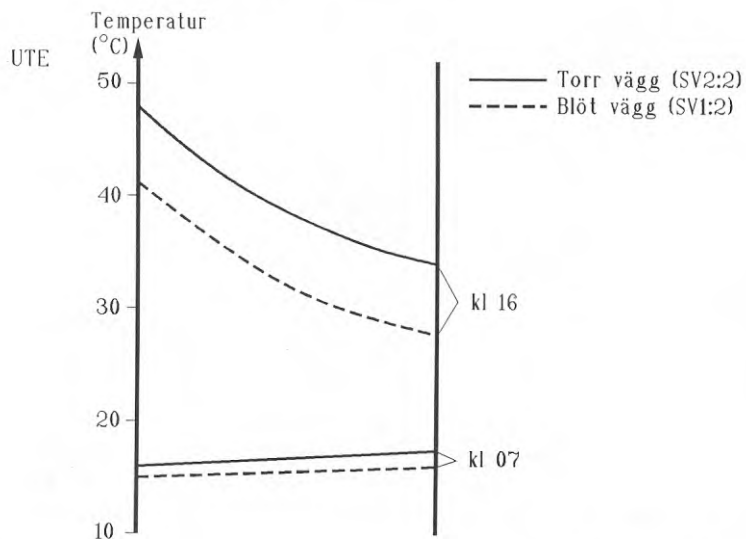
Figur 5:8. Temperaturprofiler i SV1 under ett dygn med låg utetemperatur och stor amplitud i väggen, 870305.



Figur 5:9. Temperaturprofiler i SV1 under ett dygn med hög utetemperatur och stor amplitud i väggen, 880514.



Figur 5:10. Yttertemperaturer vid kraftig solbestrålning på blöt respektive torr vägg, 2-4 juli 1989.



Figur 5:11. Temperaturprofiler i blöt respektive torr vägg vid kraftig solbestrålning, 890704.

De redovisade resultaten är i huvudsak Extremsituationer. Mätningarna har varit alltför splittrade för att medge beräkningar av välunderbyggda medelvärden under längre perioder. För att ge en uppfattning om förhållandena på längre sikt redovisas i TAB. 5:2 några exempel på tegelskalets övertemperatur på olika djup från fasadytan jämfört med uteluften. I tabellen redovisas även uteklimatet enligt SMHI:s observationer. Som synes råder det under aktuell mätperiod alltid en avsevärd övertemperatur i tegelskalet på SV-fasaden, i medeltal 4-5°C. Även på NO-fasaden råder en viss övertemperatur, cirka 2°C. Skillnaden mellan de olika djupen beror helt på värmeflödet inifrån. Övertemperaturen beror på sol- och himmelsstrålningen. Under den soligaste perioden, 1-7 mars, är övertemperaturen 8-10°C! Under denna period var det samtidigt relativt lugnt, vilket delvis bidrar till den stora övertemperaturen. Att direkt särskilja inverkan av sol och blåst är inte möjligt med aktuella mätningar. Det finns dock en klar tendens att höga vindhastigheter och lite sol ger en lägre övertemperatur.

TAB. 5:2. Övertemperatur i tegel på 10 respektive 100 mm djup och uteklimat för några sammanhängande mätperioder 1987.

Mätperiod	SV1		NO1		Utetem- peratur (°C)	Moln- mängd (%)	Vindhastighet (m/s)
	10	100	10	100			
11/1-20/1	3.0	3.7	1.6	1.9	-7.9	75	2.5
21/1-30/1	3.5	4.2	1.6	2.1	-4.2	80	3.0
1/2-10/2	3.0	3.6	1.5	2.0	+0.1	71	1.9
11/2-20/2	4.6	5.2	2.0	2.6	-1.9	83	1.0
21/2-28/2	5.4	5.8	1.5	2.0	-2.2	59	1.8
1/3-7/3	8.8	9.4	1.3	1.7	-8.6	36	1.5
14/3-20/3	5.2	5.6	2.7	3.1	-1.1	92	1.5
21/3-30/3	4.0	4.3	2.3	2.7	+2.6	80	3.2
11/4-20/4	4.5	4.9	2.0	2.4	+5.7	77	2.6
21/4-30/4	5.0	5.1	2.3	2.4	+10.0	50	1.8
Medelvärde	4.5	5.0	1.9	2.3			

Med utgångspunkt från diagrammen enligt FIG. 5:3 har antalet "nollpunktspassager" beräknats på olika djup i väggen. Med nollpunktspassage avses att temperaturen går från plusgrader till minusgrader och tillbaka till plusgrader. Antalet nollpunktspassager i uteluften och i teglets ytteryta respektive på 100 mm djup redovisas i TAB. 5:3-4.

TAB 5:3. Nollpunktpassager i uteluft och i ytterytan.

Tid	Medeltemp utomhus	Antal nollpunktpassager				
		Ute	SV1	SV2	SV3	NO1
Jan 87	-7.0°C	3	16	15	16	4
Feb 87	-2.2°C	5	20	19	19	7
Mar 87	-4.2°C	10	17	17	17	10
Nov 87	+4.9°C	5	2	2	2	2
Dec 87	ingen mätning					
Jan 88	ingen mätning					
Feb 88	+1.4°C	17	12	12	9	10
Mar 88	-0.1°C	14	11	11	11	11
Apr 88	+3.9°C	9	7	6	6	8
Okt 88	+8.2°C	3	3	3	3	3
Nov 88	ingen mätning					
Dec 88	+2.5°C	7	10	11	10	8
Jan 89	+4.2°C	2	3	3	3	4
Feb 89	+4.3°C	1	5	5	4	5
Mar 89	+5.6°C	0	1	1	1	1
Apr 89	+7.0°C	4	4	4	3	3
SUMMA		80	111	109	104	76

TAB 5:4. Nollpunktpassager i uteluft och på 100 mm djup.

Tid	Medeltemp utomhus	Antal nollpunktpassager				
		Ute	SV1	SV2	SV3	NO1
Jan 87	-7.0°C	3	2	1	2	1
Feb 87	-2.2°C	5	2	2	3	5
Mar 87	-4.2°C	10	6	6	7	5
Nov 87	+4.9°C	5	0	0	0	0
Dec 87	ingen mätning					
Jan 88	ingen mätning					
Feb 88	+1.4°C	17	0	2	0	3
Mar 88	-0.1°C	14	5	5	4	7
Apr 88	+3.9°C	9	2	2	1	-
Okt 88	+8.2°C	3	1	1	1	-
Nov 88	ingen mätning					
Dec 88	+2.5°C	7	2	3	2	-
Jan 89	+4.2°C	2	0	0	0	-
Feb 89	+4.3°C	1	0	1	0	-
Mar 89	+5.6°C	0	0	0	-	-
Apr 89	+7.0°C	4	1	0	-	-
SUMMA		80	21	24	20	-

Vid en jämförelse mellan SV2 (310 mm isolering) och SV3 (95 mm isolering) framgår att isolertjockleken saknar praktisk betydelse. Fasadens orientering har däremot stor betydelse, vilket framgår av en jämförelse mellan NO-väggen och SV-väggarna. Vid mycket låga utetemperaturer genomgår SV-fasaden väsentligt fler nollpunktspassager än NO-fasaden.

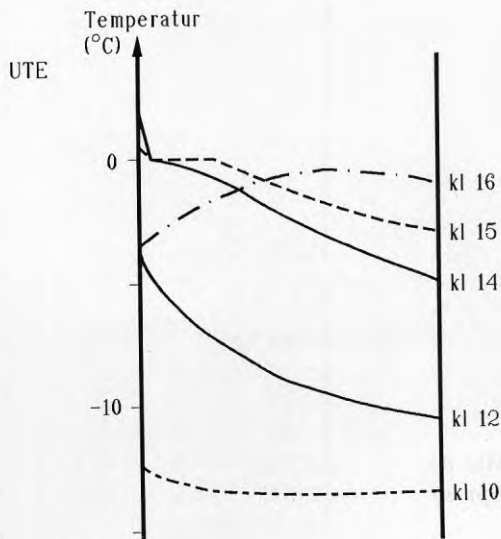
En jämförelse mellan mätpunkterna på ytan och på 100 mm djup visar att det sker en kraftig dämpning av antalet nollpunktspassager med ökande djup i väggen.

Av tabellerna framgår även att det inte finns något direkt samband mellan antalet nollpunktspassager i uteluften och i väggen. Vid mycket låga utomhustemperaturer genomgår ytan på SV-fasaden väsentligt fler nollpunktspassager än uteluften. Orsaken till detta är att väggen hela tiden är bottenfrusen och enbart tinar i ytan under inverkan av solen. Vid höga utomhustemperaturer kan förhållandet vara omvänt. Väggen är då helt upptinad och under inverkan av en kortvarig köldperiod hinner inte väggen frysa. Vid en kraftigare köldperiod kan dock ytan frysa utan att väggen bakom fryser.

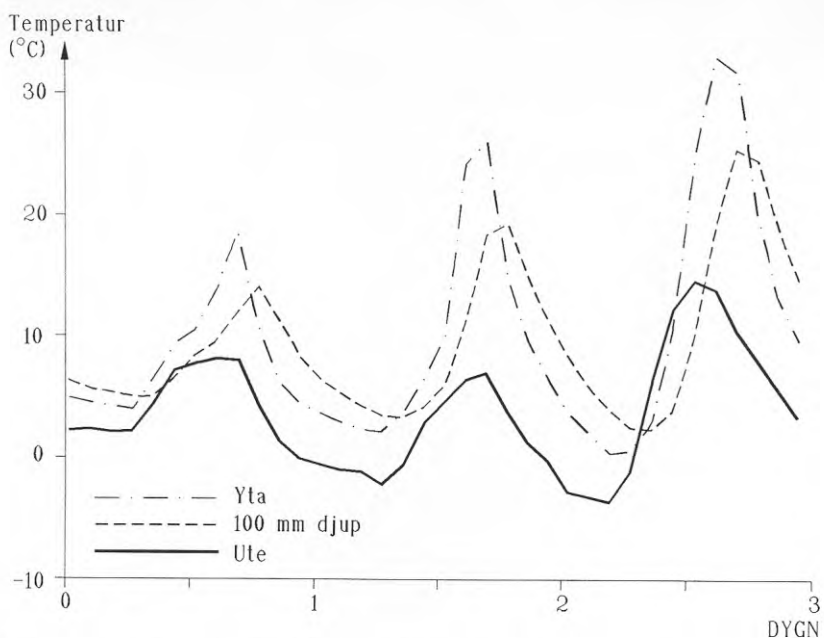
Ovanstående situationer exemplifieras i FIG. 5:12-14. I FIG. 5:12 redovisas temperaturprofilerna i fallet med yttining av en bottenfryst vägg när utetemperaturen är cirka -15°C .

I FIG. 5:13 visas temperaturförloppet under 3 dygn med helt upptinad vägg, men med två nollpunktspassager i uteluften.

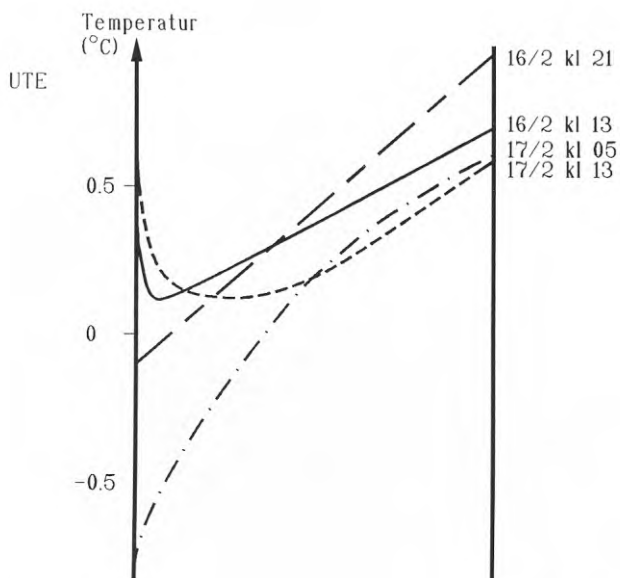
I FIG. 5:14 visas temperaturprofilerna när köldknäppen är något kraftigare än i FIG. 5:13. I detta fall hinner ytan att frysa, medan väggen på större djup fortfarande är upptinad.



Figur 5:12. Temperaturprofiler vid upptining av ytan i bottenfrusen vägg. Utetemperaturen är cirka -15°C , 870107.



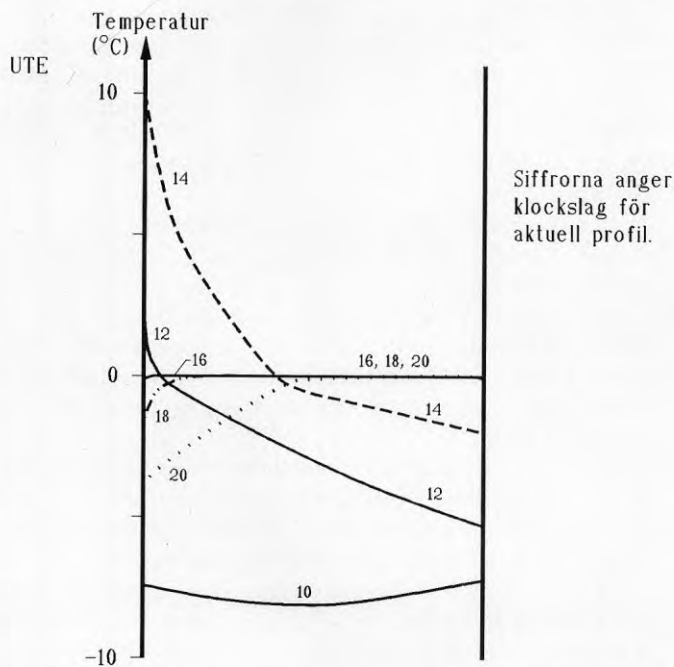
Figur 5:13. Temperaturförlopp under period med nollpunktpassager i uteluften men inte i väggen, 5-7 april 1988.



Figur 5:14. Temperaturprofiler vid ytfrysning i upptinad vägg. Utetemperaturen är cirka -3°C .

Ytterligheter där hela väggen fryser och tinar under en nollpunktspassage illustreras i FIG. 5:8.

Förutom att frys/tiningsförloppen påverkas av utetemperatur och solstrålning så har även väggens fuktillstånd stor betydelse. En vägg med ett högt fukttinnehåll har en större värmekapacitet och dämpar därmed temperaturändringshastigheten. När temperaturen passerar nollpunkten tillkommer även inverkan av den energi som åtgår/ frigörs vid upptining/frysning. Detta illustreras i FIG. 5:15. Kl 10 är hela väggen frusen och har temperaturen -8°C . Under inverkan av solen stiger temperaturen snabbt till 0°C . Ytan tinar varefter temperaturen snabbt stiger i yttre halvan. Kl 14 är 4-5 cm upp-tinade medan den inre halvan är frusen. När solen försvinner sjunker temperaturen snabbt till 0°C . I ytterdelen sjunker sedan temperaturen långsamt medan temperaturen på större djup ligger kvar på nollpunkten under lång tid, 6-8 timmar. Detta långsamma förlopp kring nollpunkten beror helt på energiåtgången vid tining respektive energiutvecklingen vid frysning.



Figur 5:15. Temperaturprofiler vid tining/frysning av blöt vägg, 870128.

5.4 Fukt i tegelmuren

Fuktkvotsbestämning på de löstagbara stenarna gjordes under tiden september 1986-april 1988. Resultatet redovisas i FIG. 5:16 i form av stapeldiagram för de olika väggfacken vid olika tider. De redovisade fuktkvoterna är

medelfuktkvoter för hela stenar.

Fuktkvotsmätning med bormjölsmetoden gjordes systematiskt på SV-fasaden under tiden augusti 1989-december 1989. Resultatet redovisas i FIG. 5:17 i form av stapeldiagram för de olika väggfacken vid olika tider. Fuktkvoten i den yttre halvan av stenen ges av stapeln över 0-axeln. Fuktkvoten i den inre halvan av stenen ges av stapeln under 0-axeln. Det måste påpekas att alla väggfacken var utsatta för konstgjord bevattning 890530-890703. De flesta facken var sålunda i början av juli helt vattenmättade. Facken SV1-3 var dock inte helt mättade.

Vid bedömningen av erhållna resultat måste man ha klart för sig att slagregnsbelastningen inte är helt jämn över fasaden. Vidare kan inhomogeniteter i teglet medföra att enstaka mätvärden avviker. Totalt torde detta medföra att några procentenheters spridning är att förvänta, främst vid höga fukttillstånd.

Mätningarna visar att skalmuren kan fuktas upp mycket snabbt på senhösten. Härefter behåller väggen ett högt fukttinnehåll under vintern. Temperatur är väggen helt kapillärmättad. Enligt mätningarna uppfuktades väggen från "torrt" till "mycket blött" tillstånd under en tvåveckorsperiod. Sannolikt kan detta ske mycket snabbare, inom ett dygn vid kraftiga slagregn. På våren börjar väggen torka ut och under sommaren är den sannolikt helt torr. Uttorkningen sker väsentligt långsammare än uppfuktningen. I de aktuella mätningarna torkade väggarna från kapillärmättnad 890703 till "torrhet" 890823. Under mycket gynnsamma betingelser kan uttorkningen sannolikt ske något snabbare.

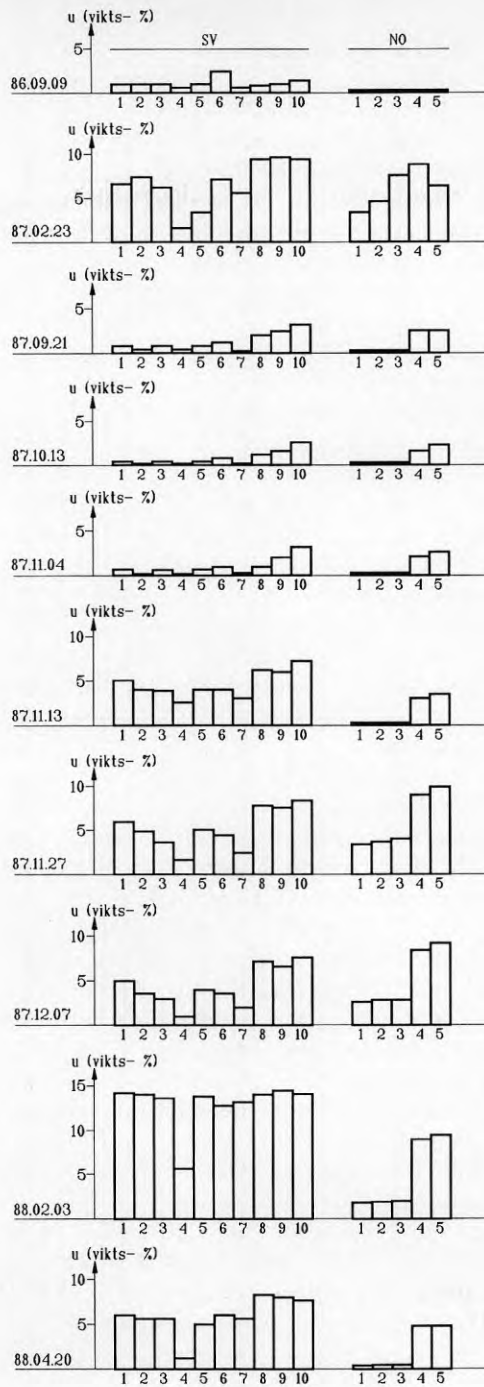
En annan iakttagelse är att fuktgradienten genom väggen är liten. Under uppfuktningssfasen är det något högre fukttinnehåll i den yttre delen och under uttorkningen något högre fukttinnehåll i den inre delen.

En frågeställning som nämndes i inledningen var isolertjocklekens inverkan på skalmurens fuktbalans. En jämförelse mellan väggfacken SV1, SV2 och SV3 i FIG. 5:17 visar att det inte finns någon skillnad vid isolertjocklekar 100-300 mm. I extremfallet utan isolering (SV4) blir dock fukttillståndet väsentligt lägre.

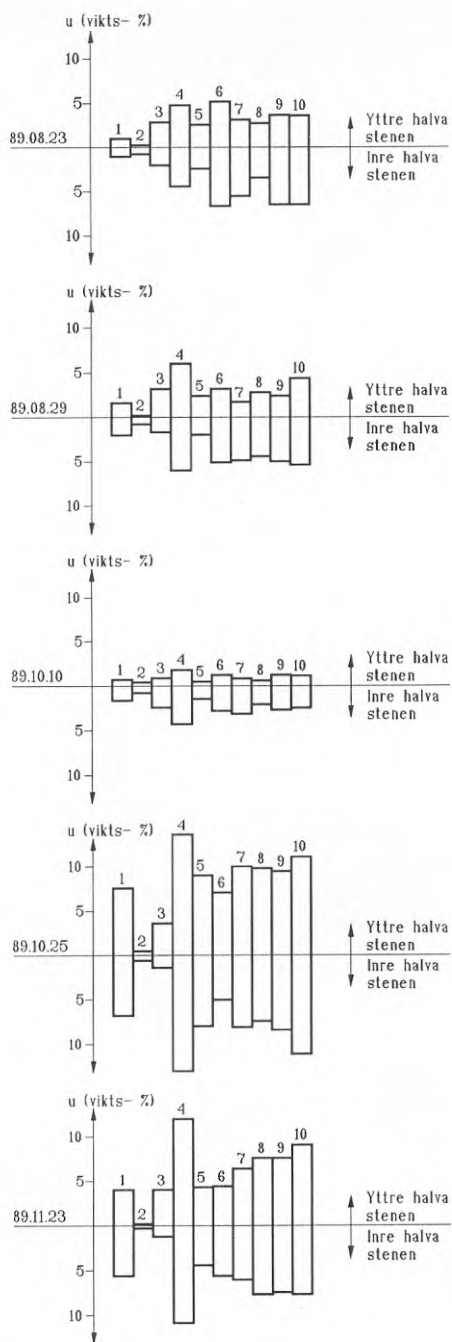
En annan frågeställning var luftspaltens betydelse för skalmurens fuktbalans. En jämförelse mellan väggar med brukstuggor (SV7 respektive NO3 och NO5) och väggar med 20 mm luftspalt och öppen stötfog visar att brukstuggorna inte har någon betydelse för fuktbalansen.

Vid en jämförelse mellan väggar med mineralull i stället för luftspalt (SV6 och SV10 respektive NO2) och övriga relevanta väggar framkommer heller ingen signifikant skillnad.

Skillnaden mellan en 20 mm luftspalt med öppen stötfog och 50 mm luftspalt med en hel sten utbytt mot galler som ventilationsöppning är obefintlig. Jämför till exempel SV5 med SV1-3 i FIG. 5:16 och SV5 med SV1 i FIG. 5:17.



Figur 5:16. Medelfuktkvoter i lösttagbara stenar i de olika väggfacken vid olika tider.



Figur 5:17. Fuktkvoter vid bormjölsmetod i yttre och inre halvan av tegelsten i de olika facken vid olika tider.

Den enda byggnadstekniska faktorn som haft väsentlig betydelse är ytbehandlingen av tegelskalet. Väggen med vattenavvisande behandling (SV2 i FIG. 5:17) är helt torr hela tiden. Även väggen med puts (SV3 i FIG. 5:17) avviker från de övriga väggarna. Skillnaden är störst då väggarna fuktas upp under inverkan av naturligt slagregn på hösten. Vattenabsorptionen i den putsade väggen är väsentligt mindre än i övriga väggar.

De väggar som utsatts för kompletterande slagregnsbelastning (SV8-10 och NO4-5) under den första mätperioden har generellt ett högre fukt-tillstånd. Detta är speciellt märkbart under "torra perioder". Under "fuktiga perioder" (höst och vinter) är skillnaden mindre, i vissa fall finns ingen skillnad. Detta är i och för sig självklart, eftersom väggarna i vissa fall blir kapillärmättade utan extra slagregn. Den extra slagregnsbelastningen medför alltså inte att väggarnas maximala fuktinnehåll ökar. Däremot medför den extra slagregnsbelastningen att väggarna får ett genomsnittligt högre fuktinnehåll och att väggarna förblir blöta under en längre tid.

5.5 Fukt och temperatur i luftspalt och isolering

Mätningarna har till omfattning och genomförande varierat kraftigt under försöksperioden. Ibland har fukttillstånd och temperatur mätts i många mätpunkter i ett fåtal fack. Vid andra tidpunkter har motsvarande mätningar gjorts i få mätpunkter i många fack. Vidare har ibland mätningar enbart gjorts i spalten och ibland enbart i isoleringen. Även tiden mellan mätningarna har varierat kraftigt, från någon minut till flera timmar. Avgörande för mätningens detaljgenomförande har alltid varit en konkret frågeställning, till exempel inverkan av spaltbredd eller ventilationsöppning. Någon sammanhängande mätning under hela mätperioden finns sålunda inte.

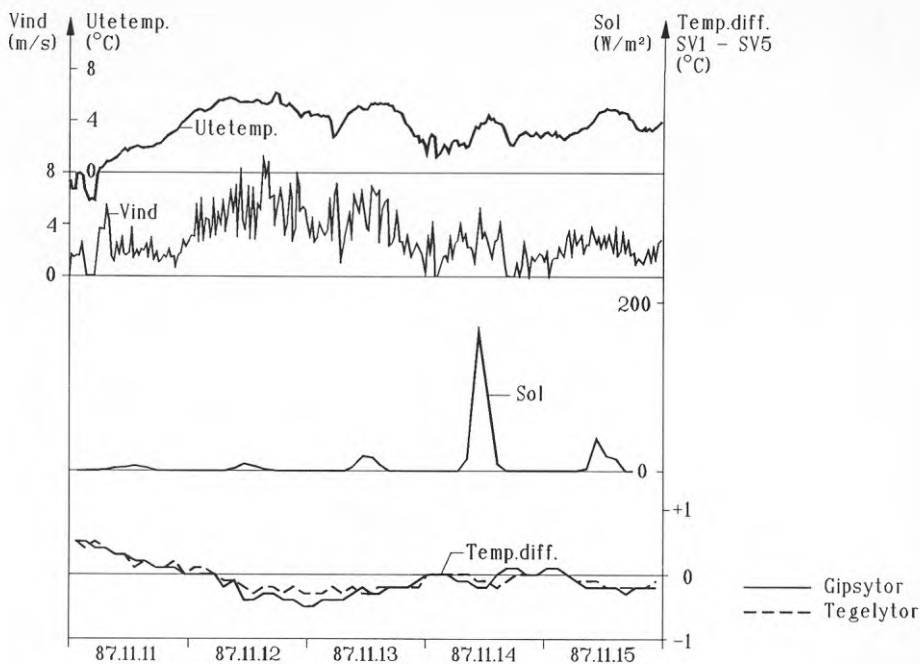
För att renodla resultatredovisningen behandlas i det följande temperatur och fukttillstånd för sig. Vidare behandlas spalten och isoleringen för sig.

5.5.1 Temperatur i luftspalten

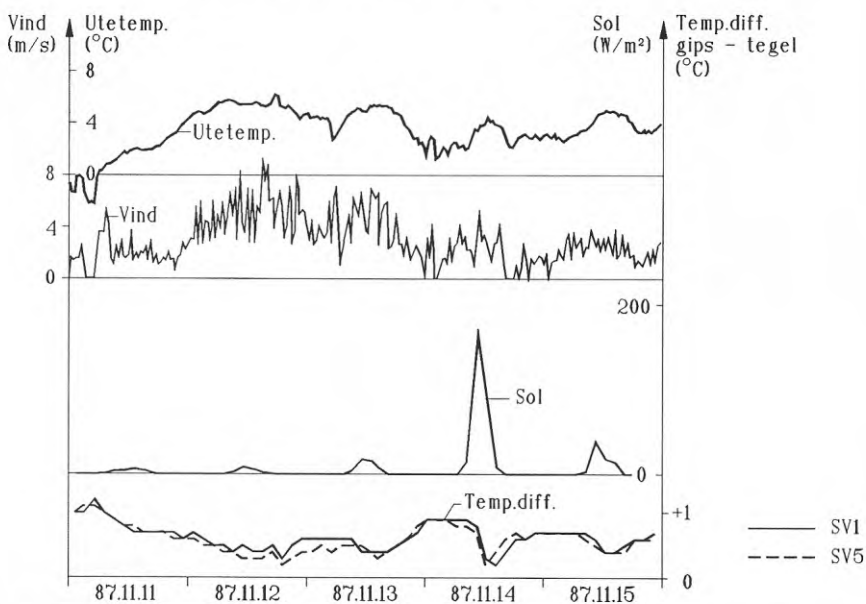
Under en stor del av mätperioden har temperaturen mätts på ytorna i luftspalten och i spaltluften i facken SV1 och SV5. Mätpunkterna var placerade på höjden 1.9 m nerifrån.

I FIG. 5:18 redovisas ett typiskt exempel på temperaturdifferenser mellan facken SV1 (20 mm spalt med öppen stötfog) och SV5 (50 mm spalt med ventilationsgaller). I figuren redovisas även utetemperatur, vindhastighet och solstrålning mot fasaden.

I FIG. 5:19 redovisas temperaturgradienten över luftspalten för facken SV1 och SV5 under samma period.



Figur 5:18. Uteklimat och skillnad mellan SV1:s och SV5:s yttemperaturer i luftspalten. Höst/vinterfallet.

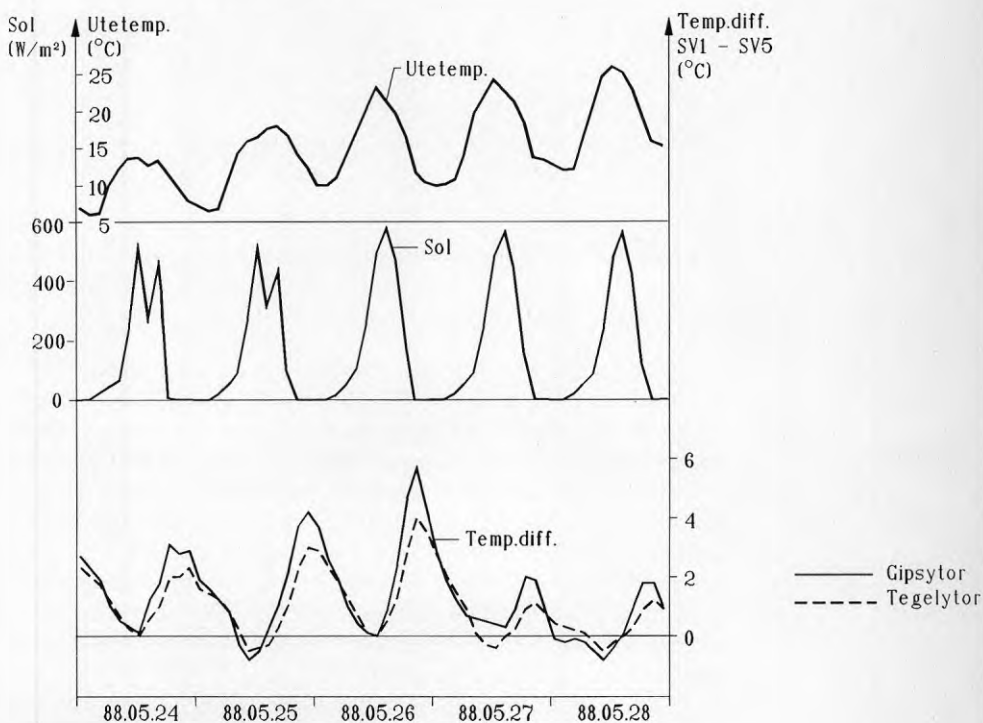


Figur 5:19. Uteklimat och temperaturskillnad mellan gips- och tegelytör i luftspalten, fack SV1 och SV5. Höst/vinterfallet.

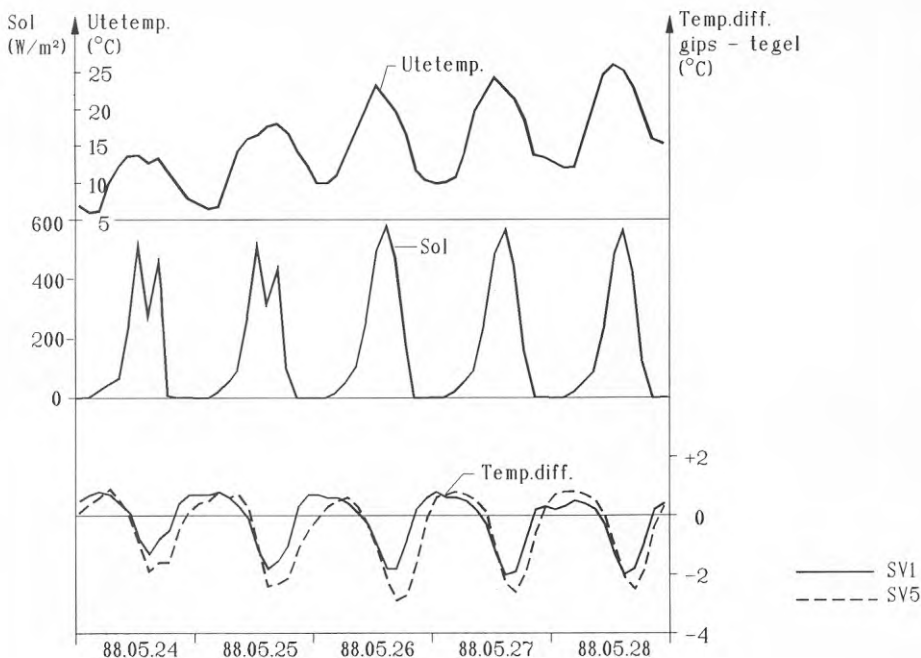
Enligt FIG. 5:18 är skillnaden mellan SV1 och SV5 obetydlig. Normalt är skillnaden några tiondels grader. Ibland är SV1 varmare och ibland SV5. Ventilationen har sålunda obetydlig inverkan på temperaturtillståndet i höst/vinterfallet.

Enligt FIG. 5:19 är gradienten över spalten i storleksordningen någon grad vid "vindstilla" och en utetemperatur kring noll grader. Vid kraftig vind blir skillnaden endast några tiondelar. Skillnaden mellan SV1 och SV5 är obetydlig. Den maximalt uppmätta skillnaden under vinterfallet uppgick till cirka 3°C i SV1 vid en utetemperatur på cirka -20°C. SV5 var vid detta tillfälle ur funktion.

FIG. 5:18 och 5:19 gäller ett typiskt höst/vinterklimat i Skåne. Motsvarande diagram för sommarfallet med kraftig solbestrålning redovisas i FIG. 5:20 och 5:21. Under denna period saknas dock exakta data på vindhastighet. Enligt SMHI var vindhastigheten 2-3 m/s under de två första dygnet och 3-8 m/s under de tre sista dygnet.



Figur 5:20. Utetemperatur, solstrålning och skillnad mellan SV1:s och SV5:s yttemperaturer i luftspalten. Sommarfallet.



Figur 5:21. Utetemperatur, solstrålning och temperaturskillnad mellan gips- och tegelytor i luftspalten, fack SV1 och SV5. Sommarfallet.

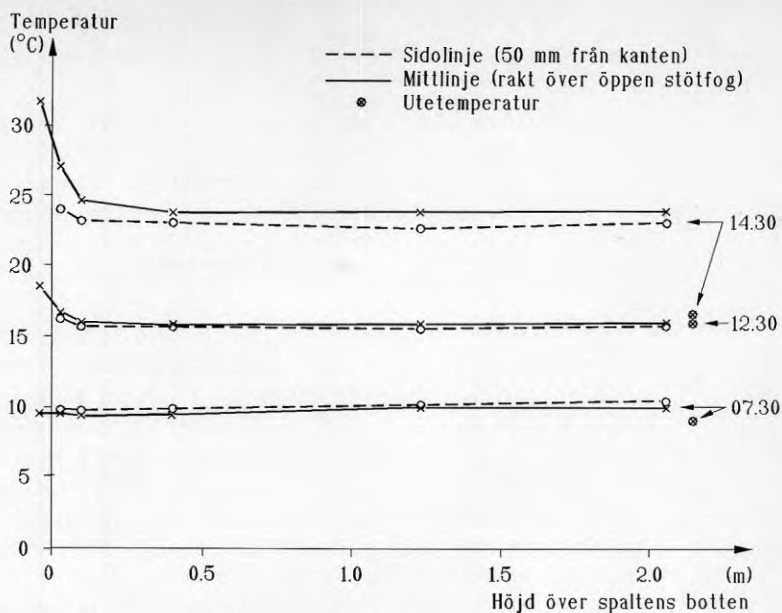
Enligt FIG. 5:20 blir den maximala skillnaden mellan SV1:s och SV5:s yttemperatur i spalten 4-6°C vid intensiv solstrålning. Det högre värdet gäller för gipsytorna. Att gipsytan uppvisar några grader större skillnad än tegelytorna är helt naturligt med hänsyn till att den kraftigare ventilationen i SV5 snabbt kan sänka temperaturen på gipsytan. Dessa tillfälliga toppar har dock kort varaktighet. I medeltal är skillnaden av storleksordningen 1-2°C under soliga dygn.

Den maximala temperaturgradienten över spalten uppgår enligt FIG. 5:21 till 2-3°C. Det högre värdet gäller för SV5 och det lägre för SV1.

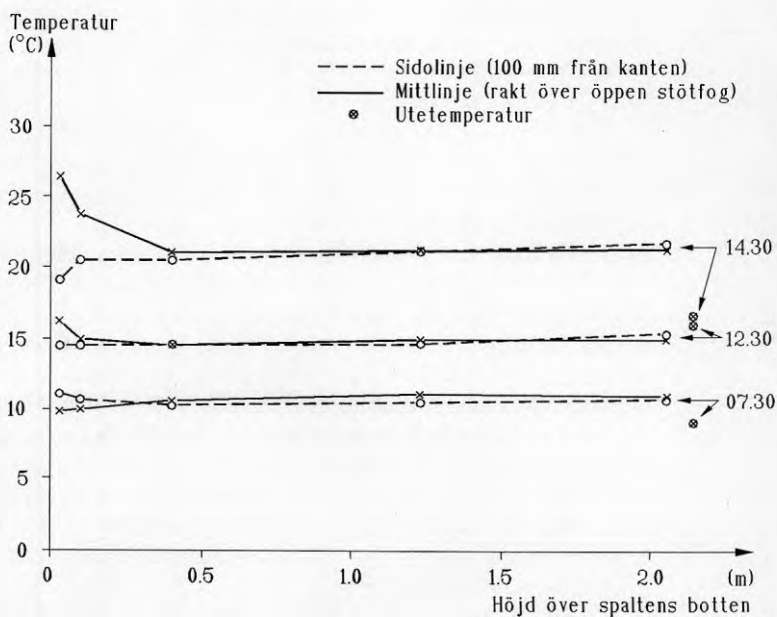
De högsta yttemperaturer som uppmätts i spalten under hela mätperioden har varit av storleksordningen 40°C.

FIG. 5:18-21 visar förhållandena i en punkt 1.9 m upp i spalten. För att studera temperaturskillnaden i höjd- och sidled gjordes under några olika klimatbetingelser mätningar i 15 olika punkter på respektive spalttyta. Dessa mätningar gjordes i fack SV3:2.

I FIG. 5:22 och 5:23 redovisas temperaturprofilerna i höjddled under en solig septemberdag med vindhastigheten 2-4 m/s. Vindriktningen pendlade mellan nordlig och ostlig.



Figur 5:22. Yttemperatur i höjddled på tegelytan mot luftspalten under en solig septemberdag, 890911. Mätpunkten till vänster om y-axeln är belägen i den öppna stötfogen. I fallet med temperaturen i fackmitt är mätpunkten på höjden 0.01 m placerad precis innanför den öppna stötfogen.



Figur 5:23. Yttemperatur i höjddled på gipsytan mot luftspalten en solig septemberdag, 890911.

Av figurerna framgår att temperaturskillnaderna är mycket små, både i höjd- och sidled, bortsett från lokala avvikelser vid ventilationsöppningarna. Vid kraftig blåst (4-8 m/s) eller mullet väder var skillnaden helt obetydlig.

Skillnaden i sidled är maximalt av storleksordningen någon grad. Sannolikt beror den uppmätta skillnaden på inverkan av köldbryggor i stolparna mellan de olika facken. Skillnaden i en verklig konstruktion torde vara mindre.

Den uppmätta temperaturskillnaden i höjded är ännu mindre, bortsett från lokala effekter vid ventilationsöppningar och köldbryggor. Temperaturen på den inströmmande luften är vid kraftig solbestrålning väsentligt högre än utetemperaturen (FIG. 5:22 kl 14³⁰). Denna luft värmer upp både tegelytan och gipsytan lokalt vid öppningen. Cirka 3 dm över öppningen har dock denna effekt försvunnit helt. Med en större ventilationsöppning och bredare luftspalt skulle denna störning möjligen ha haft större utsträckning. Amplituden på störningen torde dock bli mindre, eftersom den inströmmande luften inte hunnit värmas upp lika mycket.

Sammantaget gäller att temperaturgradienterna i spalten är små, bortsett från lokala fenomen vid ventilationsöppningar och köldbryggor.

Lufttemperaturen i spalten har i huvudsak mätts på samma höjd (1.9 m nerifrån) som yttemperaturerna. Även dessa mätningar visar normalt endast en marginell skillnad (mindre än 1°C) mellan SV1 och SV5. Under mycket soliga dagar förekommer dock kortvariga skillnader på några grader, i extremfall 5°.

Temperaturen i spaltluften ansluter väl till medeltemperaturen av tegel- och gipsytan. Tillfälliga avvikelser på någon grad kan förekomma.

För att studera gradienten i höjded mättes temperaturen i SV1 och SV5 även på höjden 0.7 m under en period.

Under mulna dagar är det ingen temperaturskillnad uppe-nere i SV1. Under soliga dagar skiljer det i normalfallet mindre än 1°C. Gradienten kan normalt vara riktad både uppåt och nedåt. I extremsituationer kan skillnaden uppgå till 2°C, varvid det alltid är varmare nedtill.

I SV5 är temperaturskillnaden större. Under mulna dagar är skillnaden cirka 2°C vid utetemperaturen 1-5°C. Härvid är det alltid varmare upptill. Under soliga dagar fås stora dygnsvariationer. Mitt på dagen/eftermiddagen minskar skillnaden kraftigt en kort stund. I många fall blir temperaturen till och med högre nedtill. Under eftermiddag/kväll ökar skillnaden snabbt igen för att på kvällen/natten uppgå till cirka 4°C.

Att gradienterna varierar på ovanstående sätt beror på en samverkan mellan vindpåverkan och termisk drivkraft. Att närmare analysera detta faller utanför ramen för aktuellt projekt. Sammanfattningsvis gäller att den smala luftspalten är relativt "trög" med små gradienter. I den breda luftspalten är gradienterna större, upp till 4°C. Lokalt vid ventilationsöppningar torde gradienterna bli ännu större.

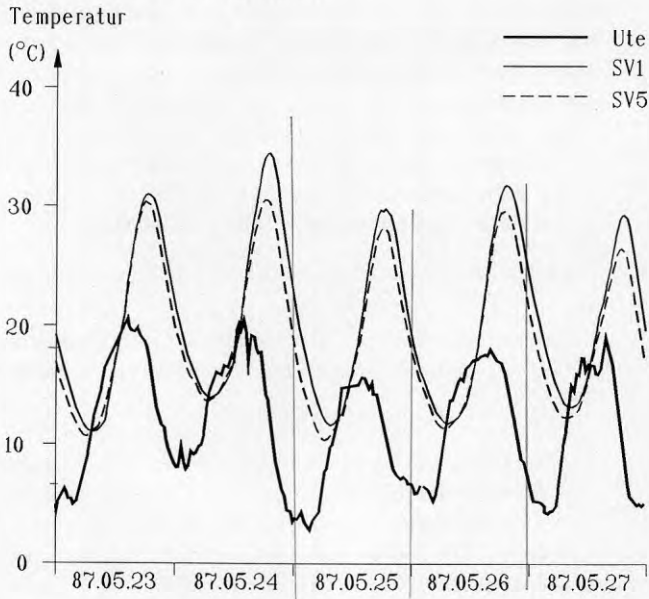
För att illustrera några temperaturtillstånd redovisas i det följande några typiska exempel.

I FIG. 5:24 visas temperaturen ute och uppe i spalten under en klar

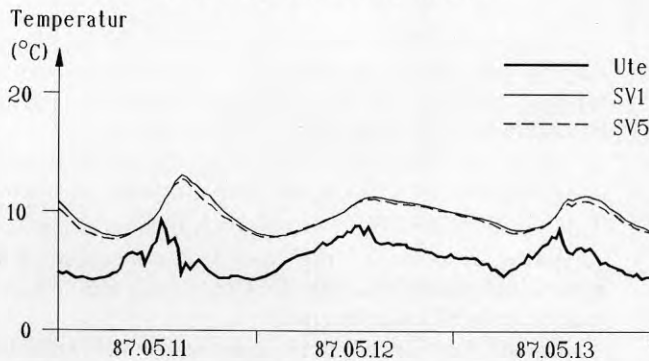
tidsperiod med kalla nätter och varma soliga dagar. Under dessa klimatförhållanden får man på förmiddagen en väsentligt lägre temperatur i spalten, jämfört med uteluften. På eftermiddagen gäller motsatsen. Temperaturdifferenserna mellan dag och natt enligt FIG. 5:24 är de största som uppmätts under hela mätperioden.

I FIG. 5:25 visas det andra extremfallet med små temperatursvängningar under en mulen tidsperiod.

Eftersom mätningarna inte pågått kontinuerligt går det inte att ange hur frekventa de olika situationerna är eller några medelvärden på temperaturdifferensen mellan uteluft och spaltluft.



Figur 5:24. Temperaturer i luftspalt och uteluft under period med stora temperatursvängningar.



Figur 5:25. Temperaturer i luftspalt och uteluft under period med små temperatursvängningar.

Den helt dominerande situationen är en övertemperatur i luftspalten jämfört med uteluften. Vid utetemperaturen cirka noll grader, lugnt och mulet ligger luftspaltens övertemperatur i storleksordningen 3-5°C. Vid en kraftig vind (5-10 m/s) blir övertemperaturen endast någon grad.

Antalet tillfällen med en lägre temperatur i spalten än i uteluften varierar kraftigt med årstiden. På vintern är situationen relativt ovanlig, möjligen inträffar den någon gång per månad. Varaktigheten är då mycket kort, några timmar.

På sommaren är frekvensen med stundtals lägre temperatur i spalten relativt hög. 15 dygn per månad är en rimlig uppskattning. Varkatigheten kan vara upp till 7-8 timmar. I medeltal över ett helt dygn är dock alltid spalttemperaturen högre än utomhustemperaturen. I TAB. 5:5 redovisas några exempel på medelvärdet av luftspaltens övertemperatur för några olika sammanhängande mätperioder.

Som synes råder i medeltal en ganska stor övertemperatur i luftspalten. Detta gäller främst vid perioder med ganska soliga dagar, men även vid mulna dagar är övertemperaturen relativt stor.

TAB 5:5. Exempel på spaltens övertemperatur jämfört med uteluften.

Mätperiod	Övertemperatur (°C)		Utetempe- ratur (°C)	Molnig- het (%)
	SV1	SV5		
31/3-9/4 1987	7.8	7.9	3.0	59
10/4-19/4 1987	5.7	5.7	5.7	77
6/5-15/5 1987	5.4	5.1	9.4	68
12/8-18/8 1987	5.8	5.2	14.8	75
3/10-11/10 1987	5.1	4.2	11.2	50
12/10-16/10 1987	2.9	2.4	11.5	89
1/11-7/11 1987	3.6	3.1	6.3	89

Temperaturerna i spalten med bredden 20 mm är lika i alla spalter utom i SV2:2 och SV3:2. Spalten i SV2:2 blir något varmare beroende på att tegelskalet alltid är torrt medan övriga tegelskal är fuktiga. Vid starkt solsken kan skillnaden bli cirka 5°C.

Spalten i SV3:2 uppvisar något mindre temperatursvängningar än övriga fack. Orsaken till detta är att putsen medför en större värmekapacitet. Effekten är dock marginell, maximalt 1°C.

5.5.2 Temperatur i isoleringen

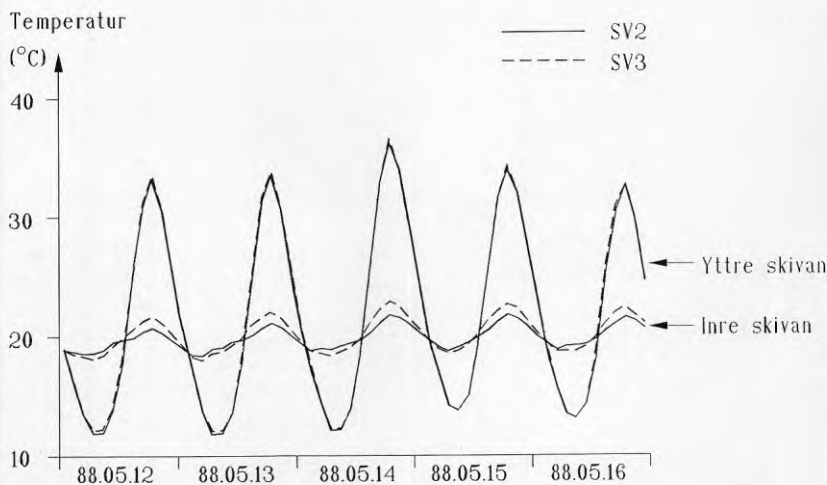
Temperaturen har mätts på gipsytorna mot isoleringen i facken SV2:1 (310 mm isolering) och SV3:1 (95 mm isolering) samt på olika djup i isoleringen i de flesta facken i SV-fasaden.

Temperaturerna på gipsytorna är främst av intresse för att bedöma kondensrisk (sommarfallet) och uttorkningsmöjligheter samt för att uppskatta de verkliga värmeflödena genom väggen.

Temperaturerna på olika djup i isoleringen har mätts främst för att (med utgångspunkt från uppmätt luftfuktighet) kunna beräkna ånghalten.

Under tiden november-mars har den inre gipsskivan alltid varit varmare än den yttre. Under april och oktober har den yttre gipsskivan vid enstaka tillfällen varit några grader varmare än den inre skivan.

Under perioden maj-september är det mycket vanligt att den yttre gipsskivan på eftermiddagen-kvällen har en väsentligt högre temperatur, upp till 15°C, än den inre gipsskivan. I FIG. 5:26 redovisas yttemperaturerna i SV2 och SV3 under en solig period i maj 1988. Skillnaden mellan SV2 och SV3 är marignell. Under den redovisade perioden är dygnsmedeltemperaturen på den yttre ytan högre än på den inre. Soliga dagar under tiden maj-september är denna situation mycket vanlig. I extremfall kan skillnaden i dygnsmedeltemperatur bli väsentligt större än enligt FIG. 5:26.



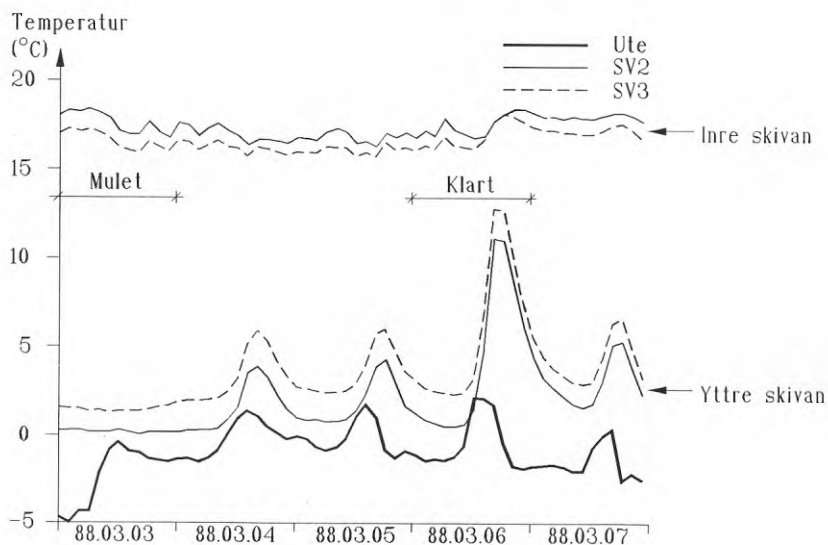
Figur 5:26. Temperaturer på gipsytorna mot isoleringen under en solig period.

Även under vintern medför sol- och himmelsstrålning mot fasaden att den yttre gipsskivan värms upp. Vid en traditionell beräkning av värmeflödet tas normalt ingen hänsyn till detta. Det verkliga värmeflödet är sålunda mindre än det som beräknas med utgångspunkt från enbart utetemperatur. I FIG. 5:27 illustreras förhållandena under några typiska vinterdygn. Inverkan av solstrålningen är som synes avsevärd.

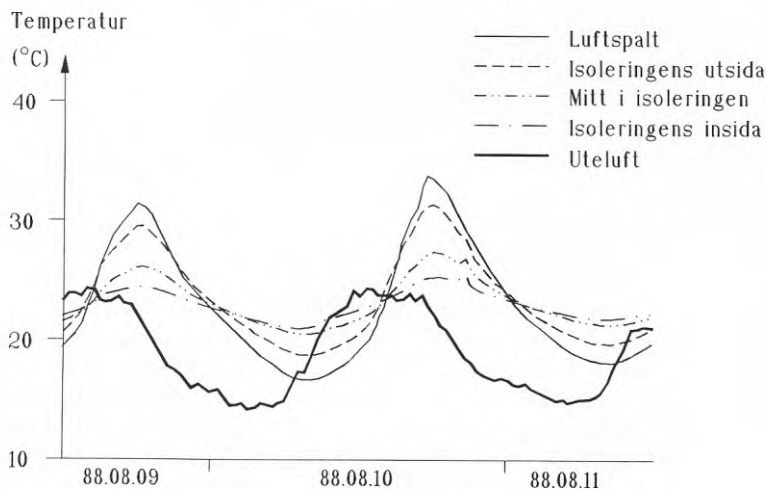
Under tiden 880725-880812 gjordes en detaljmätning av temperaturerna på olika djup i isoleringen i facken SV8:1 och SV9:1. Under tiden 880902-881105 mättes temperaturerna i isoleringens ut- respektive insida i facken

SV5:1, SV6:1, SV7:1, SV8:1 och SV9:1. Under tiden 890601-890710 gjordes den senare mätningen i samtliga SV-fack. Syftet med dessa mätningar var främst att studera risken för sommarkondens.

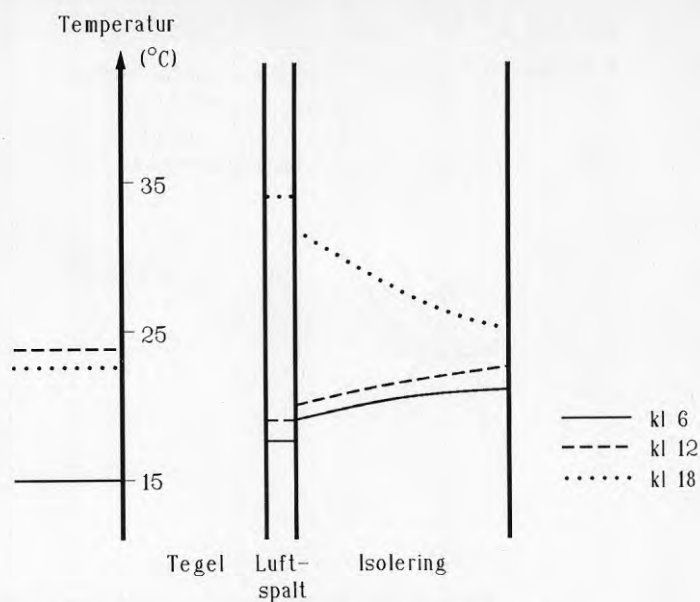
I FIG. 5:28 redovisas ett typisk temperaturförlopp i SV8:1 under några soliga sommardyggn. Motsvarande temperaturprofiler under det andra dygnet redovisas i FIG. 5:29.



Figur 5:27. Temperaturer på gipsytorna mot isoleringen under en typisk vinterperiod.



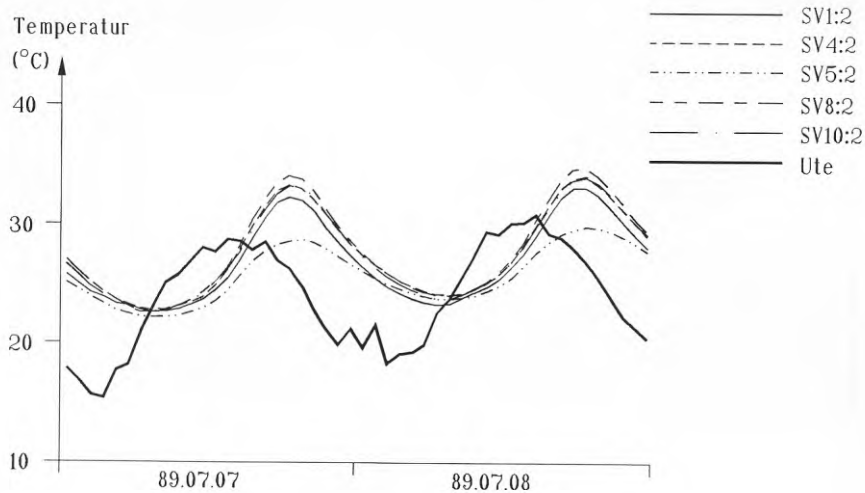
Figur 5:28. Temperaturförhållanden i SV8:1 i uteluft, luftspalt och isolering under soliga sommardyggn.



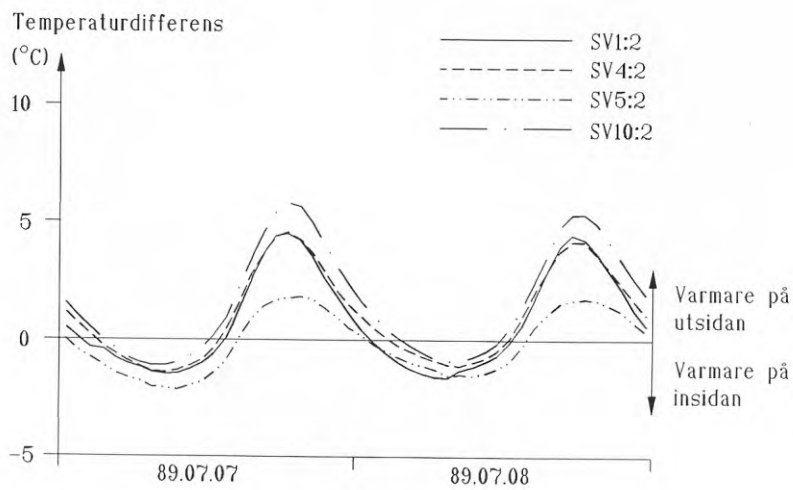
Figur 5:29. Temperaturprofiler under soligt sommar dygn (880810) i SV8:1.

Mätningarna av temperaturerna i isoleringens ut- respektive insida visar ingen väsentlig skillnad mellan olika konstruktioner bortsett från en konstruktion, nämligen facket SV5, som har bred luftspalt och stor ventilationsöppning. I detta fack blir temperaturen i isoleringens utsida inte lika hög vid kraftig solstrålning som i de andra facken. Förhållandena illustreras i FIG. 5:30 för facken med smal luftspalt med öppen stötfog (SV1:2 och SV8:2), smal luftspalt utan ventilationsöppning nedtill (SV10:2), utan luftspalt (SV4:2) samt bred luftspalt med ventilgaller nedtill (SV5:2). Enligt figuren blir maxtemperaturen i facket med bred luftspalt cirka 3-5°C lägre än i de övriga facken. Skillnaden mellan övriga fack är maximalt $\pm 1^\circ\text{C}$. Detta gäller även de fack som inte redovisas i figuren. Denna variation hos de övriga facken måste anses ligga inom mätnoggrannheten (inverkan av givarnas spridning, givarnas placering i djupled, oavsiktlig variation i väggkonstruktion etc) vid de tillfälliga temperaturopparna.

Avgörande för kondensrisken är relationen mellan temperaturerna i isoleringens ut- respektive insida. I FIG. 5:31 redovisas temperaturskillnaden mellan ut- och insidan i facken SV1:2, SV4:2, SV5:2 och SV10:2 för samma tidsperiod som i FIG. 5:30. Som synes är skillnaden mellan ut- och insida i medeltal kring 0°C för SV5:2, medan de övriga facken har en klar övertemperatur på utsidan. Att skillnaden i SV4:2 är mindre än SV10:2 kan delvis förklaras med (förutom mätnoggrannhet) att det förekom kondensation i SV4:2, vilket höjer temperaturen på insidan.



Figur 5:30. Temperaturer i isoleringens utsida under soliga sommardygn.



Figur 5:31. Temperaturdifferenser mellan ut- och insidan i isoleringen under soliga sommardygn.

5.5.3 Fukttillstånd i luftspalten

Under större delen av 1987 mättes luftfuktigheten i luftspalterna i facken SV1:1 och SV5:1. Dessa mätningar gjordes på höjderna 0.7 och 1.9 m nerifrån.

Under sommaren-hösten 1988 mättes luftfuktigheten på höjden 1.9 m nerifrån i facken SV1:1, SV5:1, SV8:1 och SV9:1. Under sommaren 1989 gjordes motsvarande mätningar i facken SV1:2, SV2:2, SV3:2 och SV5:2.

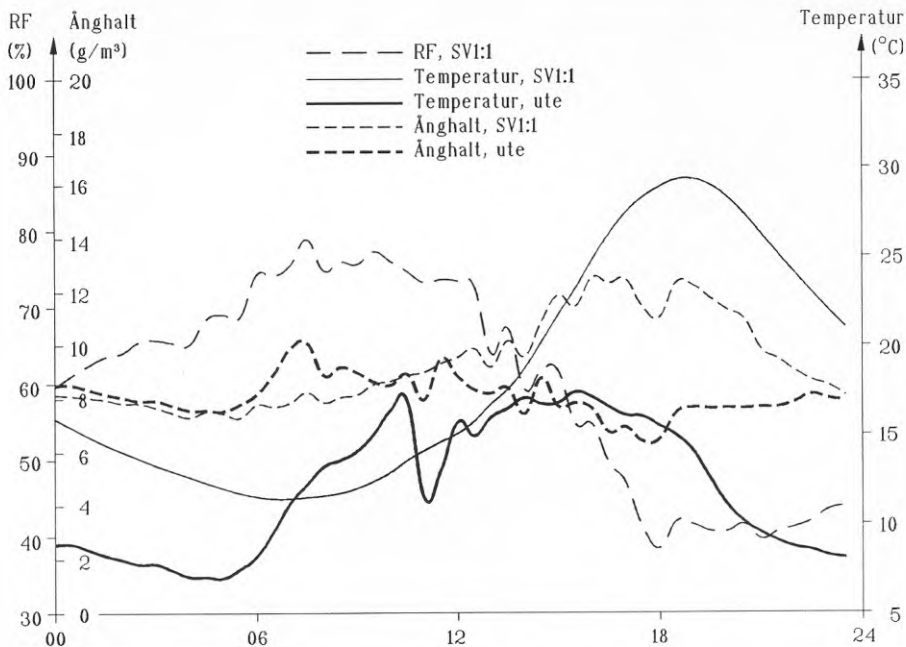
Mätningarna på olika höjd visar att i höjddled är skillnaden i medeltal mycket liten. I facket SV1:1 är fuktigheten i den övre mätpunkten i medeltal några procentenheter högre än i den nedre mätpunkten. I facket SV5:1 gäller motsatsen. Skillnaden är så liten att den tangerar mätnoggrannheten. Vid enstaka tillfällen, främst i samband med snabba temperaturvariationer, kan skillnaden i höjddled uppgå till 15-20 procentenheter. Varaktigheten av dessa toppar är mycket kort, några timmar. Riktningen på dessa tillfälliga gradienter kan vara både uppåt- och nedåtriktad.

Även ånghaltsskillnaden i höjddled är normalt liten. Under mätperioderna april-maj och oktober-november hade den övre mätpunkten i medeltal 0.2-0.3 g/m³ högre ånghalt. Denna siffra är dock mycket osäker med hänsyn till fuktsensorernas noggrannhet. Ett mätfel på ±2% RF och ±0.3°C ger vid 10°C ett fel i ånghalt som är större än den angivna siffran! I praktiken är skillnaden i höjddled försumbar. Lokalt vid öppningar torde dock skillnaden vara väsentligt större. I höga byggnader är det möjligt att skillnaden blir större. Det är dock inte självklart att så är fallet.

Vid enstaka tillfällen, främst under klara dygn, kan skillnaden bli större. En skillnad på 2-3 g/m³ är inte ovanlig. Oftast är härvid ånghalten högre upptill. Under mycket korta perioder, några timmar, kan den nedre mätpunkten ha en högre ånghalt. Storleken och riktningen på ånghaltsgradienten bestäms av uteluftens ånghalt och temperatur, spaltens temperatur, teglets fukttillstånd samt vindförhållandena. Utförda mätningar är inte tillräckligt omfattande för att tillåta ett detaljstudium av de olika faktorernas inverkan.

Generellt gäller att ånghaltsskillnaden i höjddled är något större i SV1. Fluktuationerna är däremot snabbare i SV5. Detta är helt naturligt eftersom ventilationen är kraftigare i SV5. Ur praktisk synvinkel saknar skillnaden mellan SV1 och SV5 betydelse. Möjligen kan skillnaden få större betydelse i höga byggnader.

Även om utförda mätningar inte var avsedda för att detaljstudera inverkan av olika faktorer framgår vissa mekanismer vid några tillfällen. Ett exempel på detta visas i FIG. 5:32 för facket SV1. I detta fall är skalmuren "torr". På morgonen/förmiddagen är spaltluften kallare än uteluften. Den termiska drivkraften/vindpåverkan ger ett nedåtriktat luftflöde och den från början fuktiga luften blir torrare nedåt i spalten, beroende på att tegel/gips absorberar fukt från spaltluften.



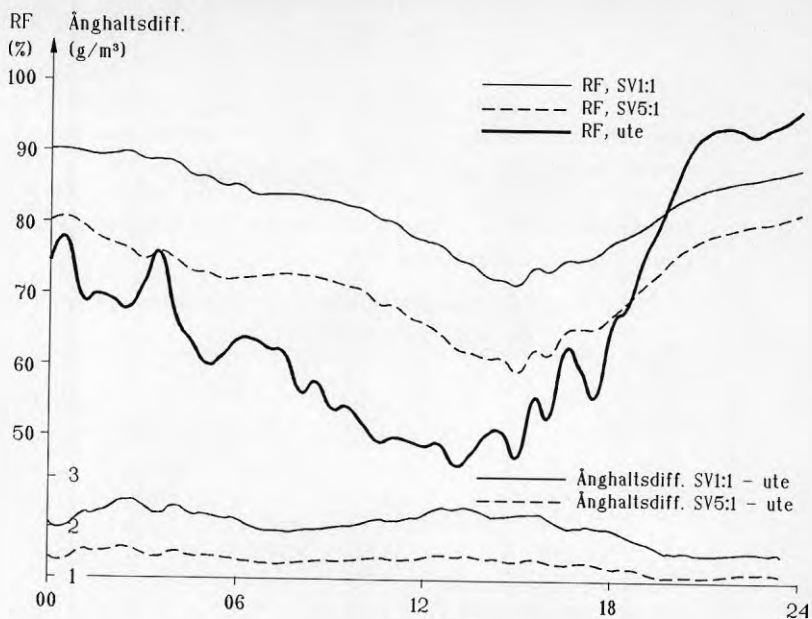
Figur 5:32. Exempel på klimatvariationer i uteluft och spaltluft under ett dygn. SV1:1. 1987-08-12.

På kvällen gäller motsatsen. Spalten har en högre temperatur och luftflödet blir uppåtriktat. Den höga temperaturen i tegel/gips medför att ånghalten stiger (för att bibehålla en given relativ fuktighet). Följden av detta blir en avdunstning från tegel/gips, vilket ger en ökande ånghalt uppåt i spalten.

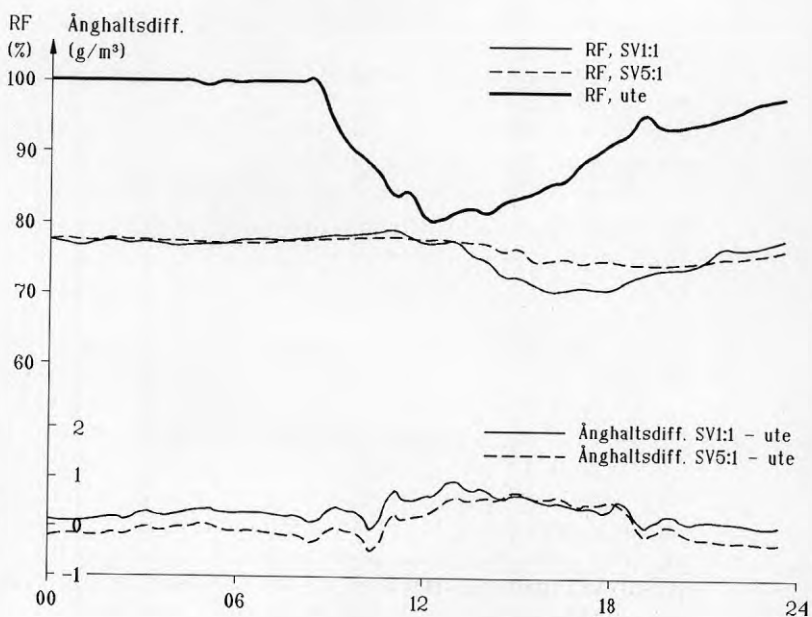
Enligt det föregående är skillnaden i höjdled liten och i det följande redovisas enbart fuktillståndet på höjden 1.9 m nerifrån. Erhållna resultat är naturligtvis helt beroende av det yttre klimatet (vilket bland annat påverkar skalmurens fuktillstånd) och får sålunda inte betraktas som generella.

Under 1987 registrerades fuktillståndet under naturliga förhållanden i facken med 20 mm luftspalt och en stötfog som öppning nedtill (SV1:1) respektive 50 mm luftspalt och en sten utbytt mot ventilationsgaller (SV5:1).

I FIG. 5:33-34 redovisas två typiska exempel på fuktillståndet under två mulna dygn. Utetemperaturen är ungefär densamma, cirka +5°C. Den väsentliga skillnaden i de yttre betingelserna är att vid mätningen 28/3 var skalmuren "blöt" medan väggen var "torr" den 2/11. Av figurerna framgår att när väggen är torr så blir RF-nivån lägre i spalten än ute. Denna skillnad är relativt stor den 2/11. Trots att det är cirka 100% RF utomhus så blir RF-nivån i spalten endast 80%. Är däremot skalmuren blöt gäller motsatsen, det vill säga att spaltluften blir fuktigare än uteluften.



Figur 5:33. Relativ fuktighet respektive ånghaltsskillnad mellan spaltluft och uteluft. 1987-03-28. "Blöt" skalmur.



Figur 5:34. Relativ fuktighet respektive ånghaltsskillnad mellan spaltluft och uteluft. 1987-11-02. "Torr" skalmur.

FIG. 5:33-34 gäller för mulna dagar. Under soliga perioder blir förhållandena helt annorlunda. I vissa fall blir skillnaden mycket stor. Detta redovisas senare i samband med mätningarna 1989.

För att få en uppfattning om förhållandena på lång sikt redovisas i TAB. 5:6 medelvärden av relativ luftfuktighet och ånghaltsskillnad för alla sammanhängande mätperioder 1987.

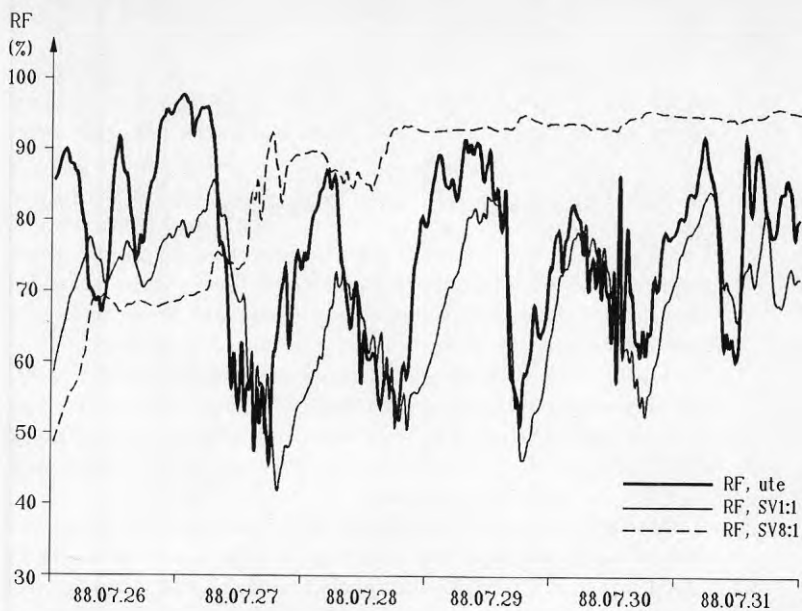
TAB 5:6. Medelvärden av relativ luftfuktighet och ånghaltsskillnad mellan spalt och utomhus, 1987.

Mätperiod	Relativ luftfuktighet (%)			Ånghaltsskillnad (g/m ³)	
	Ute	SV1	SV5	SV1-ute	SV5-ute
28/3-5/4	70	85	61	3.5	1.4
6/4-15/4	77	85	65	2.9	1.2
16/4-25/4	67	75	62	2.9	1.4
6/5-15/5	64	67	62	2.4	1.5
16/5-25/5	59	63	57	2.9	1.7
26/5-2/6	64	60	57	2.1	1.4
12/8-18/8	-	66	65	0.4	-0.2
3/10-11/10	84	64	63	0.3	0
12/10-21/10	96	76	74	0.3	-0.3
1/11-10/11	96	80	76	0.6	0
11/11-20/11	98	89	86	0.7	0.3
21/11-30/11	95	92	90	1.3	0.8
Medelvärde	79	76	69	1.7	0.8

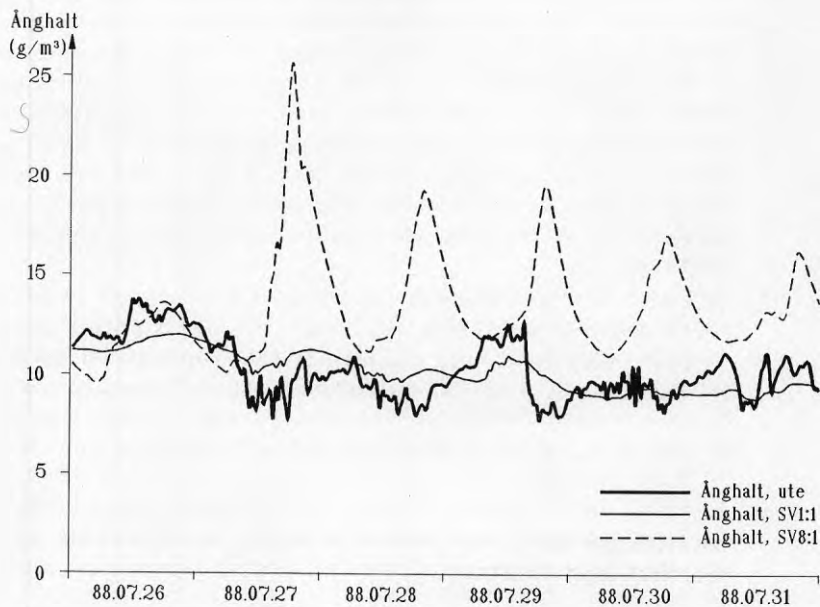
Under 1988 registrerades fuktillståndet i facken SV1:1, SV5:1, SV8:1 och SV9:1. Facken SV1:1 och SV5:1 är desamma som tidigare. Facken SV8:1 och SV9:1 är identiska med SV1:1 bortsett från att SV8:1 har en plexiglasskiva på insidan i stället för gips.

Den väsentliga skillnaden mellan facken är att SV8:1 och SV9:1 utsattes för daglig vattenbegjutning under tiden 880727-881028. Facket SV5:1 utsattes för daglig vattenbegjutning 880901-991028. Dessa 3 fack har under en stor del av mätperioden varit helt blöta, medan SV1:1 inte utsattes för någon extra vattenbelastning och sålunda varit väsentligt torrare.

I FIG. 5:35-36 visas relativ luftfuktighet respektive ånghalt i uteluften och spaltluften i facken SV1:1 och SV8:1 den närmaste tiden efter det att bevattningen påbörjades (880727) på SV8:1. Som synes reagerar spaltluften praktiskt taget direkt.



Figur 5:35. Relativ luftfuktighet i uteluft och spaltluft, SV1:1 respektive SV8:1. 880726-880731.



Figur 5:36. Ånghalt i uteluft och spaltluft, SV1:1 respektive SV8:1. 880726-880731.

I FIG. 5:37-38 visas motsvarande resultat för uteluft, SV1:1 och SV5:1 då bevattningen på SV5:1 påbörjades (880901). Som synes finns det här några dygns förskjutning mellan bevattningens påbörjan och ökningen av fukttillståndet i luftspalten SV5:1. Detta beror på att det var mulet fram till 3/9. Härefter var det delvis soligt, vilket medförde en övertemperatur i tegelskalet. Detta ger i sin tur högre ånghalt med tillhörande diffusion inåt. I FIG. 5:35-36 var det soligt från början. Den smala och breda luftspalten reagerar sålunda på i princip samma sätt för en yttre vattenbelastning. Vidare är reaktionen mycket snabb och man når höga fukttillstånd i spalten även om endast den yttre delen av skalmuren är blöt.

I FIG. 5:49-40 visas ett exempel på fukttillståndet i samtliga fack där mätningar gjorts under en period då alla fack utom SV1:1 var blöta. Som synes är fuktförhållandena likartade i de tre facken med blöt skalmur. Väggekonstruktionen har sålunda ingen större betydelse. Regn och solsken har däremot en avgörande betydelse.

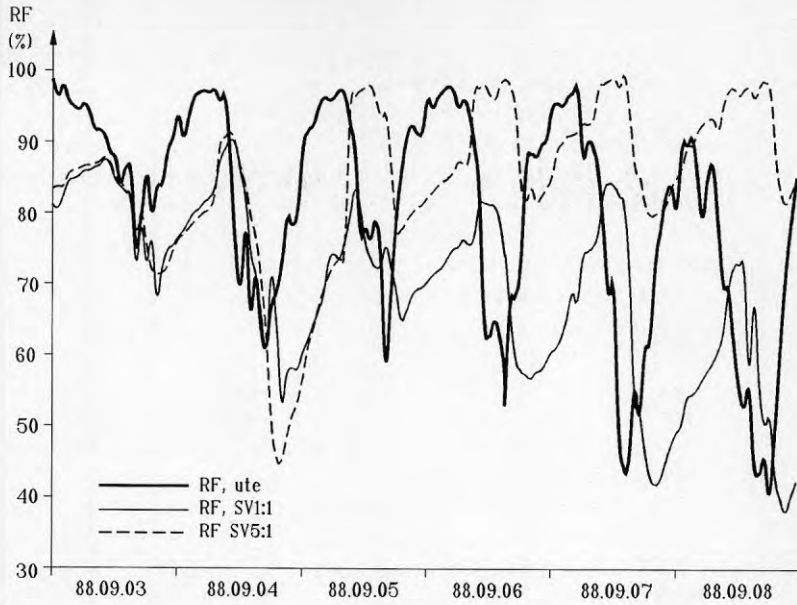
Medelvärden av relativ luftfuktighet och ånghaltskillnad mellan spaltluft och uteluft för alla sammanhängande 4-5-dygnsperioder under 1988 redovisas i TAB. 5:7-8. Av tabellen framgår att det tar cirka två veckors daglig vattenbelastning för att spaltluften i SV5:1, SV8:1 och SV9:1 skall nå en konstant RF cirka 98-100%.

Så länge skalmuren i SV1:1 är någorlunda torr blir RF i spaltluften alltid lägre än RF utomhus. Ånghalten är däremot högre än utomhus. Detta är helt naturligt eftersom skalmuren inte är helt torr, varför det sker en viss avdunstning. Att den relativa luftfuktigheten är lägre i spalten är också naturligt, eftersom spalten har en övertemperatur jämfört med uteluften.

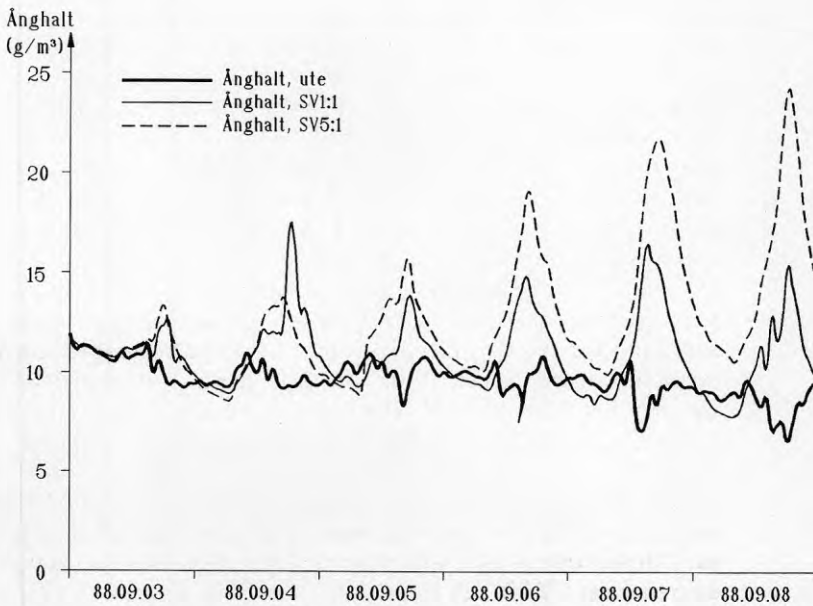
Slutet av september och början av oktober är en regnrik period med vindar mellan syd och väst, vilket medför att även SV1:1 blir blöt. Detta visar sig också i TAB. 5:7-8 genom att fukttillståndet i SV1:1 två veckor efter det att den regniga perioden startade blir i stort sett identiskt med fukttillståndet i de andra facken. Den dagliga bevattningen är sålunda inte något extremfall. Motsvarande situation kan mycket väl uppstå efter någon veckas regn.

Under 1989 gjordes mätningar enbart för att studera extremfallet med kraftig solbestrålning på en blöt vägg. Mätningar gjordes på de tidigare använda väggarna SV1 och SV5 samt på två nya väggtyper. De nya väggtyperna har samma konstruktion som SV1 men har ytbehandlats på utsidan. Den ena har behandlats med en vattenavvisande impregnering (SV2:2) och den andra har putsats med 2 mm grundningsbruk och 10 mm Gullex B-bruk (SV3:2).

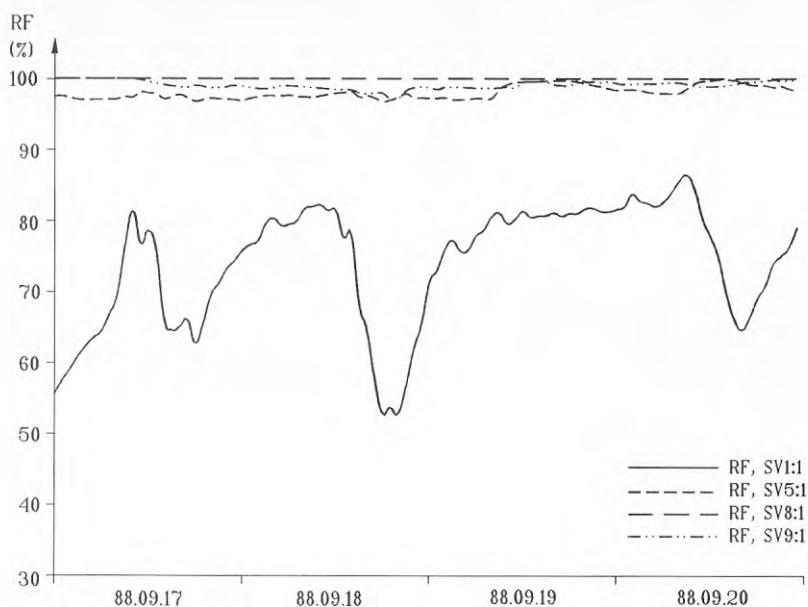
I FIG. 5:41 redovisas luftspalternas temperatur- och fukttillstånd under den mest extrema mätperioden med kraftig vattenbelastning och soliga dagar. Medelvärdena på fukttillståndet under alla sammanhängande mätperioder redovisas i TAB. 5:9-10.



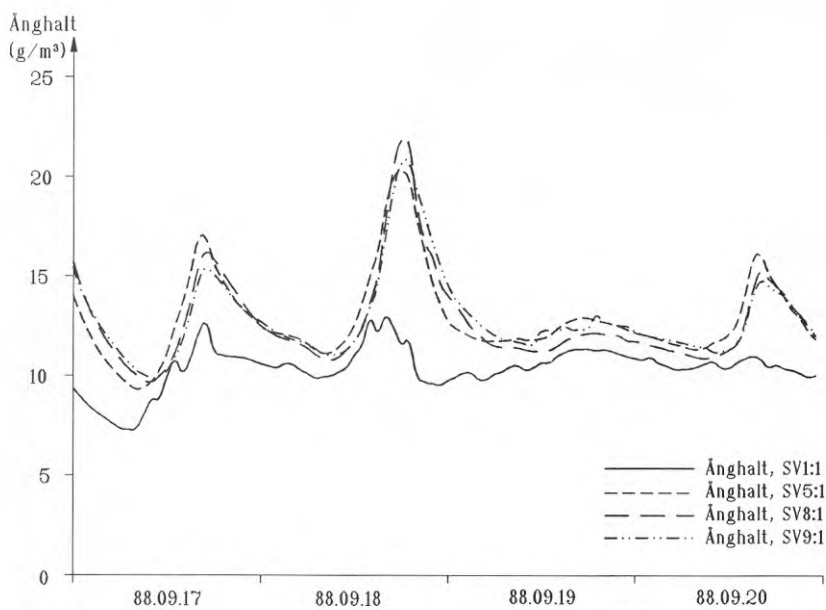
Figur 5:37. Relativ luftfuktighet i uteluft och spaltluft, SV1:1 respektive SV5:1. 880903-880908.



Figur 5:38. Ånghalt i uteluft och spaltluft, SV1:1 respektive SV5:1. 880903-880908.



Figur 5:39. Relativ luftfuktighet i spaltluften hos alla fack där mätning gjorts. 880917-880920.



Figur 5:40. Ånghalt i spaltluften hos alla fack där mätning gjorts. 880917-880920.

TAB 5:7. Medelvärden av relativ luftfuktighet (%) i uteluft och spaltluft, 1988.

Mätperiod	Ute	SV1:1	SV5:1	SV8:1	SV9:1
26/7-29/7	76	67	66	81 ¹⁾	83 ¹⁾
30/7-2/8	77	69	68	95	96
3/8-7/8	80	75	73	97	97
8/8-11/8	75	57	59	99	99
3/9-6/9	85	74	81 ²⁾	100	100
7/9-11/9	78	62	92	100	100
12/9-15/9	87	77	97	100	100
16/9-20/9	83	74	98	100	99
22/9-26/9	88	83	100	100	100
27/9-1/10	86	91	100	100	100
2/10-6/10	88	93	99	100	100
7/10-11/10	88	95	100	100	-
12/10-16/10	98	98	100	100	-
17/10-21/10	92	98	100	100	-
22/10-26/10	86	97	99	100	-
27/10-31/10	85	96	98	100	-
1/11-5/11	84	93	98	100	-

Anm. 1) Daglig bevattning påbörjad 880727

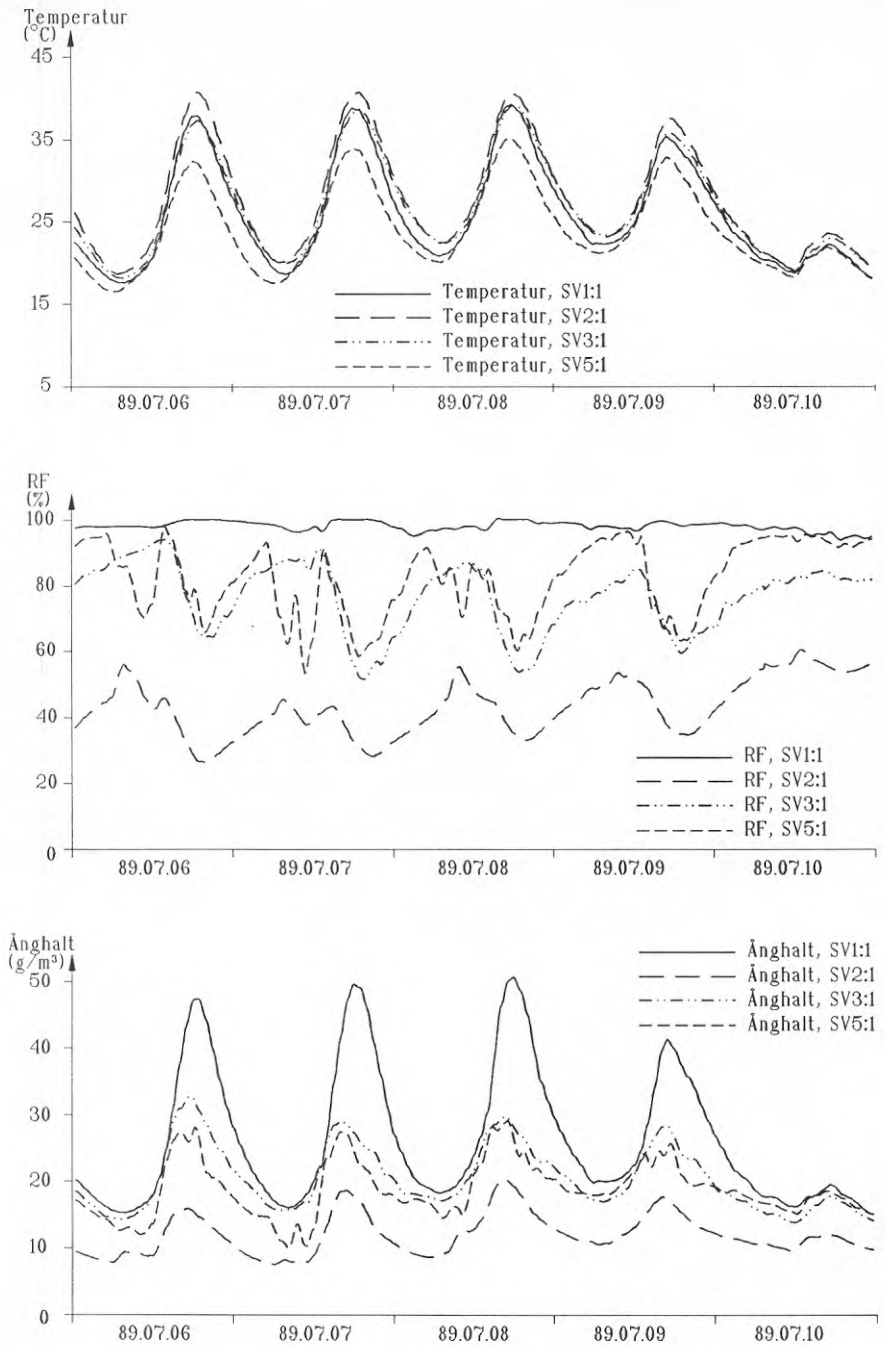
2) Daglig bevattning påbörjad 880901

TAB 5:8. Medelvärden av ånghaltsskillnad (g/m³) mellan luftspalt och uteluft, 1988.

Mätperiod	SV1:1	SV5:1	SV8:1	SV9:1
26/7-29/7	1.5	1.6	3.2 ¹⁾	3.6 ¹⁾
30/7-2/8	1.4	1.5	4.9	5.2
3/8-7/8	1.1	1.2	3.6	3.9
8/8-11/8	1.9	2.1	9.4	9.7
3/9-6/9	1.1	1.4 ²⁾	4.0	4.2
7/9-11/9	1.2	5.0	6.6	6.7
12/9-15/9	1.3	3.8	4.1	4.3
16/9-20/9	0.5	2.8	3.2	3.3
22/9-26/9	0.4	1.8	1.3	1.7
27/9-1/10	1.2	1.9	1.4	1.8
2/10-6/10	3.6	3.6	3.4	3.7
7/10-11/10	1.9	2.2	-	-
12/10-16/10	1.4	1.3	-	-
17/10-21/10	2.8	2.6	-	-
22/10-26/10	2.6	2.2	-	-
27/10-31/10	2.3	2.1	-	-
1/11-5/11	1.8	1.7	-	-

Anm. 1) Daglig bevattning påbörjad 880727

2) Daglig bevattning påbörjad 880901



Figur 5.41. Temperatur- och fuktillstånd i spaltluften vid kraftig vattenbelastning och solsken. 890706-890710.

TAB 5:9. Medelvärden av relativ luftfuktighet (%) i uteluft och luftspalt, 1989.

Mätperiod	Ute	SV1:2	SV2:2	SV3:2	SV5:2
1/6-5/6	73	56	59	56	60
6/6-10/6	79	70	64	66	78
11/6-15/6	59	82	50	61	87
16/6-20/6	59	90	50	69	89
21/6-25/6	64	89	53	78	93
1/7-5/7	59	98	47	84	91
6/7-10/7	57	98	44	77	82
Medelvärde	64	83	52	70	83

TAB 5:10. Medelvärden av ånghaltsskillnad (g/m^3) mellan luftspalt och uteluft, 1989.

Mätperiod	SV1:2	SV2:2	SV3:2	SV5:2
1/6-5/6	0.3	0.7	0	0.5
6/6-10/6	1.6	0.5	0.5	1.9
11/6-15/6	7.4	1.9	3.3	6.5
16/6-20/6	8.6	1.5	4.6	7.0
21/6-25/6	7.2	1.1	5.4	6.7
1/7-5/7	11.7	1.7	8.2	7.4
6/7-10/7	14.8	1.4	9.7	7.9
Medelvärde	7.4	1.2	4.5	5.4

Enligt FIG. 5:41 blir fuktillståndet i väggen med vattenavvisande fasadbehandling mycket lågt. Detta är helt naturligt eftersom det inte finns någon fukt som kan avdunsta in i luftspalten. I den smala luftspalten (SV1:2) är fuktillståndet enligt FIG. 5:41 mycket högt. Ventilationen i denna spalt är sålunda inte tillräcklig! I den breda luftspalten (SV5:2) blir däremot fuktillståndet relativt lågt. I denna luftspalt får man sålunda en hyfsad ventilation. Den kraftiga ventilationen fås tack vare en stor termisk drivkraft. Denna väggtyp är sålunda "självreglerande" eftersom en ökande väggtemperatur ger en ökande ventilation. Om inte ventilationen ökar med ökande temperatur höjs fuktillståndet kraftigt i väggen. En bred luftspalt med stora ventilationsöppningar är alltså en bra "säkerhetsventil" mot tillfälliga höga fuktillstånd. Den gynnsamma inverkan av den kraftiga

ventilationen förstärks av att även temperaturen i denna spalt blir väsentligt lägre än i de andra spalterna. När den kraftiga solbestrålningen upphör (10/7) ökar fukttillståndet snabbt i SV5:2 och spalten blir i stort sett likvärdig med SV1:2.

TAB. 5:10-11 visar putsens gynnsamma inverkan för att sänka fukttillståndet. Putsens största betydelse är att den fördröjer processen mycket kraftigt. Trots att aktuella mätningar är gjorda under mycket extrema förhållanden så blir fukttillståndet relativt lågt i spalten med putsad skalmur. Under praktiska förhållanden torde inverkan av putsen vara ännu gynnsammare.

5.5.4 Fukttillstånd i isoleringen

Under tiden 26/7-11/8 1988 mättes fukttillståndet på 3 olika djup (insidan, mitten och utsidan) i isoleringen i facken SV8:1 och SV9:1.

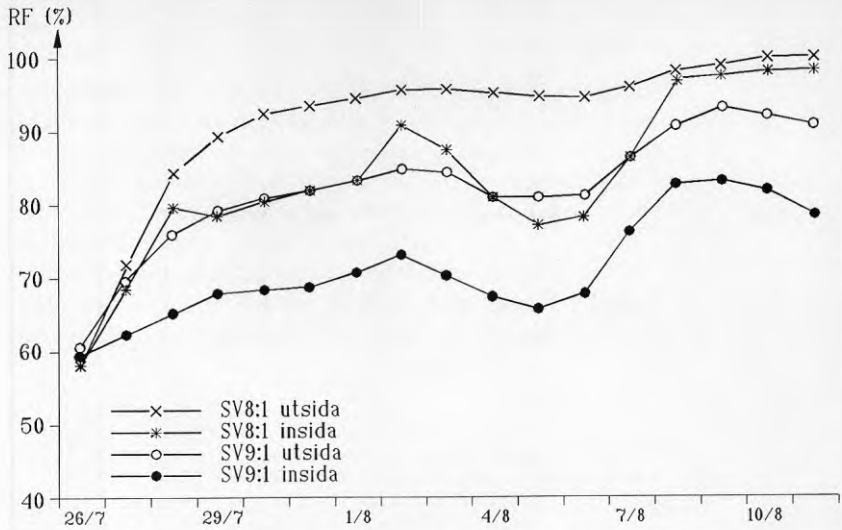
Under tiden 3/9-5/11 1988 mättes fukttillståndet i in- och utsidan av isoleringen i facken SV5:1-SV9:1.

I juli 1988 var skalmurarna mycket torra. För att höja fukttillståndet bevattnades väggarna dagligen under större delen av mätperioden. SV8:1 och SV9:1 bevattnades under tiden 27/7-28/10 medan de övriga väggarna bevattnades under tiden 1/9-28/10. Observera att den tid väggarna varit blöta inte är densamma för SV5:1-SV7:1 respektive SV8:1-SV9:1. Direkta jämförelser mellan dessa två grupper kan sålunda vara missvisande.

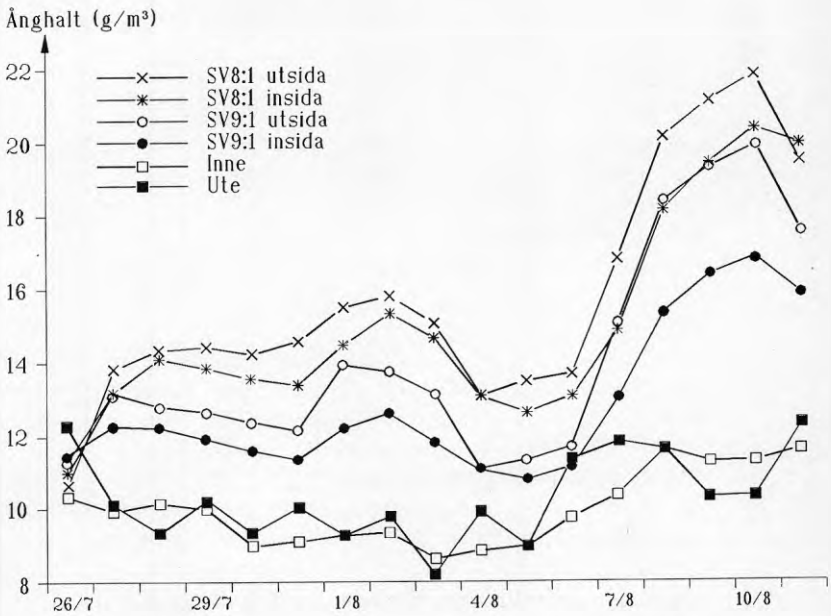
Med utgångspunkt från ovanstående mätningar ändrades konstruktionen på flertalet fack inför mätningarna 1989. Dessa mätningar inriktades helt på att studera sommarkondensfallet. Mätningar gjordes i ut- och insidan av isoleringen i samtliga fack under tiden 1/6-10/7 1989. Alla väggar utsattes för daglig bevattning 30/5-3/7.

Vid tolkningen av erhållna resultat måste man ha klart för sig att små skillnader till stor del kan bero på mätonoggrannhet. Mätfel på $\pm 2\%$ RF och $\pm 0.3^\circ\text{C}$ är en rimlig uppskattning. Vid $+10^\circ\text{C}$ och 80% RF ger detta ett mätfel i ånghalt på $\pm 0.3 \text{ g/m}^3$. Vid $+30^\circ\text{C}$ och 90% RF blir motsvarande siffra $\pm 1.0 \text{ g/m}^3$.

Ett intressant förlopp att följa är uppfuktningen av isoleringen när skalmuren plötsligt övergår från torrt till blött tillstånd. Detta redovisas för facken SV8:1 (med ångspärr på insidan) och SV9:1 (utan ångspärr) i FIG. 5:42-43. Reaktionen i isoleringens ytterdel är som synes snabb i båda facken. I fallet med ångspärr på insidan uppnås höga fukttillstånd även i isoleringens inre delar mycket snabbt. I fallet med ångspärr är det i aktuellt fall 95-100% RF i hela väggen efter cirka 2 veckor. I detta sammanhang skall noteras att under den första tiden var det inte speciellt soligt. Den intensiva och bestående solstrålningen började den 7/8. Efter denna tidpunkt ökar fukttillståndet mycket snabbt, efter några dygn har hela väggen SV8:1 uppnått cirka 100% RF.



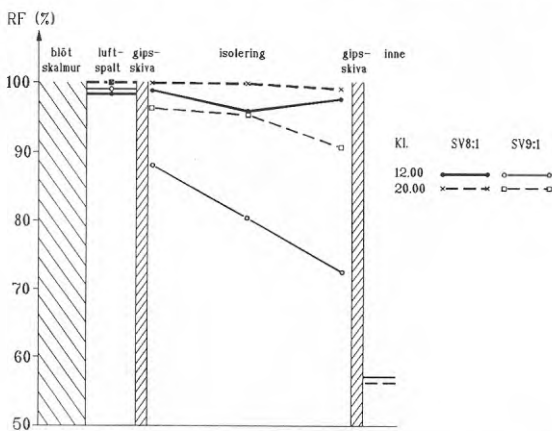
Figur 5:42. Relativ luftfuktighet i isoleringen SV8:1 och SV9:1. Daglig bevattning av skalmuren påbörjades 27/7. 1988-07-26 - 1988-08-11.



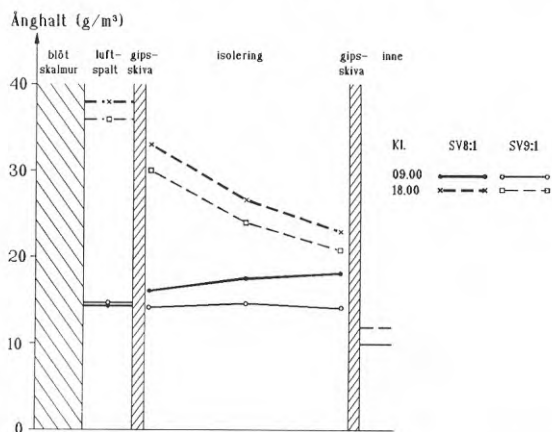
Figur 5:43. Ånghalt i ute- och inneluft samt i isolering SV8:1 och SV9:1. Daglig bevattning av skalmuren påbörjades 27/7. 1988-07-26 - 1988-08-11.

Ökningen av fukttilståndet är alltid kopplad till solstrålning mot fasaden. Vid mulen väderlek minskar i allmänhet fukttilståndet. Notera även att ånghalten i hela väggen är väsentligt högre än i ute- och inneluften, speciellt i fallet med ångspärr, samt att ånghaltsgradienten är riktad inåt.

Som exempel på hur fukttilståndet kan variera under dygnet redovisas i FIG. 5:44-45 gradienterna under ett soligt dygn med blöt skalmur. Som synes är den relativa luftfuktigheten i stort sett 100% i hela väggen under hela dygnet i väggen med ångspärr på insidan. I väggen utan ångspärr är däremot den relativa luftfuktigheten väsentligt lägre, främst på insidan.



Figur 5:44. Relativa luftfuktighetens maximi- och minimivärden under soligt dygn i SV8:1 och SV9:1. 1988-08-10.



Figur 5:45. Ånghaltens maximi- och minimivärden under ett soligt dygn i SV8:1 och SV9:1. 1988-08-10.

Fukttillståndets medelvärden under alla sammanhängande mätperioder 1988 (4-5 dygn) redovisas i TAB. 5:11-12 för samtliga fack där mätningar gjorts. Observera att daglig bevattning på facken SV8:1 och SV9:1 påbörjades 27/7. På de övriga facken påbörjades bevattningen först 1/9.

En jämförelse mellan SV5:1-SV7:1 visar att insidan av dessa är praktiskt taget identiska. I början av mätperioden finns dock en tendens till något högre värden i SV7:1. Hela mätperioden var mycket solfattig, bortsett från de första veckorna i september.

När det gäller ytterdelen av isoleringen har SV7:1 ett klart högre fukttillstånd. Detta är helt naturligt eftersom brukstuggorna transporterar in vatten till gipsskivan och håller denna "fuktig". Under hela mätperioden är ånghaltsgradienten riktad inåt i SV7:1.

I SV8:1 och SV9:1 är ånghaltsgradienten i augusti riktad inåt och i september utåt. Detta innebär att de inre delarna uppfuktas i augusti och torkar ut i september. I fallet SV8:1 blir uppfuktningen kraftigare, eftersom ingen fukt kan absorberas i någon skiva eller transporteras in i rummet.

Generellt gäller att alla väggar har en högre ånghalt än uteluften. Under sommaren är även den relativa fuktigheten högre i väggarna än i utomhusluften, när man har blöta skalmurar. Under hösten är däremot den relativa fuktigheten väsentligt lägre i väggarna än i uteluften. Detta gäller även extremfallet med brukstuggor i spalten!

Sammantaget visar 1988 års mätningar att ångspärren på insidan är utslagsgivande för fukttillståndet i väggen. Under sommaren medför en ångspärr ett väsentligt högre fukttillstånd, stundtals 100% RF. Inverkan av luftspaltens utseende är av mindre betydelse än inverkan av ångspärren.

Huvuddelen av 1988 års mätningar gjordes under hösten. Under sommartid gjordes mätningar endast i facken SV8:1 och SV9:1. Mätningarna kan således inte ligga till grund för en generell bedömning av sommarkondensfallet.

Mätningarna under 1989 gjordes under extremt soliga förhållanden. Det var mycket klart och soligt de flesta dagar under hela mätperioden 1/6-10/7 1989.

5-dygnsmedelvärden av relativ luftfuktighet och ånghalt i isoleringen redovisas i TAB. 5:13-14 för samtliga fack under hela mätperioden 1989.

Enligt TAB 5:13-14 ökar fukttillståndet snabbt på insidan i facken med ångspärr på insidan, SV4:2 och SV8:2. Efter en månad är den relativa fuktigheten i stort sett 100%. Det höga fukttillståndet resulterade i kondens på utsidan av ångspärren enligt FIG. 5:46. Enligt figuren är kondensmängden så stor att vatten rinner utmed ångspärren. Enligt mätresultaten är fukttillståndet ungefär detsamma i båda facken. Kondensmängden är dock väsentligt större i SV4:2. Kondensen upptäcktes 11/7 i båda facken. Efter en vecka försvann kondensen i SV8:2. I SV4:2 fanns kondens i större eller mindre omfattning till slutet av september, dvs i 3 månader! Det finns två, sannolikt samverkande, faktorer till att kondensen är så mycket kraftigare i SV4:2 jämfört med SV8:2. Dels finns det en ventilerad luftspalt i SV8:2 och

TAB 5:11. Medelvärden av relativ luftfuktighet (%) i uteluft och i isolering för alla sammanhängande mätperioder, 1988.

Mätperiod	Ute	SV5:1		SV6:1		SV7:1		SV8:1		SV9:1	
		ut-sida	in-sida	ut-sida ¹⁾	in-sida	ut-sida	in-sida	ut-sida	in-sida	ut-sida	in-sida
26-29/7	76	-	-	-	-	-	-	76	71	71	64
30/7-2/8	77	-	-	-	-	-	-	94	84	83	70
3-7/8	80	-	-	-	-	-	-	95	82	83	69
8-11/8	75	-	-	-	-	-	-	99	98	92	82
3-6/9	85	65	68	67	68	72	70	89	91	85	81
7-11/9	78	69	70	79	77	92	79	94	96	91	86
12-16/9	87	71	68	73	68	87	71	85	84	83	77
17-20/9	83	73	70	74	70	90	72	87	88	83	78
22-26/9	88	70	64	66	63	83	65	78	74	75	67
27/9-1/10	86	70	63	66	62	81	64	77	73	74	66
2-6/10	88	65	59	67	62	84	65	80	77	78	68
7-11/10	88	65	56	60	55	75	56	73	65	69	59
12-16/10	98	64	56	58	55	74	55	70	64	67	58
17-21/10	92	65	55	57	53	73	52	70	61	68	56
22-26/10	86	52	42	46	42	60	40	59	47	55	42
27-31/10	85	51	43	47	42	62	40	62	49	57	42

1) Mätpunkten placerad i ytterkanten av den inre isolerskivan.

TAB 5:12. Medelvärden av ånghalt (g/m^3) i uteluft och i isolering för alla sammanhängande mätperioder, 1988.

Mätperiod	Ute	SV5:1		SV6:1		SV7:1		SV8:1		SV9:1	
		ut-sida	in-sida	ut-sida ¹⁾	in-sida	ut-sida	in-sida	ut-sida	in-sida	ut-sida	in-sida
26-29/7	10.5	-	-	-	-	-	-	13.5	13.1	12.5	12.0
30/7-2/8	9.7	-	-	-	-	-	-	15.1	14.2	13.1	12.0
3-7/8	10.1	-	-	-	-	-	-	14.5	13.7	12.5	11.6
8-11/8	11.2	-	-	-	-	-	-	20.7	19.5	18.8	16.2
3-6/9	10.0	10.1	11.2	10.5	11.1	11.2	11.5	14.5	15.5	13.1	13.5
7-11/9	9.7	11.8	12.0	13.7	13.1	15.4	13.6	16.2	17.1	14.7	15.0
12-16/9	9.1	10.8	11.0	11.3	11.1	13.2	11.7	13.8	14.7	12.3	12.8
17-20/9	10.0	10.8	11.2	11.0	11.2	13.3	11.9	13.6	14.9	12.2	12.9
22-26/9	9.5	9.3	9.8	9.7	10.3	11.1	10.3	11.5	12.3	10.1	10.8
27/9-1/10	9.1	9.4	9.9	8.9	9.7	10.9	10.2	11.5	12.2	10.0	10.8
2-6/10	8.3	9.6	9.5	9.7	10.0	12.2	10.6	12.3	13.1	11.0	-
7-11/10	8.2	8.5	8.8	7.8	8.4	9.9	8.9	10.6	10.8	9.1	9.6
12-16/10	9.1	8.4	8.8	7.7	8.7	9.6	8.8	10.3	10.6	8.9	9.6
17-21/10	8.2	8.6	8.8	7.5	8.5	9.8	8.5	10.5	10.3	9.1	9.4
22-26/10	5.6	6.1	6.6	5.6	6.7	7.2	6.6	8.2	8.0	6.6	7.1
27-31/10	6.0	6.3	6.4	5.8	6.5	7.6	6.4	8.5	8.2	6.9	6.9

1) Mätpunkten placerad i ytterkanten av den inre isolerskivan.

TAB 5:13a. 5-dygnsmedelvärden av relativ luftfuktighet (%) i uteluft och i isolering, fack SV1:2-SV5:2. 1989.

Mätperiod	Ute	SV1:2		SV2:2		SV3:2		SV4:2		SV5:2	
		ut-sida	in-sida	ut-sida	in-sida	ut-sida	in-sida	ut-sida	in-sida	ut-sida	in-sida
1-5/6	73	47	44	-	38	43	41	75	62	47	40
6-10/6	79	59	53	-	41	49	46	76	66	56	47
11-15/6	59	79	67	-	42	56	52	95	88	66	53
16-20/6	59	81	67	-	44	62	56	95	88	69	55
21-25/6	64	81	68	-	46	67	59	94	87	72	57
1-5/7	59	89	75	-	44	74	64	96	90	74	58
6-10/7	57	92	81	-	46	76	68	100	98	73	61

TAB 5:13b. 5-dygnsmedelvärden av relativ luftfuktighet (%) i uteluft och i isolering, fack SV6:2-SV10:2. 1989.

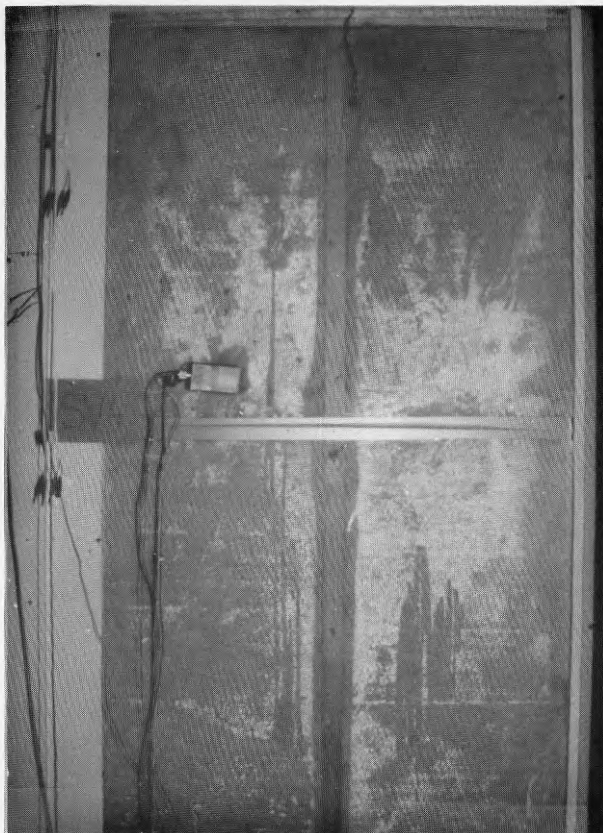
Mätperiod	Ute	SV6:2		SV7:2		SV8:2		SV9:2		SV10:2	
		ut-sida	in-sida	ut-sida	in-sida	ut-sida	in-sida	ut-sida	in-sida	ut-sida	in-sida
1-5/6	73	80	59	66	59	56	55	71	61	67	57
6-10/6	79	80	60	67	63	68	66	73	64	70	61
11-15/6	59	90	68	83	73	89	90	87	74	83	72
16-20/6	59	92	70	86	75	91	92	89	76	85	74
21-25/6	64	89	68	84	76	89	90	87	75	83	73
1-5/7	59	94	76	91	79	93	94	92	79	88	77
6-10/7	57	100	80	97	87	99	100	99	87	97	85

TAB 5:14a. 5-dygnsmedelvärden av ånghalt (g/m³) i uteluft och i isolering, fack SV1:2-SV5:2. 1989.

Mätperiod	Ute	SV1:2		SV2:2		SV3:2		SV4:2		SV5:2	
		ut-sida	in-sida	ut-sida	in-sida	ut-sida	in-sida	ut-sida	in-sida	ut-sida	in-sida
1-5/6	7.4	7.5	7.4	-	6.7	6.8	6.8	12.3	10.5	7.3	6.8
6-10/6	8.1	9.4	9.1	-	7.3	8.0	8.0	12.8	11.5	8.8	8.1
11-15/6	7.5	14.8	12.7	-	8.1	10.3	-	18.0	16.9	11.7	10.0
16-20/6	9.0	16.1	13.4	-	9.1	12.1	11.4	19.4	17.8	13.1	11.1
21-25/6	10.1	17.0	14.7	-	10.0	14.0	12.7	20.0	19.0	14.6	12.4
1-5/7	8.3	17.0	14.3	-	8.6	14.2	12.3	18.9	17.4	13.4	11.1
6-10/7	11.1	22.9	19.2	-	11.0	18.1	16.8	25.8	24.4	17.3	14.6

TAB 5:14b. 5-dygnsmedelvärden av ånghalt (g/m³) i uteluft och i isolering, fack SV6:2-SV10:2. 1989.

Mätperiod	Ute	SV6:2		SV7:2		SV8:2		SV9:2		SV10:2	
		ut-sida	in-sida	ut-sida	in-sida	ut-sida	in-sida	ut-sida	in-sida	ut-sida	in-sida
1-5/6	7.4	13.1	10.1	11.1	9.7	9.4	9.4	11.8	10.3	11.2	9.6
6-10/6	8.1	13.0	10.5	11.7	10.8	11.6	11.4	12.2	11.0	11.8	10.4
11-15/6	7.5	16.6	12.9	15.9	13.6	17.3	17.0	15.7	14.0	16.1	13.4
16-20/6	9.0	18.1	14.0	17.7	14.8	18.9	18.4	18.5	15.3	17.7	14.7
21-25/6	10.1	18.5	14.8	18.2	15.8	19.5	19.5	18.9	16.1	18.3	15.6
1-5/7	8.3	17.9	13.7	17.8	14.7	18.6	17.8	18.0	14.9	17.4	14.4
6-10/7	11.1	25.3	19.4	25.2	21.0	26.1	24.3	25.9	21.0	25.2	20.6



Figur 5:46. Kondens på utsidan av ångspärren i fack SV4:2. Juli 1989.

dels var ångspärren i SV8:2 inte helt tät. Under 1990 tätades ångspärren på SV8:2. Fenomenet med väsentligt kraftigare kondens i SV4:2 kvarstod dock. Luftspalten torde sålunda ha en icke försumbar betydelse för att minska sommarkondensen!

En ångspärr på insidan ger enligt ovanstående det högsta fukttillståndet. Det lägsta fukttillståndet erhöles i SV2:2. Den relativa fuktigheten var här alltid lägre än 50%. Förklaringen är självklart att den vattenavvisande impregneringen medförde en helt torr skalmur.

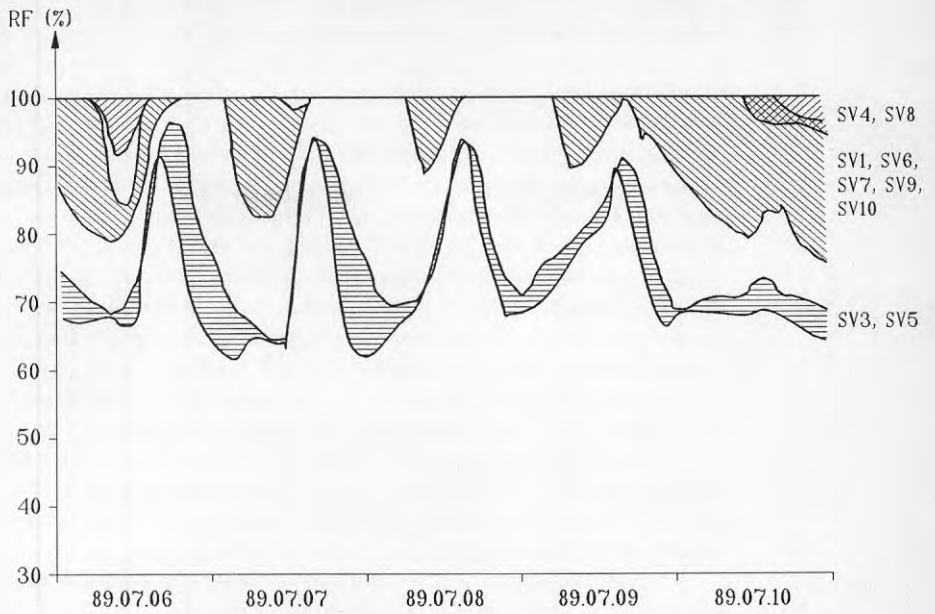
De övriga fackens fukttillstånd ligger mellan ytterligheterna med ångspärr respektive vattenavvisande skalmur. Dessa konstruktioner kan indelas i två grupper. SV3:2 och SV5:2 har ett klart lägre fukttillstånd än SV1:2, SV6:2, SV7:2, SV9:2 och SV10:2. In- respektive utsidan i SV3:2 och SV5:2 uppnår maximalt 70 respektive 80% relativ luftfuktighet. För de andra väggarna är motsvarande siffror 90 respektive 100%. En bred luftspalt (SV5:2) eller en putsad skalmur (SV3:2) medför sålunda ett klart lägre fukttillstånd på sommaren.

Enligt 1988 års mätningar var fukttillståndet i SV5:1 ungefär detsamma som i SV6:1 och SV7:1. Den breda luftspalten gav då ingen förbättring jämfört med fallet utan luftspalt. Enligt 1989 års mätningar är däremot SV5:2 (bred luftspalt) klart bättre. Orsaken till denna diskrepans är de yttre klimatförhållandena. Mätningen 1989 gjordes under mycket soliga sommarförhållandena. Mätningen 1988 gjordes däremot under normalt sensommar - höstklimat. Den intensiva solbestrålningen 1989 medförde en kraftig övertemperatur i tegelskalet, vilket i sin tur medförde en hög temperatur i luftspalten. Denna höga temperatur medför en stor termisk drivkraft i luftspalten. Eftersom den breda luftspalten (med stora ventilationsöppningar) har ett väsentligt mindre motstånd mot luftströmning blir ventilationen mycket större än i övriga luftspalter. Detta resulterar dels i ett lägre fukttillstånd och dels i en lägre temperatur, vilket sammantaget ger ett väsentligt lägre fukttillstånd inne i väggen. En bred och välventilerad luftspalt är sålunda gynnsam för att minska risken för sommarkondens.

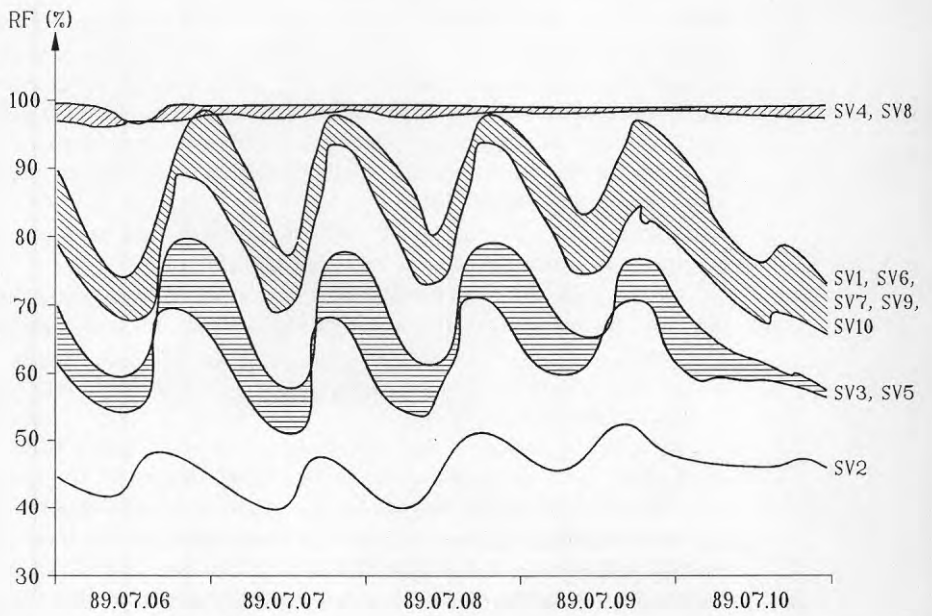
Putsens gynnsamma inverkan på fukttillståndet (SV3:2) är uppenbar. Vid mycket långvarig vattenbelastning är det troligt att fukttillståndet inne i väggen stiger. En mer långvarig vattenbelastning än som i aktuell provning är dock inte sannolik. Ur praktisk synvinkel torde sålunda en tjockputs vara gynnsam, eftersom den fördröjer vattenupptagningen och i medeltal medför ett lägre fuktinnehåll i skalmuren.

Generellt gäller att det under hela mätperioden (och säkerligen under lång tid efter det att mätningarna avslutades) råder en högre ånghalt i isoleringens yttersta del än i den innersta delen. Följaktligen pågår en ständig fukttransport inåt. Finns inget större ångmotstånd på insidan transporteras fukten in i rummet. Den relativa fuktigheten i innerdelen bestäms av relationen mellan ångmotstånden i de olika skikten och av fukttillståndet i ytterkanten. I fallen utan ångspärr visar mätningarna en RF på 90% i innerkanten av isoleringen vid 100% i ytterkanten. Detta gäller för aktuell väggkonstruktion, dvs en gipsskiva med akrylatmålning på insidan. Det måste påpekas att det i detta fall är färgen som svarar för huvuddelen av ångmotståndet. En gipsskiva utan målningsbehandling på insidan skulle ge ett väsentligt lägre fukttillstånd. Den andra ytterligheten är en ångspärr på insidan, vilken "helt" hindrar fukttransporten in i rummet. Följden av detta blir en "ständig" fukttransport in till ångspärren där kondensation sker. Under molniga perioder kan en viss uttorkning ske, eftersom temperaturen på insidan då normalt är högre än på utsidan.

För att illustrera dygnsvariationerna redovisas i FIG. 5:47-48 den relativa fuktigheten i isoleringens ut- respektive insida under tiden 6-10/7 1989. I denna figur har väggkonstruktionerna delats in i fyra olika grupper med klart olika fukttillstånd enligt den ovanstående diskussionen. Inom varje grupp kan små tendenser till skillnader ses. Dessa skillnader är dock av samma storleksordning som mätnoggrannheten och kommenteras därför inte. Ur praktisk synvinkel torde dessa eventuella skillnader sakna betydelse.



Figur 5:47. Relativ luftfuktighet i isoleringens yttersida, 6-10/7 1989.



Figur 5:48. Relativ luftfuktighet i isoleringens innersida, 6-10/7 1989.

5.6 Ventilation i luftspalten

Mätningarna inleddes 1986 med en förstudie av olika metoder. Dessa mätningar detaljredovisas i Wadsö (1986). Av de metoder som testades var "dragprovning" med rökampull den mest intressanta.

I FIG. 5:49-51 visas några exempel på hur den insprutade röken förflyttas i spalten vid "stark byig vind". I aktuellt fall var spaltvidden 20 mm och öppningen nedtill var en öppen stötfog. Som synes är det svårt att ge ett generell mönster. Stundtals rör sig luften snabbt. Lokalt kan luften däremot ligga stilla. Dessutom sker alltid en "utspädning" av röken. Som "medelvärde" på lufthastigheten torde 0-1 cm/s vara en rimlig uppskattning, vilket motsvarar 0-15 luftomsättningar per timma.

Vid en kraftig termisk drivkraft (på kvällen efter en solig dag) erhöles vid vindstilla en stabil uppåtgående rörelse med hastigheten 2-4 cm/s.

I FIG. 5:52 visas riktningen hos luftströmmen vid olika mättillfällen. Som synes är flödet ofta stabilt "uppåt" på kvällen, medan det under andra tidpunkter varierar kraftigt. Ofta sker dessutom rörelsen uppåt och nedåt "samtidigt". Luften ligger och "hoppas" upp och ner.

Wadsös mätningar visade klart att luftens rörelse i spalten är mycket oregelbunden. Att ange några exakta siffror på ventilationen var inte möjligt. Det intressanta är den totala luftomsättningen i medeltal på lång sikt. Wadsös mätningar ger enbart "ögonblicksbilder".

För att erhålla en "medelventilation" utfördes 1987-89 ett stort antal spårgasmätningar vid olika klimatbetingelser. Avsikten var att studera inverkan av termisk drivkraft, vindhastighet och vindriktning. Någon tillförlitlig värdering av hur dessa variabler inverkar är omöjligt att göra. Den främsta orsaken till detta är att vindriktning och vindhastighet varierar kraftigt under en spårgasmätning. Under samma mätning kan man ibland ha stora vindtryck och ibland små. Vidare kan vindriktningen variera så att vindtrycket i en viss punkt pendlar mellan positiva och negativa värden. Detta visas tydligt av Gustén (1989).

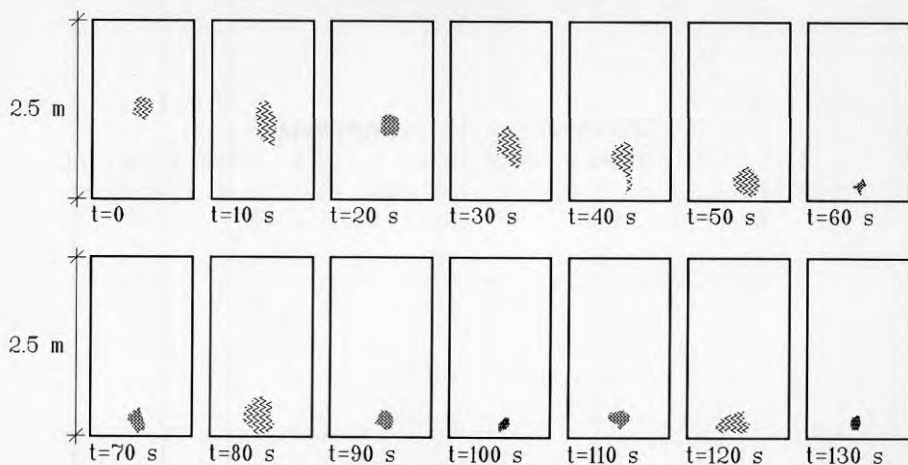
Med hänsyn till ovanstående redovisas enbart vissa exempel på erhållna resultat, samt medelvärden av samtliga mätningar.

I TAB. 5:15 redovisas resultaten från några mätningar vid obetydlig vind och utan termisk drivkraft respektive vid kraftig vind med samtidig termisk drivkraft.

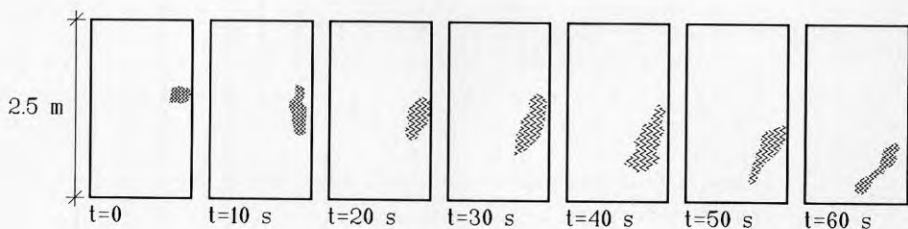
I TAB. 5:16 ges en sammanställning av ytterlighetsvärden från samtliga 72 mätningar.

I TAB. 5:17 redovisas medelvärden av alla mätningar i respektive provvägg. Medelvärdena grundar sig på 12-17 mätningar per kombination.

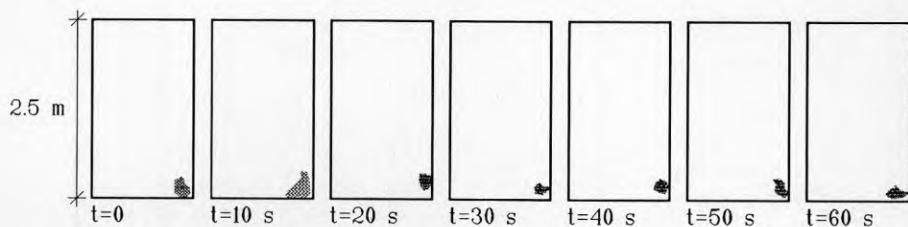
Det måste starkt betonas att bedömningen av luftspaltens ventilation inte får göras utifrån enstaka mätningar. Vid en mätning kan termisk drivkraft och vind samverka och ge en kraftig ventilation. Vid en annan mätning kanske den termiska drivkraften och vinden motverkar varandra. Det kan räcka med att vindriktningen ändras obetydligt, speciellt om vinden blåser i huvudsak parallellt med provytan. De något motstridiga extremvärdena för 20 mm-spalten vid 4-5 m/s i TAB. 5:15 kan bero på detta.



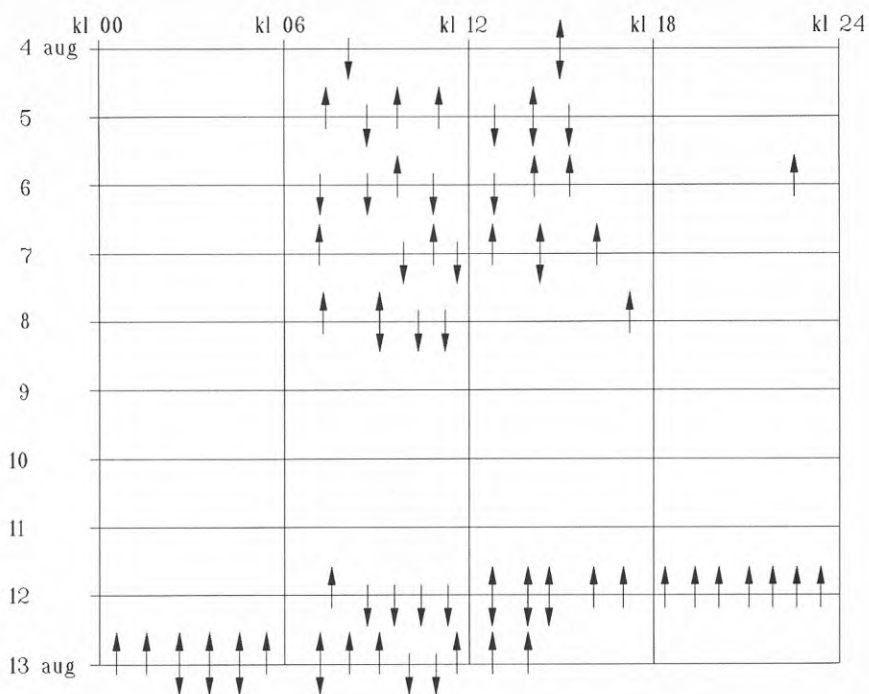
Figur 5:49. Den insprutade rökens rörelse. Röken insprutad mitt på väggen.



Figur 5:50. Den insprutade rökens rörelse. Röken insprutad vid kanten på halva höjden.



Figur 5:51. Den insprutade rökens rörelse. Röken insprutad i hörn nedtill.



Figur 5:52. Riktning hos den insprutade röken under en veckas mätningar.

TAB. 5:15. Extrema luftomsättningar vid olika klimatbetingelser.

Spaltbredd Ventilations- öppning		20 mm ingen	20 mm öppen stöt- fog	50 mm ingen	50 mm galler 260x80 mm	50 mm sten bort- tagen
<u>Vind</u>	<u>ΔT (spalt-ute)</u>	<u>luftomsättning (h^{-1})</u>				
1-2 m/s S-SV	0°C	1	2	1	2	3
4-5 m/s SO	7-13°C	3	4	2	12	25
1-2 m/s N	0°C	2	3	2	5	10
4-5 m/s N-NV	7-12°C	8	6	5	12	25

TAB. 5:16. Luftomsättningens ytterlighetsvärden, oberoende av klimatbetingelser.

Spaltbredd (mm)	20	20	50	50	50
Ventilationsöppning	ingen	öppen stöt- fog	ingen	galler 260x80 mm	sten bort tagen
Luftomsättning (h^{-1})	0.2-8	0.3-8	1-5	2-13	3-25

TAB. 5:17. Medelvärden på luftomsättningen, oberoende av klimat.

Spaltbredd (mm)	20	20	50	50	50
Ventilationsöppning	ingen	öppen stöt- fog	ingen	galler 260x80 mm	sten bort tagen
Luftomsättning (h^{-1})	2	4	2	7	12

5.7 Fukt i reglar

Fuktkvoterna i reglarna har mätts i stort sett hela tiden, bortsett från vinter/våren 88/89. Resultaten redovisas i FIG. 5:53. I de fall fuktkvoterna alltid varit mindre än 10-11 vikt-% redovisas inga kurvor. Observera att vissa väggar byggdes om under våren 1989. Väggarnas littra (väggbeskrivning finns i TAB. 3:1 och i BILAGA) är angiven över kurvorna. Observera även att vissa väggar utsatts för daglig vattenbelastning under vissa perioder. Detta anges med "SR" under kurvorna.

Som nämnts i avsnitt 4.7 förligger en viss osäkerhet i fuktkvoternas absolutbelopp. Detta medför att jämförelser mellan olika mätpunkter måste göras med viss försiktighet. Små skillnader i enstaka mätpunkter kan inte ligga till grund för några slutsatser. Stora skillnader i flera mätpunkter är å andra sidan en säker bedömningsgrund. I det följande görs ett försök att gradera säkerheten vid olika jämförelser.

Det måste betonas att fuktkvoten har mätts inne i reglarna. Fukttillståndet på reglarnas ytor kan stundtals vara helt annorlunda.

De nedre mätpunkterna har oftast en högre fuktkvot än de övre mätpunkterna, främst under vintern. En orsak till detta kan vara att den nedre mätpunkten då är kallare, beroende dels på att kall luft kommer in via ventilationsöppningen och dels på köldbryggan vid anslutningen mot sockeln.

I samband med intensivbevattningen i juni -89 är fuktkvoten däremot ofta lägre nedtill i de fall då det finns en luftspalt och ventilationsöppning. Detta torde bero på en lokal uttorkning i området kring ventilationsöppningen.

På större avstånd från ventilationsöppningen blir lufthastigheten i spalten väsentligt mindre, samtidigt som luftens fuktkinnehåll är högre. Sammantaget ger detta en liten uttorkningseffekt.

De extremt höga mätvärdena i mätpunkten N:1 i vägg SV4:2 i juli -89 beror sannolikt på att kondensvatten runnit ner och sugits upp av regeln. Uttorkningen efter denna tillfälliga topp går mycket snabbt.

Skillnaden mellan de två väderstrecken är uppenbar. I väggarna mot nordost är fuktkvoterna låga och har små variationer. I väggarna mot sydväst är däremot fuktvariationerna stora, samtidigt som fuktnivån stundtals är hög. I samband med den långvariga fuktbelastningen uppnåddes i vissa fall mycket höga fuktkvoter, över 25 vikts-%. Den långvariga fuktbelastningen utfördes dock endast på sydvästfasaden. Den stora skillnaden mellan de två väderstrecken beror på kombinationen sol- och regnbelastning, vilken är mycket kraftig på sydvästfasaden och obetydlig på nordostfasaden. Den extra slagregnsbelastningen, som vissa väggar var utsatt för under tiden sept 1986 - april 1988 (SV8:1, SV9:1, SV10:1, NO4 och NO5) har inte medfört någon förhöjning av fuktillståndet i reglarna, jämfört med liknande väggar utan extra slagregnsbelastning.

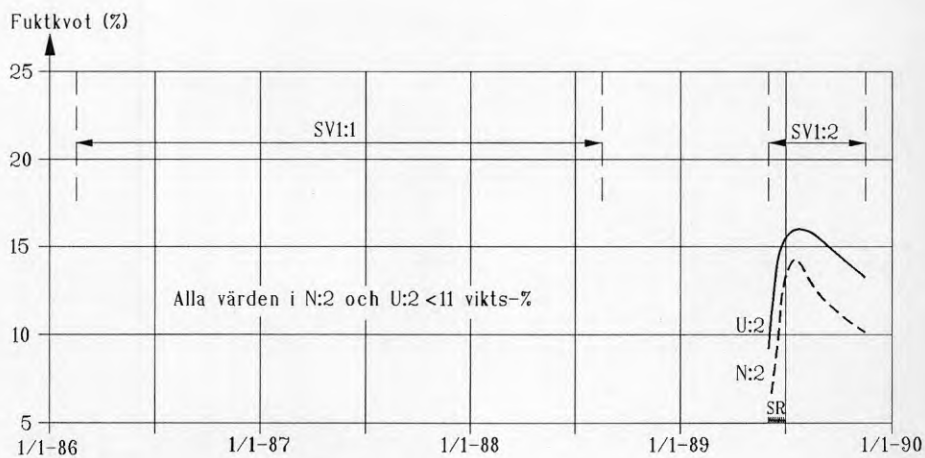
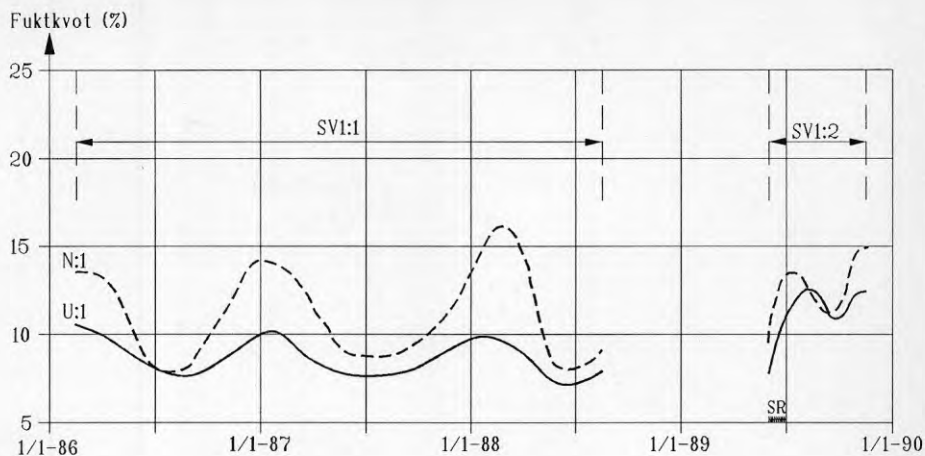
Isolertjocklekens inverkan framgår av väggarna SV2:1 och SV3:1. I den välisolerade väggens yttre delar blir fuktkvoten under vintern väsentligt högre än i den dåligt isolerade väggen. Detta är helt naturligt med hänsyn till rådande temperaturförhållanden.

Inverkan av luftspaltens ventilationsgrad framgår exempelvis av en jämförelse mellan SV5 (kraftig ventilation) och SV1 ("normal" ventilation). Väggen med kraftig ventilation kan inte anses ha lägre fuktillstånd, däremot är variationerna mycket kraftigare. Extremfallet med avseende på dålig ventilation är det fall då spalten ersatts med mineralull. Inte ens i detta fall blir fuktillståndet högre, så länge man inte har någon ångspärr på insidan. Detta framgår om man jämför SV6 med SV1 och SV5:1 respektive SV10:1 med SV8:1 och SV9:1. Ångspärren på insidan har en avgörande betydelse för fuktillståndet i reglarna, främst vid hög vattenbelastning. I SV8:2 nås höga fuktillstånd genom hela vägg-tjockleken, samtidigt som det sker kondens på ångspärren. Även i SV4:2 (med mineralull i stället för luftspalt) nås mycket höga fuktkvoter i regeln yttre delar. I denna vägg gjordes tyvärr inga mätningar på andra djup i regeln. Det står dock fullständigt klart att en traditionell luftspalt inte förmått att bibehålla ett lågt fuktillstånd.

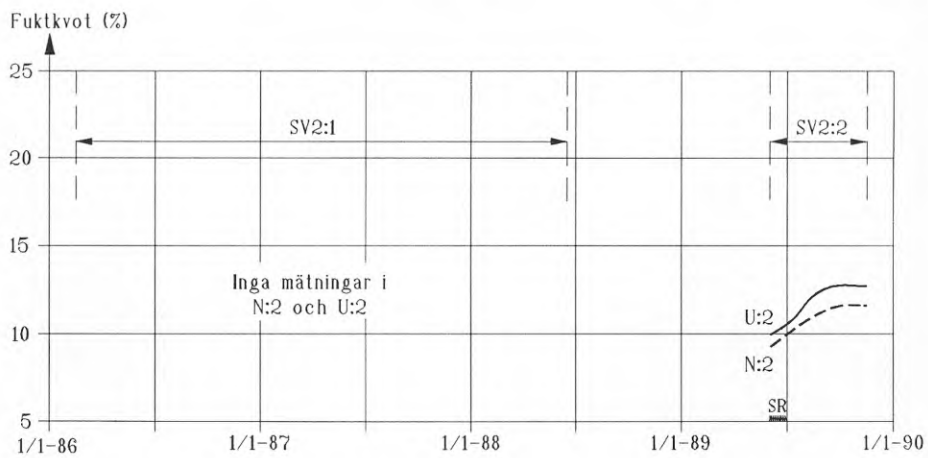
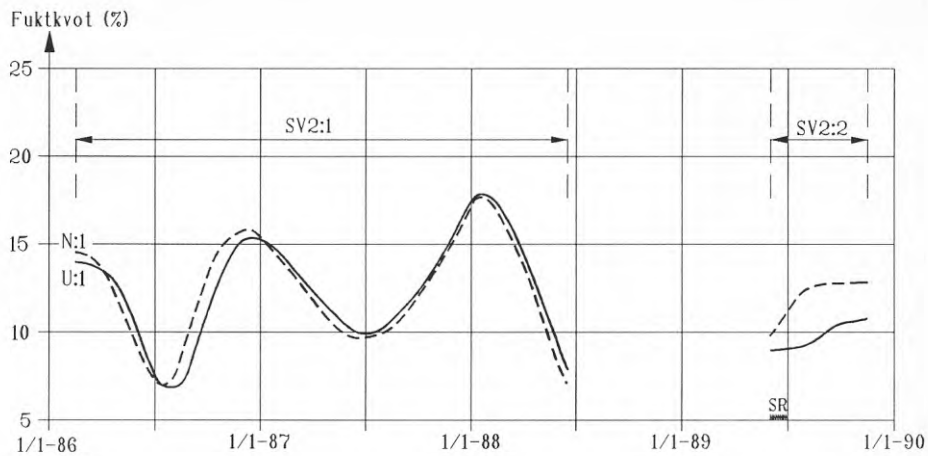
Av SV7 framgår att närvaron av brukstuggor i spalten medför ett mycket högt fuktillstånd i reglarna vid kraftig vattenbelastning. Detta gäller även om det inte finns någon ångspärr på insidan.

Tanken med SV9:2 var att studera om gipsskivans borttagande påverkade fuktillståndet i bakväggen. Det finns en viss tendens till kraftigare variation i denna vägg. Fuktnivån är däremot opåverkad.

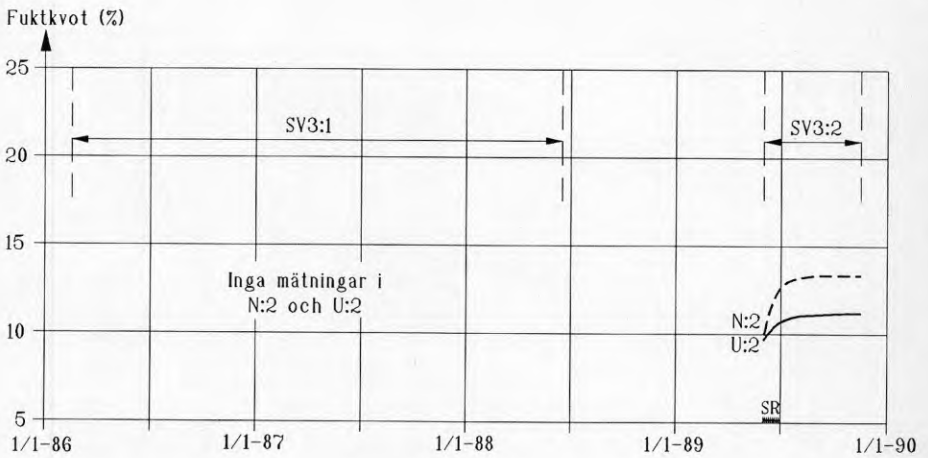
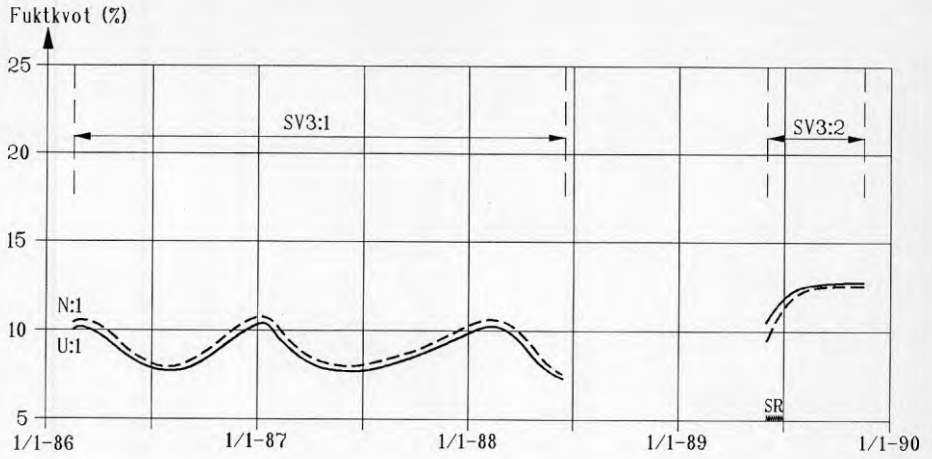
Den utvändiga ytbehandlingen på väggarna SV2:2 och SV3:2 har haft en mycket gynnsam inverkan på reglarnas fuktkvoter. Fuktkvoterna blir relativt låga och uppvisar små variationer.



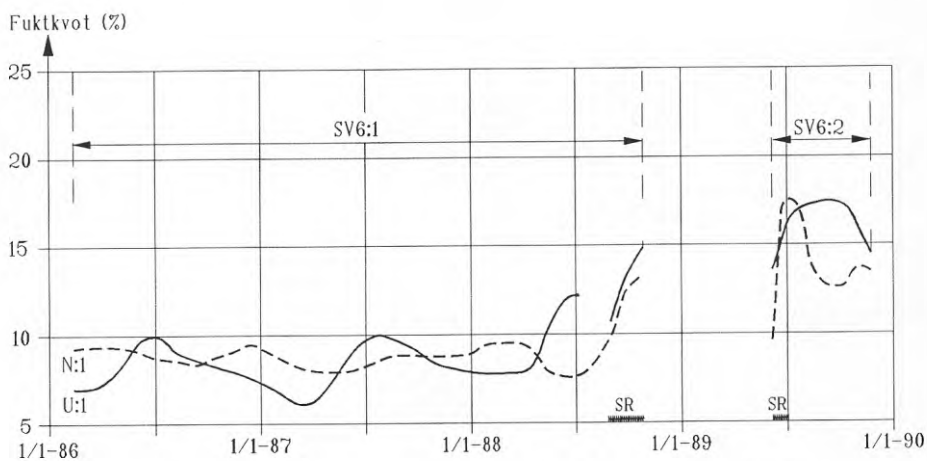
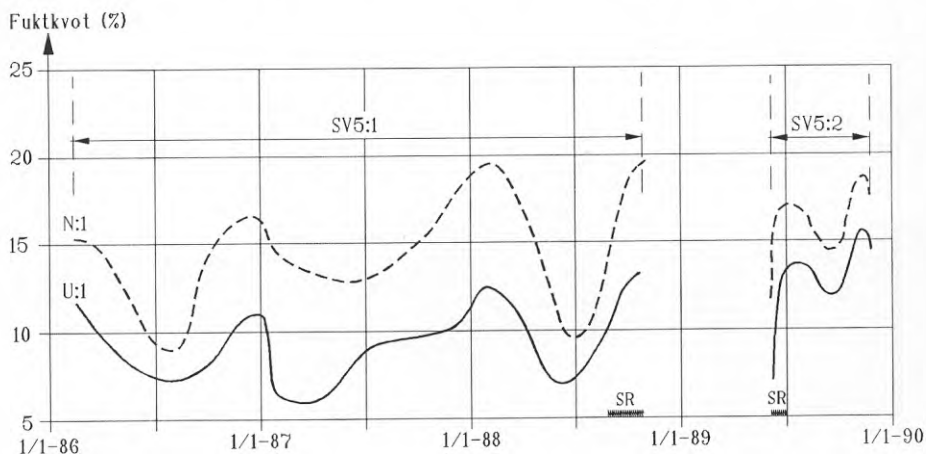
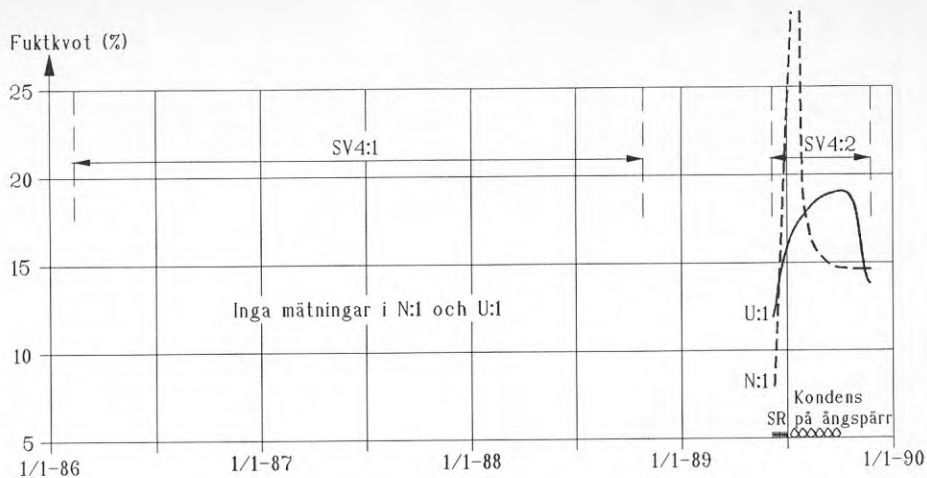
Figur 5:53a. Fuktkvot i regler SV1. Fuktkvoten i mätpunkterna N:3 och U:3 var alltid mindre än 11 vikts-%.



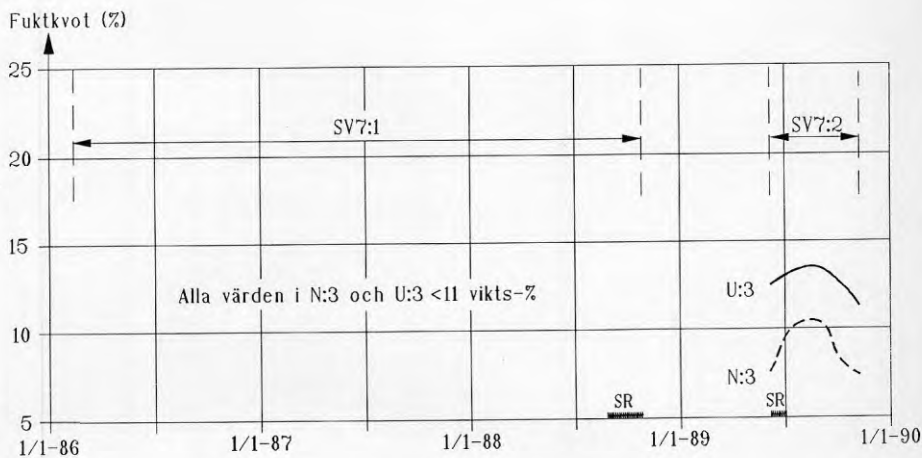
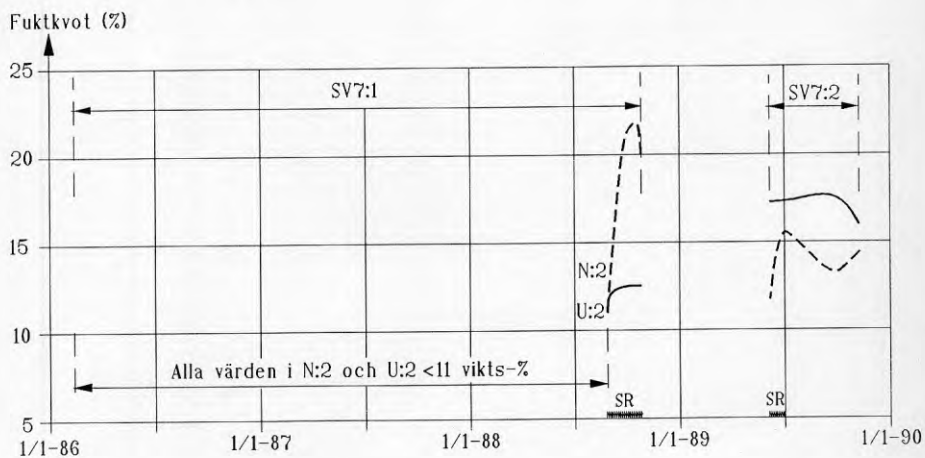
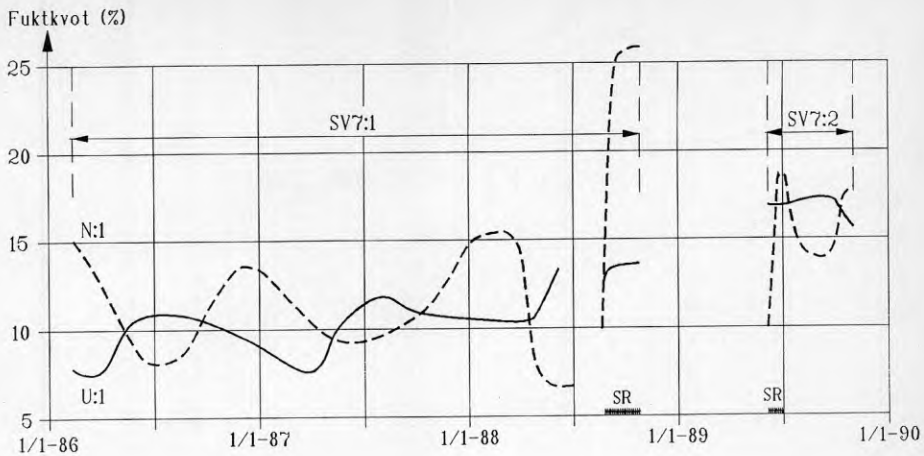
Figur 5:53b. Fuktkvot i regler SV2. Inga mätningar i N:3 och U:3.



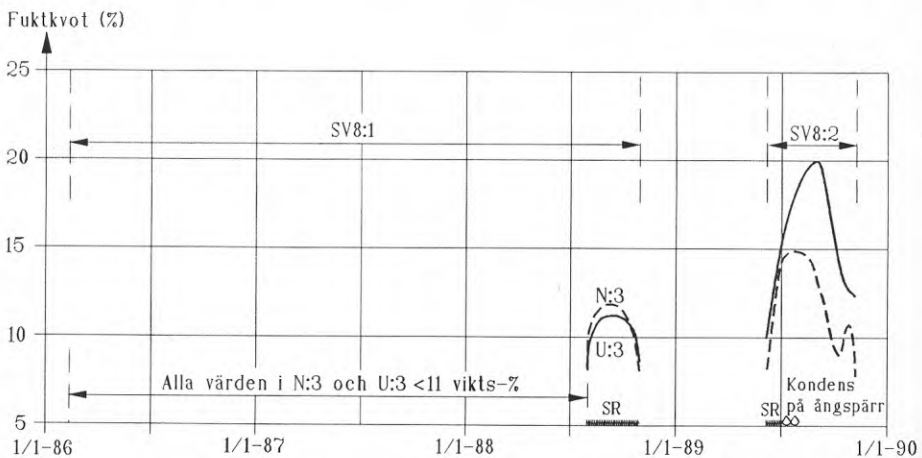
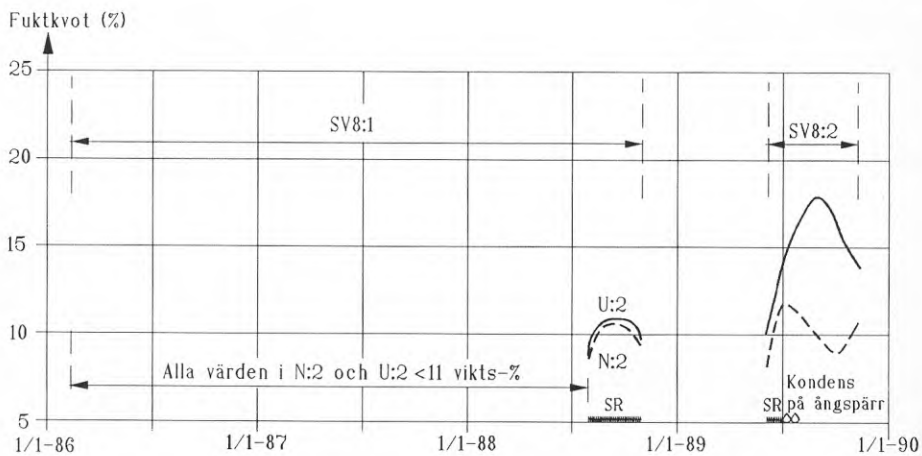
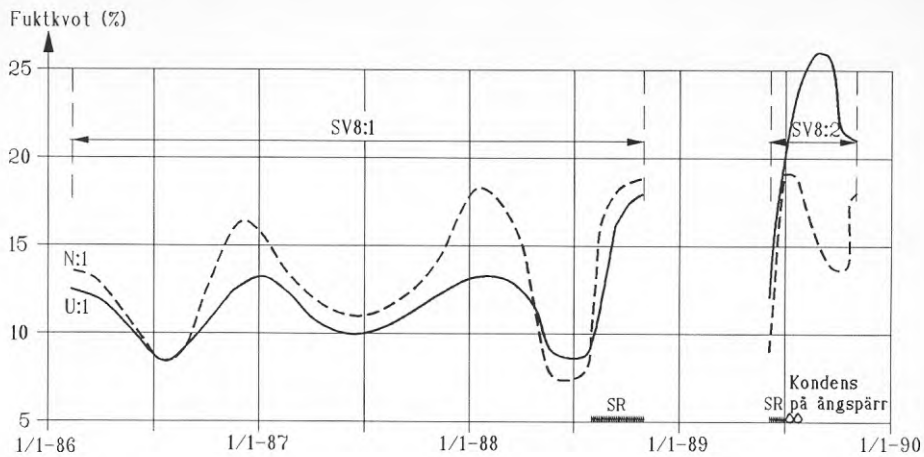
Figur 5:53c. Fuktkvot i regler SV3. Inga mätningar i N:3 och U:3.



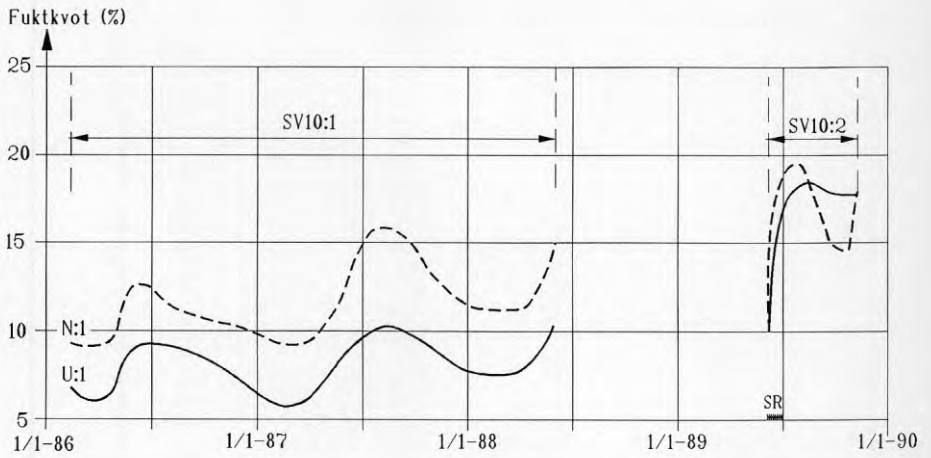
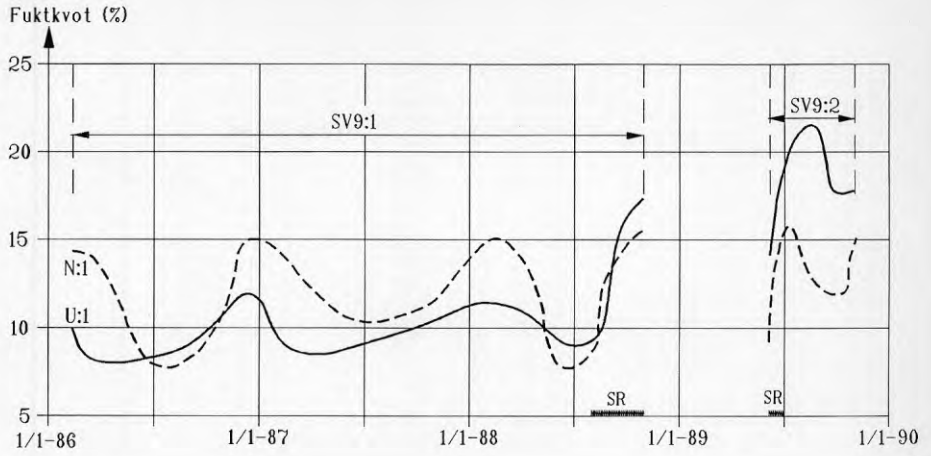
Figur 5:53d. Fuktkvot i regler SV4, SV5 och SV6. Inga mätningar i N:2, N:3, U:2 och U:3.



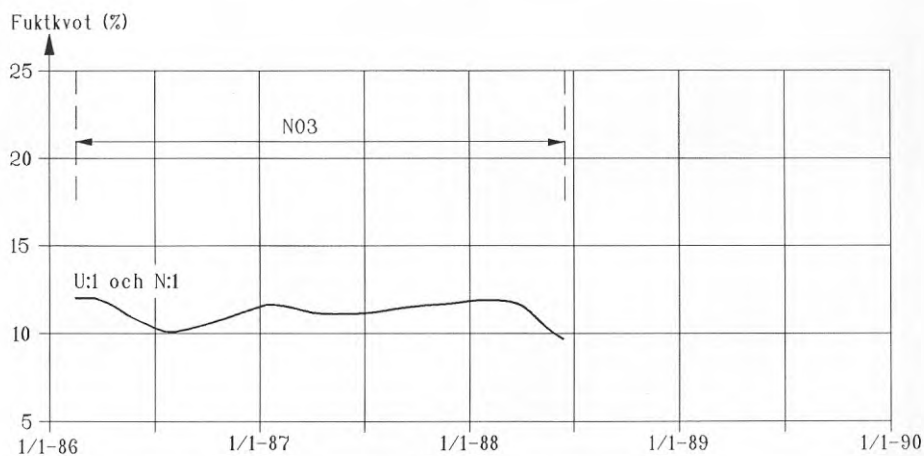
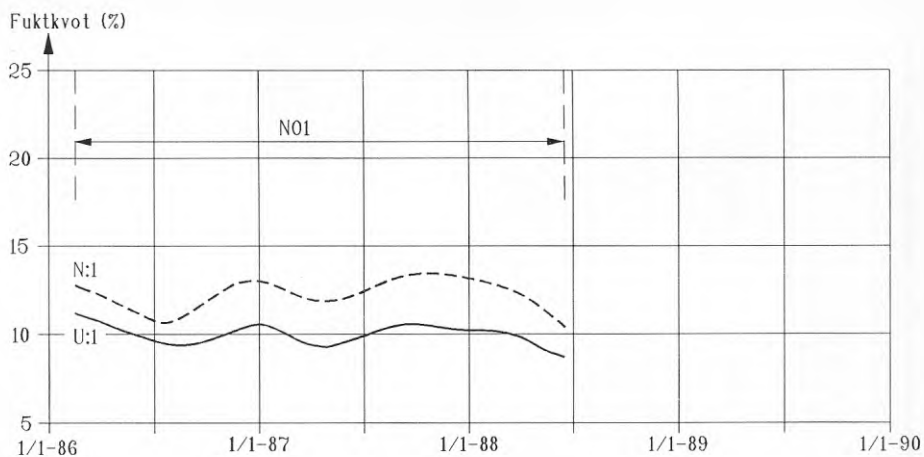
Figur 5:53e. Fuktkvot i regler SV7.



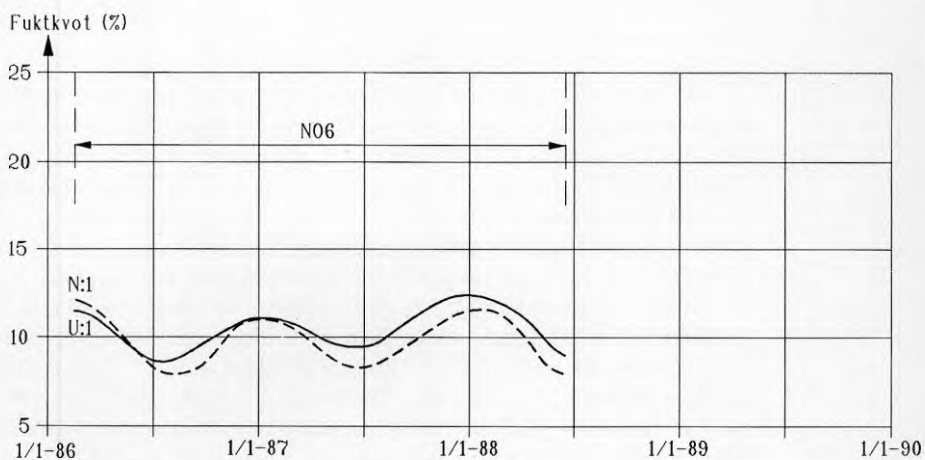
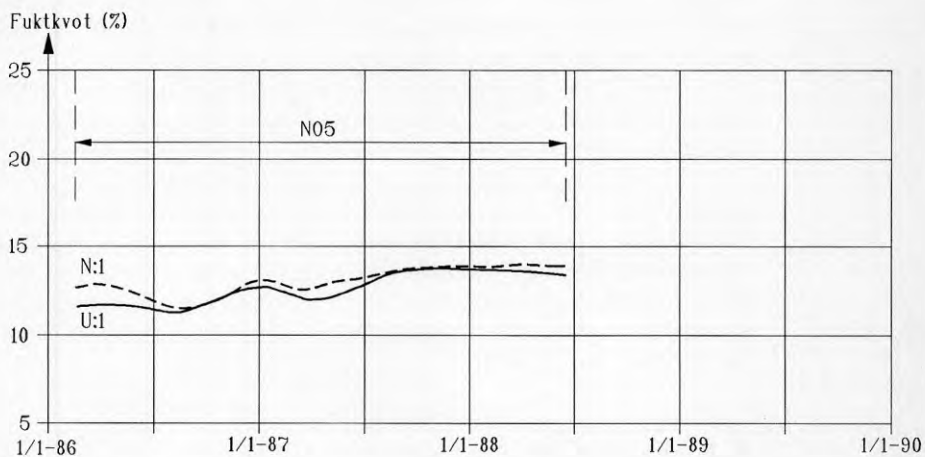
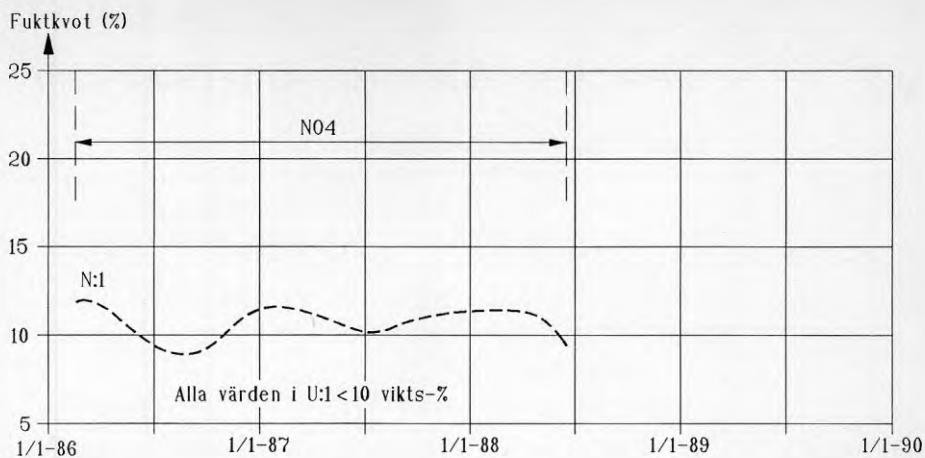
Figur 5:53f. Fuktkvot i regler SV8.



Figur 5:53g. Fuktkvot i regler SV9 och SV10. Inga mätningar i N:2, N:3, U:2 och U:3.



Figur 5:53h. Fuktkvot i regler NO1, NO2 och NO3. Fuktkvoten i NO1 mätpunkter N:2, N:3, U:2 och U:3 samt i NO2 mätpunkter N:1 och U:1 var alltid mindre än 10 vikts-%. Inga mätningar i punkterna N:2, N:3, U:2 och U:3 i väggarna NO2 och NO3.



Figur 5:53i. Fuktkvot i reglar NO4, NO5 och NO6. Inga mätningar i N:2, N:3, U:2 och U:3.

6 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

I kapitel 1 redovisades olika problem och oklarheter beträffande skalmurskonstruktionen. Många frågeställningar har besvarats eller belysts i samband med resultatredovisningen i kapitel 5. Framställningen i kapitel 5 är dock inriktad på enskilda mätningar och besvarar därför endast vissa konkreta byggnadsfysikaliska detaljfrågeställningar.

I föreliggande kapitel inriktas redovisningen på de två stora huvudproblemen som var upphov till hela projektet, nämligen

frostskador i tegelmurverket

fuktskador i träregelväggen

För varje huvudproblem diskuteras inverkan av olika byggnadstekniska detaljer. Till skillnad från kapitel 5 baserar sig här diskussionen på alla mätningar som kan belysa situationen. Detta innebär att det är oundvikligt med en viss upprepning av kommentarerna från kapitel 5.

I den mån det finns liknande mätningar eller diskussioner i tillgänglig litteratur görs även vissa jämförelser med dessa. Vidare redovisas kvarstående oklarheter och ytterligare undersökningar som bör genomföras.

Vid den slutliga bedömningen av hela konstruktionen bör en riskanalys genomföras. Underlagen för en sådan riskanalys är för närvarande bristfälliga, främst med avseende på klimatdata. Vid en sådan riskanalys skall sannolikheten för olika samverkande faktorer uppskattas. Detta kan till exempel gälla sannolikheten för att ett eller flera kraftiga regn följs av en varm period med mycket solsken. Principerna för en sådan riskanalys beskrivs av Nevander & Elmarsson (1991).

6.1 Frostskador i tegelmurverket

6.1.1 Allmänt

Frostskador i tegelmurverket visar sig i allmänhet som spjälkningar i tegelytan. Tjockleken på dessa spjälkningar varierar oftast i området 1-5 mm. Den direkta orsaken till spjälkningen är att en blöt tegelsten utsätts för frysning/tining. Avgörande för om spjälkningen sker är således fukt- och temperaturförhållandena i stenen, samt stenens förmåga att motstå uppträdande påfrestningar. Den fortsatta behandlingen inskränker sig i huvudsak till hur olika faktorer påverkar fukt- och temperaturtillståndet i tegelmurverket.

Enligt utförda mätningar, både i provhus och i fält, sker en relativt snabb uppfuktning av tegelskalet under hösten. Under en tvåveckorsperiod steg i ett fall fukttinnehållet från "torrt" till kapillärmättnad. Den enda fuktkällan för denna uppfuktning är slagregn. För att kapillärmätta en 1/2-stens tegelmur (av "normaltegel") krävs cirka 20 kg vatten per m². Denna mängd motsvarar några typiska höstregn. Vid extrema regn, mer än 20 kg/m², kan mycket väl en tegelvägg kapillärmättas direkt. Några egna mätningar av detta finns inte men beskrivs av Künzel & Mayer (1983). Sådana regn kan mycket väl

förekomma på de flesta platser i Sverige enligt Nevander & Elmarsson (1981). Det finns alltså stora förutsättningar för att tegelväggar blir kapillärmättade under hösten. Fryser väggen i kapillärmättat tillstånd utsätts den för hårda frostpåfrestningar. För att minska dessa påfrestningar finns två olika vägar, antingen sänka fukttinnehållet eller minska risken för frysning/tining. Lyckas man eliminera de allra högsta fuktillstånden förbättras förhållandena kraftigt. Under dåliga uttorkningsbetingelser, som ofta gäller under höst/vinter på många platser i Sverige, blir i annat fall påfrestningarna på teglet mycket stora.

I de följande avsnitten diskuteras hur klimat och olika byggnadstekniska utföranden påverkar fukt- och temperaturtillståndet i skalmuren, och därmed indirekt frostpåkänningen.

6.1.2 Klimatets inverkan

Enligt tillgängliga slagregnskator finns det förutsättningar för att en 1/2-stens tegelmur skall bli vattenmättad någon gång på de flesta platser i Sverige. För att frostska ska ske måste även frysning ske. Kapillärmättningen måste alltså inträffa samtidigt som frysning. Studeras en enskild byggnad så är alltid två fasader (normalt syd- och västfasad) mer utsatta för regn, medan någon fasad (normalt norrfasaden) endast träffas av mycket små slagregnmängder.

Under mätperioden 1987-1989 var det relativt lite slagregn i Lund. Trots detta blev väggarna kapillärmättade någon gång under vintern. De väggar som belastades med extra regn blev inte blötare än de andra väggarna under "regnperioder". Däremot ökar genomsnittsvärdet under en längre tid och antalet gånger väggen är kapillärmättad.

Oftast framhålls att fasader i Norrland klarar sig bättre på grund av att väggarna hela vintern är "djupfrysta". Mätningarna har klart visat att så behövs inte vara fallet. Även under mycket kalla perioder kan solen tina ytan och medföra nollpunktspassager. Detta gäller i huvudsak sydfasader. För norrfasader är påståendet riktigt.

Sammantaget innebär ovanstående att man alltid måste räkna med att någon fasad (främst sydfasaden) på en byggnad kan utsättas för frysning/tining när den är kapillärmättad. På vissa orter kanske detta sker många gånger per år medan det på andra orter sker mer sällan, kanske vart 30:e år.

Eventuella byggnadstekniska åtgärder för att minska frostpåkänningen skall enligt ovanstående inriktas på att minska fukttinnehållet och antalet frysningar/tiningar under vintern.

6.1.3 Luftspaltens inverkan

Luftspalten tillskrivs ofta fördelen att torka ut tegelskalet. Med hänvisning till detta försöker man ofta öka ventilationen genom att byta ut stenar mot galler när en frostska inträffat.

Mätningarna har dock visat att ventilationen i spalten har en försumbar inverkan på teglets fuktillstånd. Detta framgår av både de direkta mätning-

arna av fuktkvoter i skalmuren och av luftomsättningsmätningarna i spalten. Vid 5 luftomsättningar per timme i en 20 mm bred spalt och om spaltluften kan ta upp 5 g vatten per m^3 blir den maximala uttorkningen under ett dygn cirka 0.01 kg vatten per m^2 väggyta. Detta skall jämföras med normala slagregn i storleksordningen 1-3 kg/ m^2 . Även om man lyckas fördubbla ventilationen så är uttorkningseffekten hos luftspalten försumbar!

Även ur temperatursynpunkt saknar luftspalten praktisk betydelse. Skillnaden mellan temperaturerna på tegelytorna i den smala och den breda luftspalten är maximalt 0.5°C. På ytterytan, som är avgörande för frostpåkänningen, är skillnaden ännu mindre.

6.1.4 Regelväggens inverkan

I debatten kring skalmurskonstruktionen framförs ofta att en ökande isolertjocklek medför en väsentligt större risk för frostsador i tegelskalet.

Utförda mätningar visar att för normala isolertjocklekar (100-300 mm) är så icke fallet. Både fukttillstånd och antal nollpunktspassager är identiska i väggar med olika isolertjocklek. Saknas isolering helt (eller vid mycket små isolertjocklekar) finns dock en klar inverkan.

Den största skillnaden i yttemperatur som uppmätts (vid cirka -20°C utomhus) är mindre än 1°C. Normalt är skillnaden väsentligt mindre. Fasadens orientering har däremot en helt dominerande betydelse för temperaturtillståndet i tegelskalet. På sydvästfasaden har nollpunktspassager skett i ytterytan vid -15°C i uteluften.

6.1.5 Den utvändiga ytbehandlings inverkan

Ytbehandlingen har en mycket stor inverkan på tegelskalets fukttillstånd, och därmed även på frostpåkänningen.

En traditionell tjockputs minskar vattenupptagningen kraftigt och dämpar snabba variationer. Även uttorkningen hindras självklart till en viss del. I normala klimatsituationer torde dock tjockputsen vara gynnsam, eftersom både medelfuktnivån blir lägre och tillfälliga toppar direkt efter regn dämpas.

En vattenavvisande impregnering, som fungerar på avsett sätt, ger en helt torr vägg och eliminerar därför helt frostskaferisken. Inom fasadbranschen finns dock en stor misstro mot vattenavvisande preparat. Motiven för denna misstro är oklara. Utan tvekan kan det finnas risker. Detta gäller dock främst vid ett felaktigt eller slarvigt användande av preparaten. Ett exempel på detta är att impregnera redan frostsadade tegelmurar. Latenta skador kan då komma i dagen efter impregneringen. Vid regn kommer sedan dessa skadeställen att absorbera mycket vatten och lokalt ge större frostpåkänningar än innan behandlingen. Användandet av vattenavvisande impregneringar skall studeras i detalj i ett nytt forskningsprojekt.

Mellan ytterligheterna tjockputs och vattenavvisande impregnering finns en mängd varianter som inte studerats i aktuellt projekt. Erfarenhetsmässigt anses dock att en organisk färg direkt på tegel är en tveksam metod. Orsaken till detta är främst sprickbildning vid fogar, vilket kan medföra lokala

frostangrepp. Dessa lokala angrepp kan sedan utvecklas mycket snabbt.

6.1.6 Övrigt

Den arkitektoniska utformningen kan ha en viss betydelse för slagregnsbelastningen mot fasaderna, och därmed även på frostpåkänningen. Stora taksprång eliminerar en del slagregn. Att kvantifiera inverkan av taksprång är för närvarande omöjligt. Förnuftsmässigt bör de ha en viss betydelse, främst på låga byggnader. Även om taksprången inte eliminerar slagregn vid kraftig vind så kanske de mindre slagregnen hindras från att träffa väggen, vilket medför ett lägre medelfukttillstånd. Detta kan i sin tur medföra att vissa av de kraftiga regnen inte förmår kapillärmätta väggen. Man kan alltså förvänta att antalet tillfällen då kapillärmättnad råder samtidigt som frysning sker reduceras av stora taksprång.

På höga byggnader torde taksprångens inverkan vara försumbar. Här kan istället balkonger och skärmar ha betydelse genom att dessa "avleder" en del slagregn från fasaderna.

6.1.7 Slutsatser

Risken för att en skalmur utsätts för frysning/tining i kapillärmättat tillstånd föreligger alltid någon gång på de flesta platser i Sverige. Risken är självklart större på orter med mycket slagregn under hösten/vintern. På vissa orter sker det sannolikt varje år på vissa fasader. På andra orter kanske det sker vart 10:e eller 50:e år.

Varje åtgärd som minskar fukttinnehållet i väggen medför mindre risk för frostsador. Exempel på sådana åtgärder är vissa ytbehandlingar och arkitektonisk utformning, till exempel stora taksprång. Dessa åtgärder kan göra situationen något bättre men inte eliminera risken. Andra byggnadstekniska åtgärder, till exempel mindre isolering i väggen, bredare luftspalt eller större ventilationsöppningar, har ingen som helst betydelse för frostsaderisken.

Med hänsyn till ovanstående måste murverket dimensioneras som en kallmur och utföras med mursten och fogbruk som tål frysning i kapillärmättat tillstånd. Att använda mindre frostbeständiga material och kompensera detta med andra åtgärder är principiellt fel vid nyproduktion. Har man fått en frostsada i befintlig byggnation kan man å andra sidan försöka förhindra eller minska en fortsatt skadeutveckling. En tjockputs torde i ett sådant fall vara det för dagen bästa alternativet.

6.2 Fuktsador i regelväggen

6.2.1 Allmänt

De fuktproblem som främst är aktuella i regelväggen är direkt vattenläckage, mögel, missfärgning på insidan och dålig lukt. Problemen kan drabba

både den yttre och den inre delen av regelväggen. Klittner (1983) ger exempel på detta.

Orsaken till problemen är praktiskt taget alltid att fukt tränger in utifrån. För att undvika direkt läckage och kapillärsugning från tegelskalet konstrueras traditionellt en skalmur med en luftspalt mellan tegelskalet och regelväggen. Förekomst av brukstuggor och brukspill medför dock ofta att vatten kan tränga in i regelväggen. Även om luftspalten är ren eller ersatt med ett kapillärbrytande material kan fukt tränga in utifrån genom diffusion. Om solen värmer upp det blöta murverket blir ånghalten mycket hög. Ett blött murverk med temperaturen $+40^{\circ}\text{C}$ ger en ånghalt på cirka 50 g/m^3 . Den maximala ånghalten i insidan av regelväggen är i storleksordningen 20 g/m^3 . Följden av detta blir en kraftig ångtransport in i väggen och en hög relativ luftfuktighet. I vissa fall kan även kondens uppstå. Avgörande för detta är rådande fukt- och temperaturtillstånd.

Risken för att en fuktig skalmur skall utsättas för solsken och få en hög temperatur finns alltid i alla väggar utom norrfasader. Avgörande för om problem uppstår är hur ofta och länge detta sker samt den byggnadstekniska utformningen. Sker det en eller två dygn per år uppstår sannolikt inga problem. Sker det däremot ofta eller under lång tid ökar risken kraftigt. Byggnadstekniska åtgärder är då enda sättet att minska risken för att problem skall uppstå. I fallet med risk för frostsador krävdes att skalmuren skulle vara kapillärmättad. I fallet med ångtransport inåt krävs däremot inte speciellt höga fuktinnehåll i muren. Det är helt tillräckligt att muren är "fuktig".

Enligt ovanstående är det alltid kombinationen regn-sol-väggkonstruktion som är avgörande för risken för fuktsador i regelväggen. I det följande avsnitten diskuteras hur klimat och byggnadsteknisk utformning påverkar fukt- och temperaturtillståndet i väggen, och därmed indirekt risken för fuktsador.

I detta sammanhang måste betonas att mätningar enbart utförts på en låg byggnad, cirka 2.5 m hög, och med mineralull som isolering. Med annan isolering och i en hög byggnad kan vissa slutsatser förändras. I möjligaste mån anges när detta är sannolikt.

6.2.2 Klimatets inverkan

Solstrålningen mot fasader varierar kraftigt med väderstreck, årstid och geografiskt läge. På norrfasader är alltid solstrålningen obetydlig. Under våren och hösten är solstrålningen störst mot söderfasader medan under sommaren solstrålningen är störst mot väst- och östfasader. Under sommaren är solstrålningen något större i norra än i södra Sverige. Under höst och vår gäller motsatsen.

Utomhustemperaturen är högst i södra Sverige och avtar mer och mer norrut. Under sommarhalvåret är medeltemperaturen i södra Sverige $5-10^{\circ}\text{C}$ högre än i norra Sverige.

Sammantaget innebär ovanstående att medeltemperaturen i skalmuren är högre i södra Sverige, speciellt på söderfasader under vår/höst och öst/västfa-

sader under sommaren.

Slagregnsbelastningen är generellt större i södra och västra Sverige än i övriga delar av landet. Mot syd- och västfasader är slagregnsbelastningen väsentligt större i södra och västra Sverige än i övriga delar av landet. Lokalt kan det naturligtvis förekomma avvikelser. Vid Norrlandskusten kan till exempel kraftiga slagregn förekomma på öst- och sydfasader.

I södra och västra Sverige samverkar sålunda temperatur, solstrålning och slagregn till att ge en stor risk för en hög ånghalt i skalmuren. Detta gäller både maximivärdet och varaktigheten för den höga ånghalten.

Utförda temperaturmätningar visar höga värden i SV-väggen. På teglets ytteryta respektive ytan mot luftspalten har uppmätts +50°C respektive +40°C. Detta är extremvärden, men även medelvärdet under dygnet kan ligga klart över inomhustemperaturen flera veckor i sträck. Detta medför då en långvarig fukttransport inåt. Mörkare kulör ger en ännu högre temperatur. Enligt tyska mätningar medför en svart yta cirka 10°C högre maxtemperatur, Künzel (1965). Detta innebär att för mörka kulörer finns "temperaturmässiga" förutsättningar för en relativt långvarig fukttransport inåt i hela Sverige.

Utförda fuktmetningar visar ofta låga fukttillstånd under sommaren. Under tidig vår har dock relativt höga fukttillstånd uppmätts.

Även om utförda mätningar visat låga fukttillstånd under sommaren så kan det mycket väl mellan mättidpunkterna förekommit högre värden. Det kan räcka med ett enda regndygn för att det skall ta några veckor innan väggen är torr igen. Inträffar solsken under denna tid blir ånghalten i skalmuren mycket hög, vilket innebär stora förutsättningar för en fukttransport inåt.

Sammanfattningsvis gäller att det finns mycket goda förutsättningar för en ångtransport inåt i skalmurskonstruktionen. Även varaktigheten av denna ångtransport kan bli relativt lång. Speciellt utsatta i detta avseende är syd- och västfasader i södra och västra Sverige.

6.2.3 Ångspärrens inverkan

Ångspärren har en helt avgörande betydelse för fukttillståndet i regelväggen. Finns ingen ångspärr kan den fukt som transporteras inåt i ångfas fortsätta in i rummet. Härigenom blir fukttillståndet väsentligt lägre i regelväggen än om fukttransporten in i rummet hindras av en ångspärr. Ångspärren hindrar inte fukttransporten i den yttre delen av regelväggen. Om temperaturen i den yttre fuktiga delen av väggen är högre än innetemperaturen blir resultatet en ständig fukttransport inåt, vilket i sin tur medför kondensation på utsidan av ångspärren.

I de väggtyper som har haft ångspärr har ovanstående bekräftats. Mycket höga fukttillstånd, kondens och missfärgning av reglarnas insidor har konstaterats. Dessa mätningar har dock bara gjorts på väggar med 20 mm luftspalt respektive utan luftspalt.

Ångspärren medför sålunda en kraftig höjning av fukttillståndet och i många fall att kondens uppstår på utsidan av ångspärren. Denna kondens

kan sedan rinna ner och lokalt ge mycket höga fuktkvoter i regler och syll.

6.2.4 Luftspaltens inverkan

Enligt mätningarna blir den relativa luftfuktigheten i alla luftspalter mycket hög när skalmuren är blöt och varm, i stort sett råder 90-100%. Enligt dessa mätningar har luftspalten en obetydlig inverkan. Vid mycket intensiv solstrålning blir den termiska drivkraften stor, vilket ökar ventilationseffekten. Fuktigheten i spaltluften är fortfarande hög, men eftersom även temperaturen påverkas av ventilationen erhålles en gynnsam effekt. I fallet med en bred luftspalt och stora ventilationsöppningar har mätningarna visat att temperaturen blir cirka 5°C lägre än i andra väggtyper. Detta medför i sin tur en lägre ånghalt och en mindre fukttransport inåt. Effekten av en 20 mm luftspalt med öppen stötfog är i detta avseende obetydlig.

En smal luftspalt har däremot betydelse som kapillärbrytning och dränering mellan skalmur och bakomliggande vägg. En förutsättning för detta är då att det inte finns brukstuggor eller bruksspill i spalten. Finns detta kommer vatten att sugas in och ge höga fukttillstånd i vindskyddsskivor och yttre delen av reglarna. För att undvika detta måste man då placera ett annat kapillärbrytande skikt utanför regler och eventuell vindskyddsskiva, till exempel en kapillärbrytande värmeisolering.

Luftspalten kan alltså ha betydelse för fukttillståndet i regelväggen. Den smala luftspaltens inverkan är obetydlig. Den breda luftspalten kan sägas fungera som en säkerhetsventil. Under normala betingelser har den ingen större funktion. Vid intensiv solbestralning ökar dock ventilationen kraftigt, vilket medför en lägre ånghalt.

Ovanstående gäller enbart låga byggnader och "obrutna" luftspalter. Vid höga byggnader är sannolikt inverkan av den breda luftspalten mindre, eftersom luften skall transporteras längre. Möjligheten ökar därmed för att spaltluftens fukt- och temperaturnivå blir högre. Även fönsterinfästningar och dylikt kan hindra luftflödet väsentligt.

Utförda mätningar bör kompletteras med mätningar på höga byggnader med olika typer av "hinder" i spalten.

6.2.5 Isoleringens inverkan

Isolertjocklekens inverkan på fukttillståndet under sommartid är försumbar. Under vintern medför dock en mindre isolertjocklek att fukttillståndet minskar, främst i den yttre delen av regelväggen. Detta är helt naturligt eftersom temperaturen blir högre i denna vägg.

En isolerskiva utanför reglarna medför att temperaturen i reglarna stiger, vilket i sin tur medför ett lägre fukttillstånd i reglarna under vintern.

De utförda mätningarna har enbart gjorts med isolering av mineralull. Cellplast har väsentligt högre diffusionsmotstånd och skulle sannolikt ha påverkat fukttillståndet i hög grad. Nya mätningar med cellplast skall genomföras.

6.2.6 Vindskyddsskivans inverkan

Vindskyddet har normalt bestått av gipsskivor. Vid vissa mätningar har dessa bytts mot ett tunnt pappskikt eller utelämnats helt. Detta har inte haft någon inverkan på fuktillståndet.

Ett större ångmotstånd i den yttre vindskyddsskivan bör ha betydelse för regelväggens fuktillstånd. Detta skall studeras i nya mätningar. Bland annat skall cellplast användas som yttre isolering/vindskydd.

6.2.7 Den utvändiga ytbehandlings inverkan

En utvändigt ytbehandling kan ha en helt avgörande betydelse för fuktillståndet i regelväggen. Lyckas man hindra vatten att tränga in i skalmuren finns ju inget vatten som kan transporteras inåt. Den vattenavvisande impregneringen har vid mätningarna medfört ett mycket lågt fuktillstånd i regelväggen. Även den traditionella tjockputsen gav en väsentlig sänkning av fuktillståndet. Att uttala sig generellt om ytbehandlingar går inte, eftersom det är de fuktmekaniska egenskaperna som är avgörande. De flesta ytbehandlingar torde dock ha en gynnsam inverkan.

Att använda ytbehandlingar som en förebyggande åtgärd vid framtida byggnation är inte realistiskt. Konstruktionen bör klara sig utan kosmetika. Däremot torde vattenavvisande impregneringar vara bra alternativ för att lösa problem som redan finns.

6.2.8 Övrigt

Förutom tidigare diskuterade faktorer kan fuktillståndet påverkas av ytterligare faktorer som inte studerats närmare. Tre sådana faktorer är teglets vattenabsorption, tegelmurens tjocklek och kulör.

Ett tegel med mindre vattenabsorption medför ett lägre medelfuktinnehåll och större möjligheter till en snabb uttorkning. Även om risken för en hög ånghalt finns i ett sådant tegel torde varaktigheten av den höga ånghalten bli väsentligt mindre.

Tegelmurens tjocklek kan påverka både fukt- och temperaturtillståndet. En tunnare mur ger mindre fuktkapacitet och har sålunda samma inverkan som ett tegel med mindre vattenabsorption. Samtidigt har den tunnare muren en mindre värmekapacitet, vilket kan medföra en högre temperatur. Detta ger i sin tur en högre fuktbelastning på regelväggen!

Kulören på tegelmuren har stor betydelse för temperaturen i samband med solstrålning. Temperaturen i en vit vägg blir väsentligt lägre än i en mörk vägg. Identiska väggar, bortsett från kulören, kan mycket väl få yttemperaturen +40°C respektive +60°C. Varierar dessutom tjockleken kan skillnaden bli ännu större. En tunn och mörk mur ger i detta avseende en stor belastning på regelväggen. En tjock och vit mur är å andra sidan gynnsam.

Dessa faktorer skall delvis studeras ytterligare i nya mätningar och beräkningar.

6.2.9 Slutsatser

Det finns alltid förutsättningar för att själva skalmuren blir blöt, vilket medför risk för att vatten kan transporteras vidare in i väggen. Direkt kapillärsugning inåt är lätt att eliminera med ett kapillärbrytande skikt, till exempel en luftspalt eller icke kapillärsugande isolering.

Under inverkan av solstrålning kan temperaturen hos skalmuren stiga kraftigt. Är muren samtidigt blöt uppstår en kraftig ånghaltsgradient inåt. Härav följer att det finns förutsättningar för en fukttransport inåt i ångfas med åtföljande kondensrisk. Detta gäller främst syd- och västfasader i södra och västra Sverige. Att helt eliminera dessa risker är svårt. Däremot kan åtgärder vidtas för att kraftigt reducera risken för en alltför stor fukttransport inåt. Ofta ligger en konstruktion precis på gränsen till att klara sig. Små byggnadstekniska åtgärder kan vara tillräckliga. Det kan till exempel vara tillräckligt att sänka temperaturen i konstruktionens yttre delar med några grader!

I den traditionella skalmurskonstruktionen med en 20 mm luftspalt och öppna stötfogar nedtill är risken för höga fukttillstånd och kondens på utsidan av ångspärren stor. Avlägsnas ångspärren på insidan blir fukttillståndet väsentligt lägre. En bredare luftspalt, 50 mm, och större ventilationsöppningar har en positiv inverkan i samband med solstrålning mot fasaden. Kombinationen bred luftspalt och ingen ångspärr ger ett lågt fukttillstånd i regelväggen. Problemet med sommarkondens kan teoretiskt lösas genom att ta bort ångspärren. Detta skulle dock kunna ge problem bakom tavlor och möbler. Vidare används ytbehandlingar på insidan som ibland är relativt täta. Problemet med höga fukttillstånd måste alltså lösas på något annat sätt. Ett steg i rätt riktning är den breda luftspalten. Om detta är tillräckligt är osäkert. Ytterligare mätningar i detta avseende planeras. Klart är emellertid att inverkan av en smal luftspalt, isolertjocklek och normala vindskyddsskivor är obetydlig.

Utvändig ytbehandling och kulör har en mycket stor betydelse i sammanhanget. Används en ytbehandling som håller väggen torr eller en kulör som inte absorberar så mycket solstrålning finns överhuvudtaget inga förutsättningar för någon fukttransport inåt.

Ett annat sätt att reducera problemet kan vara att använda en mer diffusionstät isolering och/eller vindskyddsskiva. Några mätningar på detta har inte gjorts men planeras i samband med nya mätningar.

De positiva inverkan av den breda luftspalten är enbart dokumenterad för låga byggnader utan "störande" hinder i luftspalten. I höga byggnader med fönster och dylikt kan inverkan av den breda luftspalten vara väsentligt mindre.

LITTERATUR

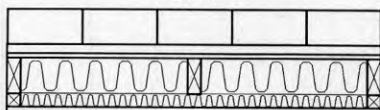
1. Andersen, N E, 1985, Sommerkondens - en risiko med indvendig efterisolering af ydermure? Statens byggeforskningsinstitut. SBI-rapport 171. Hörsholm.
2. Byggeforskningens informationsblad B8:1975. Skalmurar. Stockholm.
3. Carlsson, T, 1989a, Frostskadade skalmurar. Avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola. Rapport TVBH-3015. Lund.
4. Carlsson, T, 1989b, Frostprovning av tegel, BM-metoden. Avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola. Rapport TVBM-7115. Lund.
5. Granholm, H, 1958, Om vattengenomslag i murade väggar. Chalmers tekniska högskolas handlingar Nr 195. Göteborg.
6. Gustavsson, S, 1989, Fuktströmning i skalmursväggar. Ej slutfört examensarbete vid avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola.
7. Gustén, J, 1989, Wind pressures on low-rise buildings. Division of Structural Design, Chalmers. Publication 1989:2. Göteborg.
8. Klittner, L-E, 1983, Felaktig murning och för smal luftspalt har orsakat fuktskador. Plan och bygg 1-1983. Stockholm.
9. Künzle, H, 1965, Die thermische Beanspruchung von Aussenputzen. Berichte aus der Bauforschung. Heft 42. (Wilhelm Ernst & Sohn.) Berlin.
10. Künzle, H & Mayer, E, 1983, Wärme- und Regenschutz bei zweischaligem Sichtmauerwerk mit Kerndämmung. Fraunhofer-Institut für Bauphysik. B Ho 9/83. Holzkirchen.
11. Naisan, F, 1989, Aduct. Avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola. Ej publicerat.
12. Nevander, L E & Elmarsson, B, 1981, Fukthandboken. AB Svensk Byggtjänst. Stockholm.
13. Nevander, L E, 1984, Forskning och utveckling inom murat och putsat byggande i Sverige. Nordiskt murverkssymposium 1984. Statens råd för Byggnadsforskning. Rapport R113:1984. Stockholm.
14. Nevander, L E & Elmarsson, B, 1991, Fuktdimensionering av träkonstruktioner - Riskanalys. Statens råd för Byggnadsforskning. Rapport RXX:1991. Stockholm.
15. Southern, J R, 1988, Summer condensation on vapour checks. BRE Information Paper. IP 12/88.

16. Southern, J R, 1989, Interstitial Summer Condensation in Internally Insulated Solid Masonry Walls. *Masonry International*, Vol 3, No 2, 1989.
17. Uvslökk, S, 1987, The importance of wind barriers for insulated wood frame constructions. *Building physics in the nordic countries*. Statens råd för Byggnadsforskning, D13:1988. Stockholm.
18. Wadsö, L, 1986, Luftrörelser i skalmursspalter. Avd för Byggnadsmaterial, LTH. Rapport TVBM-5009. Lund.
19. Wilson, A G, 1965, Condensation in insulated masonry walls in summer. RILERM/CIB symposium "Moisture problems in buildings". Helsinki.
20. Vähäkallio, P, 1984, Skalmurens vattentäthet. Nordiskt murverkssymposium 1984. Statens råd för Byggnadsforskning. Rapport R113:1984. Stockholm.

BILAGA

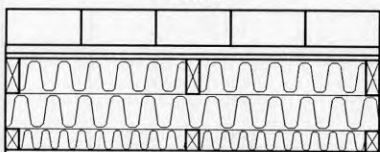
Provväggar SV1:1 - SV5:1, juli 1986 - april 1989.

SV1:1



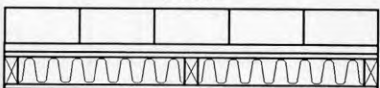
120 tegel
20 luftspalt, öppen stötfog
9 gips
120 stående träreglar + min.ull
45 liggande träreglar + min.ull
13 gips

SV2:1



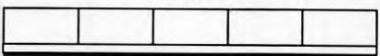
120 tegel
20 luftspalt, öppen stötfog
9 gips
120 stående träreglar + min.ull
120 liggande träreglar + min.ull
70 stående träreglar + min.ull
13 gips

SV3:1



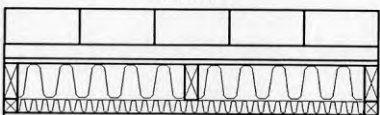
120 tegel
20 luftspalt, öppen stötfog
9 gips
95 stående träreglar + min.ull
13 gips

SV4:1



120 tegel
20 luftspalt, ventilgaller
Plexiglas

SV5:1

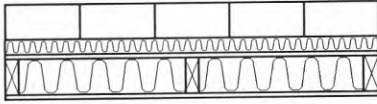


120 tegel
50 luftspalt, ventilgaller
9 gips
120 stående träreglar + min.ull
45 liggande träreglar + min.ull
13 gips

BILAGA

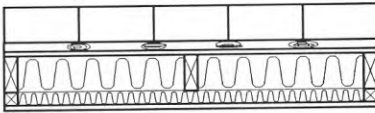
Provväggar SV6:1 - SV10:1, juli 1986 - april 1989.

SV6:1



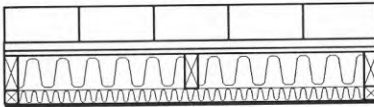
120 tegel
50 min.ull, öppen stötfog
9 gips
120 stående träreglar + min.ull
13 gips

SV7:1



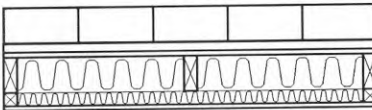
120 tegel
20 luftspalt med bruks-
tuggor, öppen stötfog
9 gips
120 stående träreglar + min.ull
45 liggande träreglar + min.ull
13 gips

SV8:1



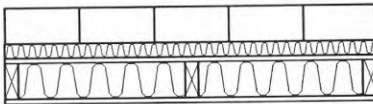
120 tegel
20 luftspalt, öppen stötfog
9 gips
120 stående träreglar + min.ull
45 liggande träreglar + min.ull
Plexiglas

SV9:1



120 tegel
20 luftspalt, öppen stötfog
9 gips
120 stående träreglar + min.ull
45 liggande träreglar + min.ull
13 gips

SV10:1

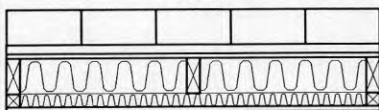


120 tegel
50 min.ull
9 gips
120 stående träreglar + min.ull
13 gips

BILAGA

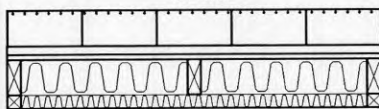
Provväggar SV1:2 - SV5:2, maj 1989 - tills vidare.

SV1:2



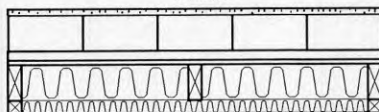
- 120 tegel
- 20 luftspalt, öppen stötfog
- 9 gips
- 120 stående träreglar + min.ull
- 45 liggande träreglar + min.ull
- 13 gips

SV2:2



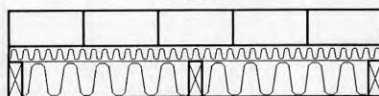
- Vattenavvisande impregnering
- 120 tegel
- 20 luftspalt, öppen stötfog
- 9 gips
- 120 stående träreglar + min.ull
- 45 liggande träreglar + min.ull
- 13 gips

SV3:2



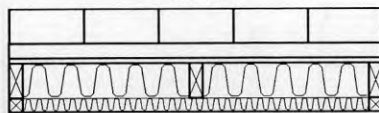
- 12 puts
- 120 tegel
- 20 luftspalt, öppen stötfog
- 9 gips
- 120 stående träreglar + min.ull
- 45 liggande träreglar + min.ull
- 13 gips

SV4:2



- 120 tegel
- 50 min.ull, öppen stötfog
- 120 stående träreglar + min.ull
- Plexiglas

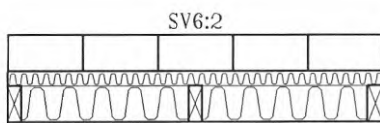
SV5:2



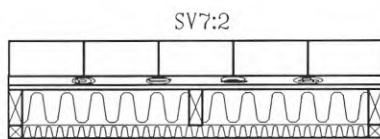
- 120 tegel
- 50 luftspalt, ventilgaller
- 9 gips
- 120 stående träreglar + min.ull
- 45 liggande träreglar + min.ull
- 13 gips

BILAGA

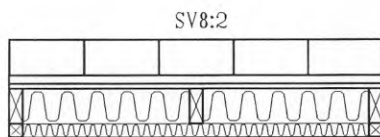
Provväggar SV6:2 - SV10:2, maj 1989 - tills vidare.



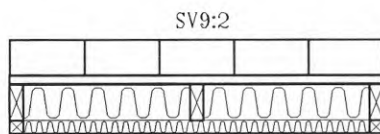
120 tegel
50 min.ull, öppen stötfog
120 stående träreglar + min.ull
13 gips



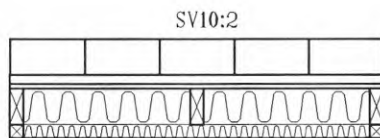
120 tegel
20 luftspalt med bruks-
tuggor, öppen stötfog
9 gips
120 stående träreglar + min.ull
45 liggande träreglar + min.ull
13 gips



120 tegel
20 luftspalt, öppen stötfog
9 gips
120 stående träreglar + min.ull
45 liggande träreglar + min.ull
Plexiglas



120 tegel
20 luftspalt, öppen stötfog
Papper
120 stående träreglar + min.ull
45 liggande träreglar + min.ull
13 gips

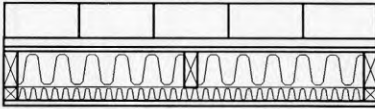


120 tegel
20 luftspalt
9 gips
120 stående träreglar + min.ull
45 liggande träreglar + min.ull
13 gips

BILAGA

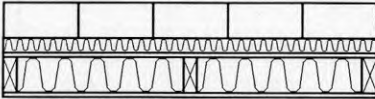
Provväggar NO1 - NO6, juli 1986 - tills vidare.

N01



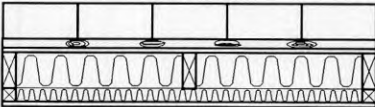
120 tegel
20 luftspalt, öppen stötfog
9 gips
120 stående träreglar + min.ull
45 liggande träreglar + min.ull
13 gips

N02



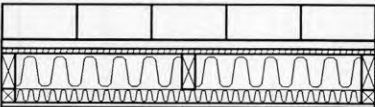
120 tegel
50 min.ull, öppen stötfog
9 gips
120 stående träreglar + min.ull
13 gips

N03



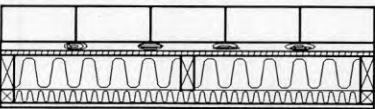
120 tegel
20 luftspalt med bruks-
tuggor, öppen stötfog
9 gips
120 stående träreglar + min.ull
45 liggande träreglar + min.ull
13 gips

N04



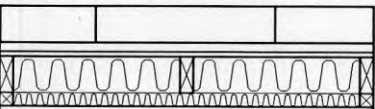
120 tegel
20 luftspalt, öppen stötfog
13 asfaboard
120 stående träreglar + min.ull
45 liggande träreglar + min.ull
13 gips

N05



120 tegel
20 luftspalt med bruks-
tuggor, öppen stötfog
13 asfaboard
120 stående träreglar + min.ull
45 liggande träreglar + min.ull
13 gips

N06

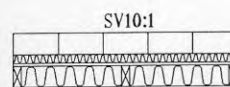
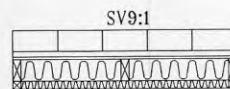
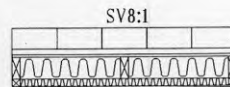
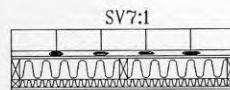
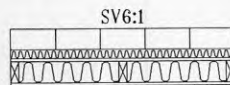
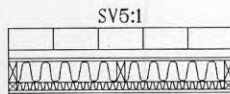
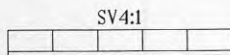
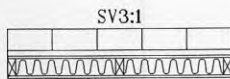
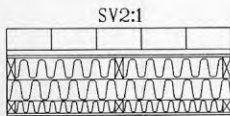
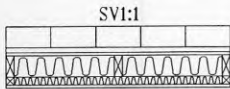


120 lättklinkerblock
20 luftspalt, öppet hål \varnothing 16
9 gips
120 stående träreglar + min.ull
45 liggande träreglar + min.ull
13 gips

SAMMANSTÄLLNING ÖVER VÄGGKONSTRUKTIONER

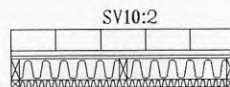
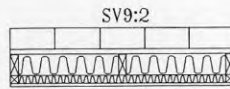
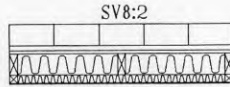
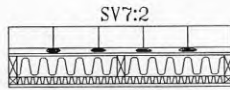
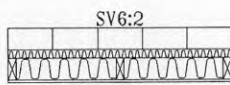
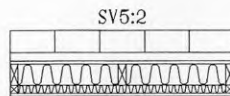
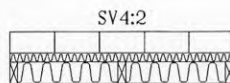
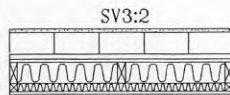
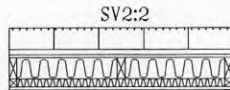
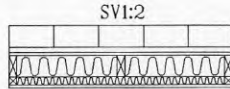
SV

juli 86-april 89



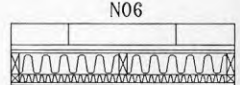
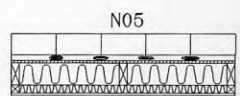
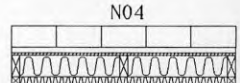
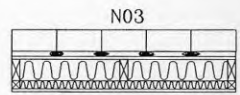
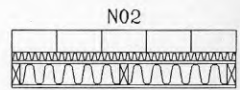
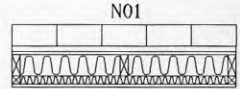
SV

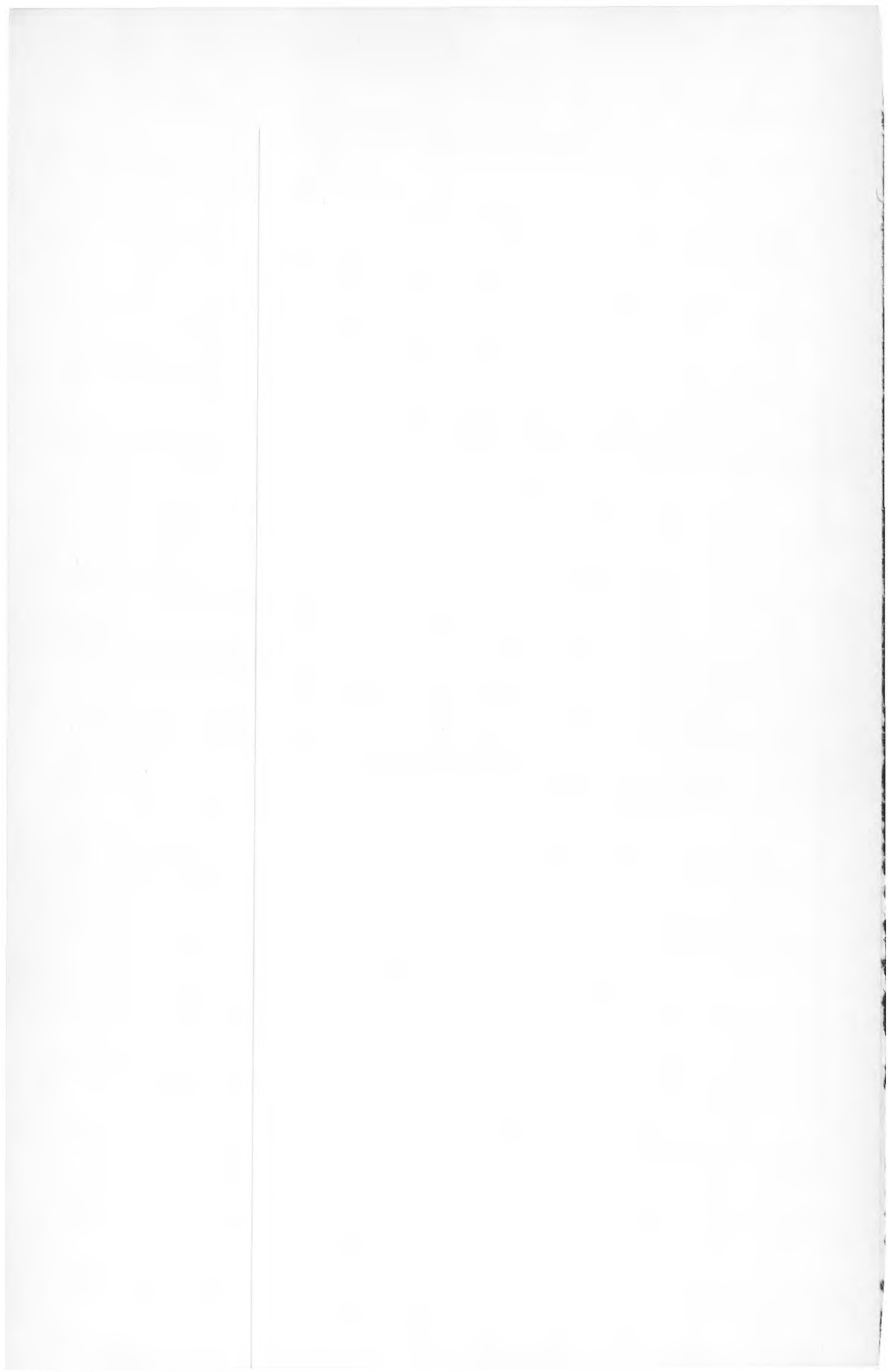
april 89-tillsvidare



NO

hela tiden





R43 : 1991

ISBN 91-540-5360-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6811043

Abonnemangsgrupp:
T. Fastighetsförvaltning
Z. Konstruktioner och material

Distribution:
Svensk Byggtjänst
171 88 Solna

Cirka pris: 60 kr exkl moms