



LUND UNIVERSITY

Vattenavvisande fasadimpregnering : inverkan av sprickor

Sandin, Kenneth

1996

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Sandin, K. (1996). *Vattenavvisande fasadimpregnering : inverkan av sprickor*. (Rapport TVBM; Vol. 3073). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

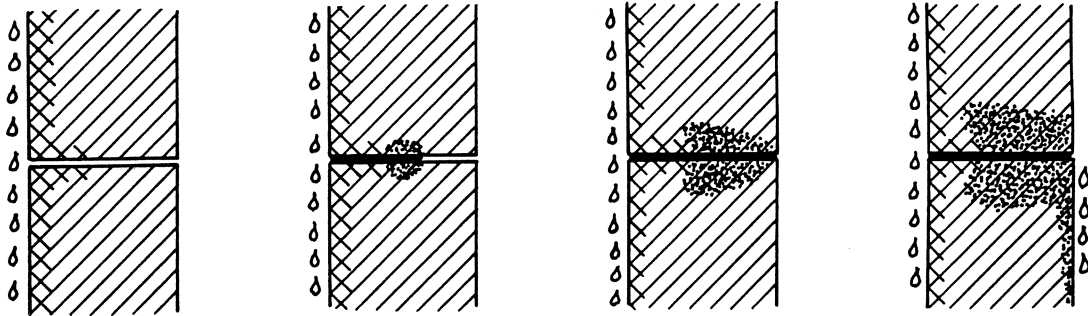
LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00



VATTENAVVISANDE FASADIMPREGNERING

Inverkan av sprickor



Kenneth Sandin



VATTENAVVISANDE FASADIMPREGNERING

Inverkan av sprickor

Kenneth Sandin

ISRN: LUTVDG/TVBM--97/3073--SE(1-59)

ISSN: 0348-7911 TVBM

Lunds Tekniska Högskola
Byggnadsmaterial
Box 118

221 00 LUND

Tel: 046-2227415
Fax: 046-2224427

FÖRORD

Vattenavvisande fasadimpregnering togs upp som ett eget forskningsområde i verksamhetsplanen för fuktgruppen vid Lunds Tekniska Högskola under anslagsperioden 90/91 - 92/93. Projektet har hela tiden finansierats av SBUF och genomförts i samarbete med SKANSKA och PUKAB.

Projektet uppdelades i tre separata delar, nämligen

- sammanställning av grundläggande principer
- laboratorieprovningar
- fullskaleförsök

De grundläggande principerna redovisas i (Sandin, 1994). Två fullskaleförsök redovisas i (Sandin, 1993a och b). Inledande laboratorieprovningar redovisas i (Sandin, 1995a). En omfattande studie av preparatens inträngningsdjup i olika material redovisas i (Krii, 1996). En studie av alkalibeständigheten kommer att redovisas i (Sandin, 1996).

I föreliggande rapport redovisas en fördjupad studie av hur en vattenavvisande impregnering fungerar när det finns sprickor i fasaden.

Lund i september 1996

Kenneth Sandin

INNEHÅLL

FÖRORD	3
INNEHÅLL	5
SAMMANFATTNING	7
1 INLEDNING	9
2 MURVERKETS FUKTMEKANIK	11
2.1 Allmänt	11
2.2 Sprickfri vägg av ett homogent material utan ytbehandling	12
2.3 Sprickfri vägg av ett homogent material med ytbehandling	13
2.4 Sprickfritt murverk utan ytbehandling	16
2.5 Murverk med sprickor mellan mursten och fog	18
2.6 Murverk med vattenavvisande fasadimpregnering	19
2.6.1 Sprickfritt murverk	
2.6.2 Murverk med sprickor där vatten tränger in	
3 OLIKA UPPFATTNINGAR OM TILLÅTEN SPRICKBREDD	23
4 TEORETISK BEDÖMNING AV TILLÅTEN SPRICKBREDD	25
4.1 Generellt om vatteninträngning i sprickor	25
4.2 Vatteninträngning i spricka i fasad med vattenavvisande impregnering .	27
4.3 Tillåten sprickbredd i praktiken	31
5 PROVNING AV VATTENINTRÄNGNING I SPRICKOR	35
5.1 Allmänt	35
5.2 Dynamisk belastning på naturliga sprickor	36
5.3 Statisk belastning på väldefinierade sprickor	37
5.3.1 Provningsmetod	
5.3.2 Material	
5.3.3 Sprickutseende	
5.3.4 Litrering av prover	
5.3.5 Resultat	
5.3.6 Diskussion och kommentarer	
6 SLAGREGNS- OCH VINDBELASTNING I PRAKTIKEN	45
6.1 Allmänt	45
6.2 Vindhastighet	45
6.3 Medelvärden enligt Taesler	47
6.4 Slagregnsbelastning enligt Harderup	49
6.4.1 Allmänt	
6.4.2 Frekvens av slagregn vid viss vindhastighet	
6.4.3 Slagregnsmängd vid viss vindhastighet	
7 KOMMENTARER OCH SLUTSATSER	53
REFERENSER	59

SAMMANFATTNING

En vattenavvisande impregnering fungerar normalt bra om det inte finns några större sprickor i fasaden. Förekomst av sprickor kan däremot medföra att vatten lokalt tränger in och ger höga fukttillstånd eller andra olägenheter.

Hur breda sprickor man kan tillåta i en fasad som skall behandlas är oklart. I olika litteraturuppgifter varierar den tillåtna sprickbredden mellan 0.1 och 1.0 mm. I praktiken används generellt 0.3 mm som maximalt tillåten sprickbredd.

För att belysa frågeställningen och ge ett bättre underlag för att kunna bedöma tillåten sprickbredd redovisas i föreliggande rapport både en teoretisk genomgång och laboratoriemätningar.

Den teoretiska genomgången visar att det inte går att ange någon generell tillåten sprickbredd. Man måste alltid bedöma varje situation individuellt genom att göra en riskbedömning. Härvid skall man bland annat bedöma:

- när sker vatteninträngning?
- hur mycket vatten tränger in?
- hur ofta kan vatten tränga in?
- uttorkningsmöjligheter efter vatteninträngning?
- konsekvenser av vatteninträngning?

För att kunna göra denna riskbedömning måste man känna till väggens konstruktion, förekommande sprickbredder, preparatets effektivitet samt regn- och vindbelastning.

För att få underlag till bedömningen av preparatens förmåga att förhindra vatteninträngning i sprickor har en enkel provningsmetod utvecklats. Resultatet från denna provning kan uttryckas som en "praktisk randvinkel". Med utgångspunkt från denna randvinkel kan man sedan beräkna vid vilken vindhastighet vatteninträngning sker i en spricka med viss bredd. Alternativt kan man naturligtvis beräkna maximalt tillåten sprickbredd vid en viss vindhastighet. Resultaten från laboratorieprovningarna visar att randvinkeln är mindre än vad man normalt anser. De uppmätta randvinklarna för olika preparat var 110 - 120°.

Om randvinkeln är 110° sker vatteninträngning i en 0.3 mm spricka vid vindhastigheten 16 m/s. Detta är en vanlig vindhastighet (hård vind) i samband med slagregn. Konsekvensen blir sålunda att vatteninträngning sker relativt ofta. I en 0.1 mm spricka sker vatteninträngning vid vindhastigheten 28 m/s (storm). Denna vindhastighet är ovanlig, men om man inte kan tillåta någon vatteninträngning blir 0.1 mm en rimlig maximalt tillåten sprickbredd. Att generellt använda denna gräns är dock ett alltför hårt krav. Å andra sidan är 0.3 mm en alltför osäker siffra för att vara en generell gräns.

För att ge ett visst underlag för bedömningen av förekommande regn- och vindbelastningar redovisas klimatdata för några orter i Sverige. Variationerna mellan olika orter är mycket stor och måste beaktas.

1 INLEDNING

Många skador eller andra olägenheter i ytterväggar beror på ett högt fuktinnehåll, vilket i sin tur oftast beror på hög vattenabsorption vid slagregn. Som exempel kan nämnas mögel och röta i reglar och syll i den traditionella skal-murskonstruktionen och direkt vatteninträngning i homogena murverk. Andra negativa effekter av ett högt fuktinnehåll är sämre värmeisolering, snabbare nedbrytning och ökad nedsmutsning.

Genom att behandla fasaden med en vattenavvisande impregnering elimineras eller reduceras vattenupptagningen vid slagregn. På en fasad utan sprickor eller andra defekter fungerar normalt en sådan impregnering utan anmärkning. Vid förekomst av större sprickor är däremot en vattenavvisande impregnering olämplig, eftersom följden kan bli en stor vatteninträngning i anslutning till sprickan.

Att vissa utförda impregneringar inte fått avsedd effekt kan säkerligen förklaras med sprickor i fasaden. Att sprickor är ett stort problem i samband med vattenavvisande impregneringar är allmänt känt. Frågan om hur breda sprickor som kan tillåtas är däremot i högsta grad oklar. De flesta materialtillverkare anger 0.3 mm som en acceptabel sprickbredd. Vid en grundlig genomgång av litteraturen inom ämnesområdet finner man att olika författare anger den tillåtna sprickbredden i intervallet 0.1 - 0.5 mm! De angivna sprickbredderna grundar sig antingen på enstaka laboratorieprovningar eller "praktiska erfarenheter".

För att bringa större klarhet i frågan om maximalt acceptabel sprickbredd har en fördjupad studie gjorts inom projektet "vattenavvisande fasadimpregnering" vid LTH. Syftet har varit att på ett generellt sätt försöka fastlägga tillåten sprickbredd eller hur man i en given situation skall bedöma om aktuella sprickor är acceptabla, till exempel i form av en riskbedömning.

Förutom litteraturstudier och laboratorieprovningar har stor vikt lagts vid en fuktmekanisk bedömning av situationen. Det senare gäller till exempel fuktbelastningar i praktiken och konsekvenser av vatteninträngning i sprickan.

Den spricktyp som normalt avses är en spricka mellan mursten och fogbruk. Förhållandena är dock generella och resultaten kan tillämpas även på andra spricktyper, till exempel krympsprickor i en puts.

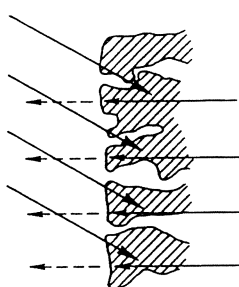
2 MURVERKETS FUKTMEKANIK

2.1 Allmänt

Slagregn är normalt helt avgörande för ett murverks fuktbalans. Diffusion inifrån med åtföljande risk för kondensation är i allmänhet helt försumbart. I extrema fall kan markfukt och byggfukt ha viss inverkan. De olika fuktkällorna och deras inverkan på fuktbalansen beskrivs utförligt i (Sandin, 1980a) och i (Sandin, 1995b). I det följande beskrivs enbart slagregnets inverkan i olika situationer. Vidare förutsätts att inget fuktutbyte sker med inomhusluften.

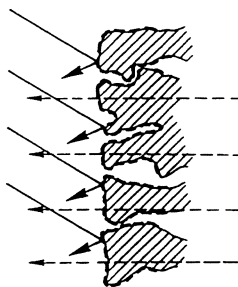
Ytbehandlingen på murverket har ofta en stor betydelse för fuktbalansen. Inverkan av traditionella putser och olika ytskikt beskrivs i detalj i (Sandin, 1980a och b). I det följande fokuseras intresset till inverkan av en vattenavvisande impregnering på fasaden.

Den principiella skillnaden mellan en obehandlad fasad, en impregnerad fasad och en fasad med täckande ytbehandling (puts eller målningsskikt) illustreras i FIGUR 2:1.



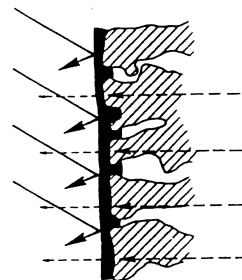
Ingen ytbehandling

Regnvatten absorberas fritt. Efter regnet sugas vattnet kapillärt fram till ytan där det avdunstar.



Vattenavvisande impregnering

Impregneringen förhindrar vattenabsorption vid regn. Vatten inne i väggen kan kapillärt sugas fram till impregneringen. Vattenånga kan fritt transporteras inifrån väggen och ut.



Täckande ytbehandling

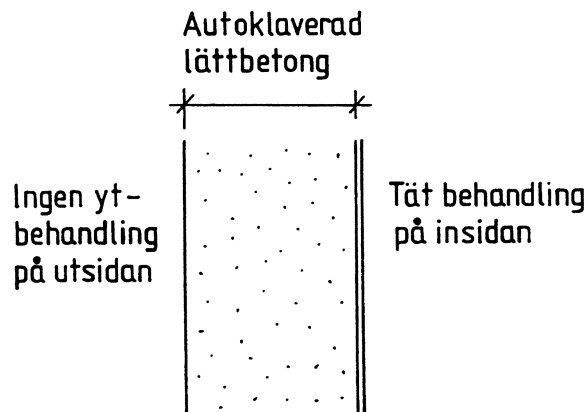
Många ytbehandlingar reducerar vattenupptagningen vid regn. Vatten inne i väggen kan kapillärt sugas fram till ytbehandlingen. Genom ytbehandlingen sker sedan uttorkningen oftast i ångfas.

FIGUR 2:1. Olika ytbehandlingars principiella inverkan på fasadens fuktförhållanden.

Framställningen här avser främst murverk av tegel, lättbetong, kalksandsten, natursten etc. Principerna är dock tillämpliga även i en mängd andra konstruktioner, till exempel träfasader och tilläggsisolering med utvändig puts.

2.2 Sprickfri vägg av ett homogent material utan ytbehandling

Ett exempel på denna väggtyp är en vägg enligt FIGUR 2:2 av autoklaverade lättbetongelement om man bortser från fogarna.

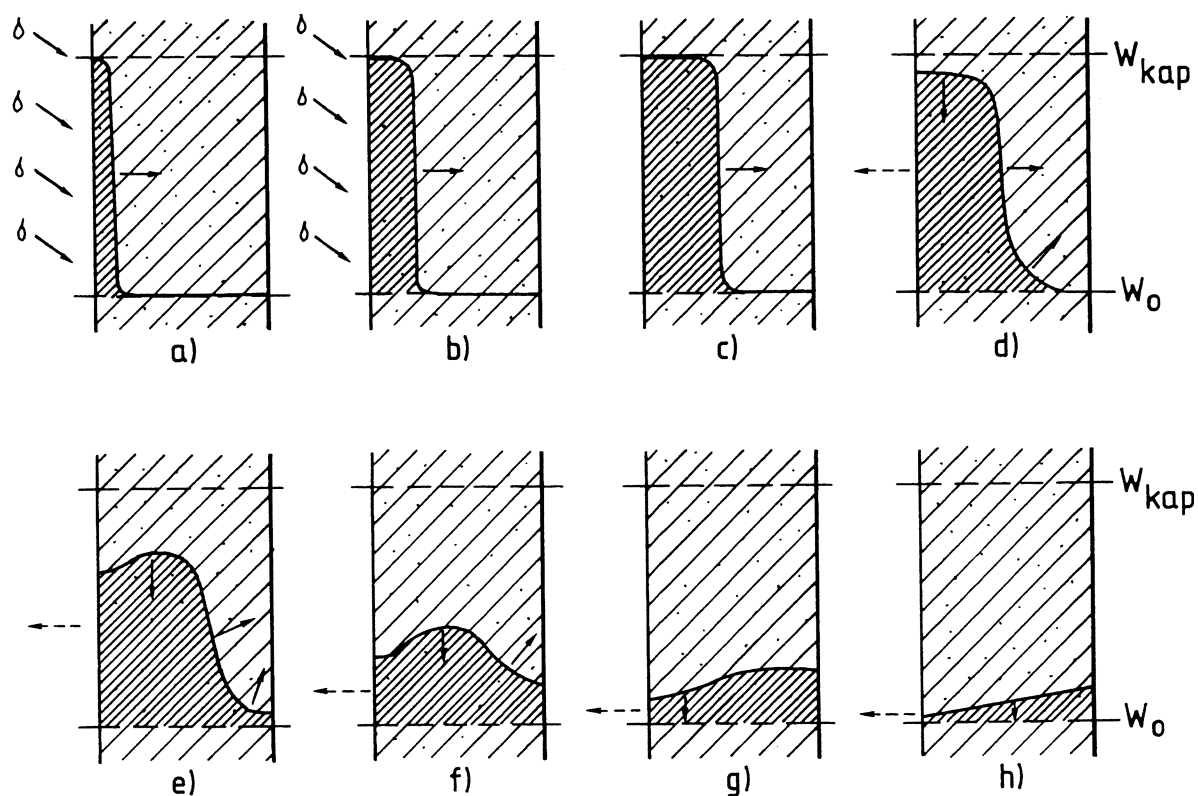


FIGUR 2:2. Exempel på homogen vägg utan utvändig ytbehandling.

Fuktflödena i denna vägg är en-dimensionella och fuktbalansen påverkas främst av slagregns- och uttorkningsförhållandena samt väggmaterialets fuktegenskaper. Uttorkningsförhållandena är i sin tur beroende av ute- och inneklimatet. I resonemanget nedan förutsätts att insidan är tät.

Vid slagregn absorberas normalt allt vatten i början och fukthalten stiger från initialfukthalten w_0 till den kapillära mätnadsfukthalten w_{kap} (FIGUR 2:3a). Denna "kapillärmätnadsfuktfront" förflyttar sig sedan inåt i väggen (FIGUR 2:3b). När slagregnet upphör befinner sig denna front på ett visst djup (FIGUR 2:3c) och herefter börjar en uttorkning samtidigt som vattnet fortsätter att sugas inåt i väggen (FIGUR 2:3d). Detta innebär att fuktinnehållet i den tidigare kapillärmättade zonen sjunker och att fuktinnehållet ökar längre in i väggen (FIGUR 2:3e). Den fortsatta processen kan variera något beroende på hur mycket vatten som absorberats, klimatförhållanden etc. Ofta sker den fortsatta uttorkningen och omfördelningen enligt FIGUR 2:3f - h. Olika material medför olika mängd absorberat vatten, olika inträngningsdjup och olika tidsförlopp. Det principiella förloppet är dock detsamma.

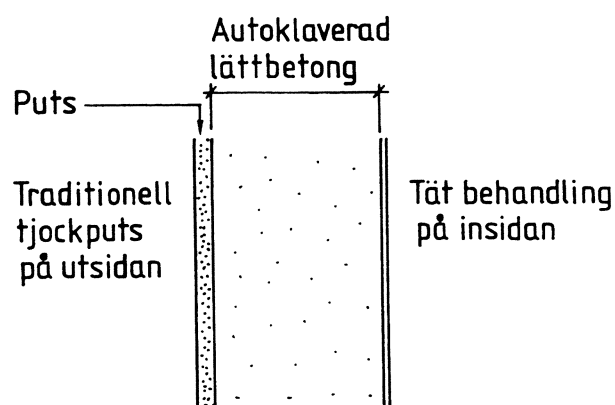
Vid upprepade regn innan uttorkningen är fullständig kompliceras bilden väsentligt. Denna situation beskrivs i (Sandin, 1980a och b).



FIGUR 2:3. Principiella fuktprofiler under och efter ett slagregn mot en homogen vägg utan sprickor.

2.3 Sprickfri vägg av ett homogent material med ytbehandling

Ett exempel på denna väggtyp är en putsad lättbetongelementvägg enligt FIGUR 2:4. Även i detta fall bortses från inverkan av fogarna mellan elementen.



FIGUR 2:4. Exempel på homogen vägg med utvändig ytbehandling.

Situationen liknar föregående fall. Här tillkommer dock inverkan av putsen. Denna inverkan beror dels på putsens egenskaper och dels på relationen mellan fuktegenskaperna hos puts respektive underlag.

Fuktförhållandena i denna konstruktion beskrivs i detalj i (Sandin, 1980a). Här ges endast en kort översiktsbeskrivning.

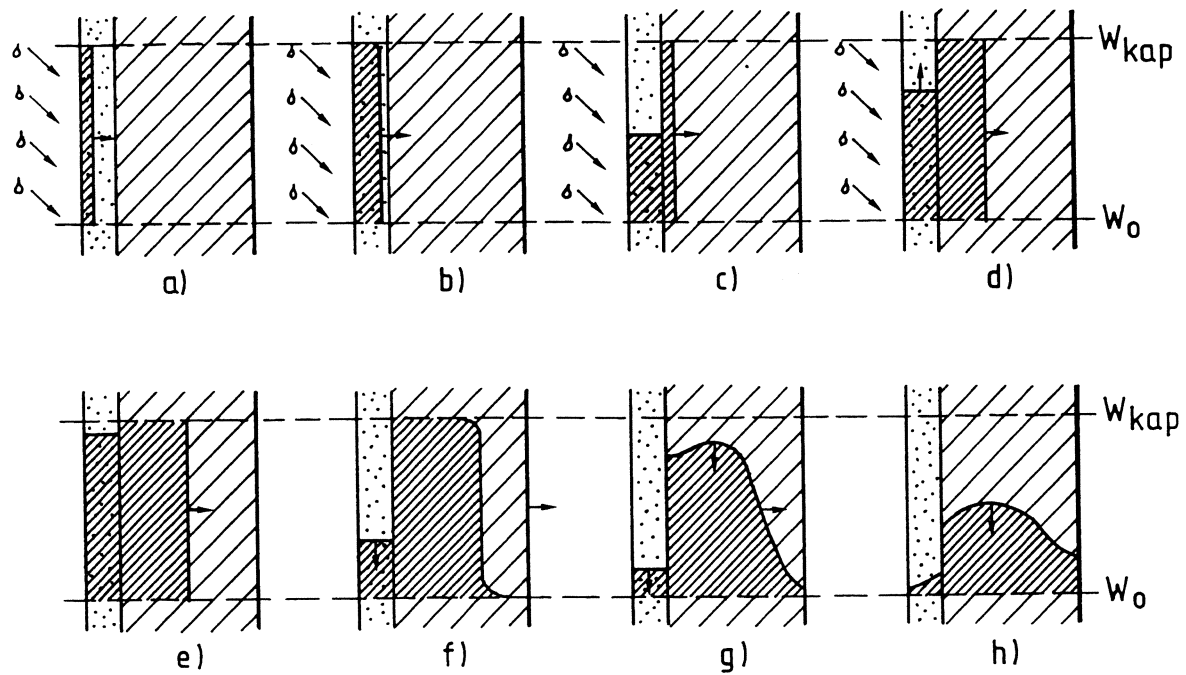
Vattenabsorptionen under slagregn kan indelas i två faser. Under den första fasen sker vattenabsorptionen i putsen och så länge vattenfronten inte nått underlaget är situationen identisk med föregående fall (FIGUR 2:5 a-b). När vattenfronten når underlaget kan man skilja på två ytterlighetsfall. Om underlaget är mer finporöst än putsen sker en kraftig insugning av putsens vattenöverskott till underlaget (FIGUR 2:5 c). Putsen kan sedan absorbera ytterligare slagregn, vilket transporteras vidare in i underlaget (FIGUR 2:5d). Samtidigt ökar även fuktinnehållet i putsen och slutligen nås kapillärmättnadsfuktinnehållet. Ytterligare vatten som träffar putsen kan dock fortfarande sugas in i underlaget utan att någon vattenfilm bildas på ytan.

I fallet med ett grovporösare underlag kommer däremot ingen momentaninsugning av putsens vattenöverskott att ske när vattenfronten når underlaget. I stället kommer absorptionskapaciteten att minska kraftigt, vilket får till följd att det bildas en vattenfilm på ytan och att en stor del av det fortsatta slagregnet rinner bort (FIGUR 2:5c). Under det fortsatta regnet kommer endast en mindre del att sugas in i underlaget (FIGUR 2:5d).

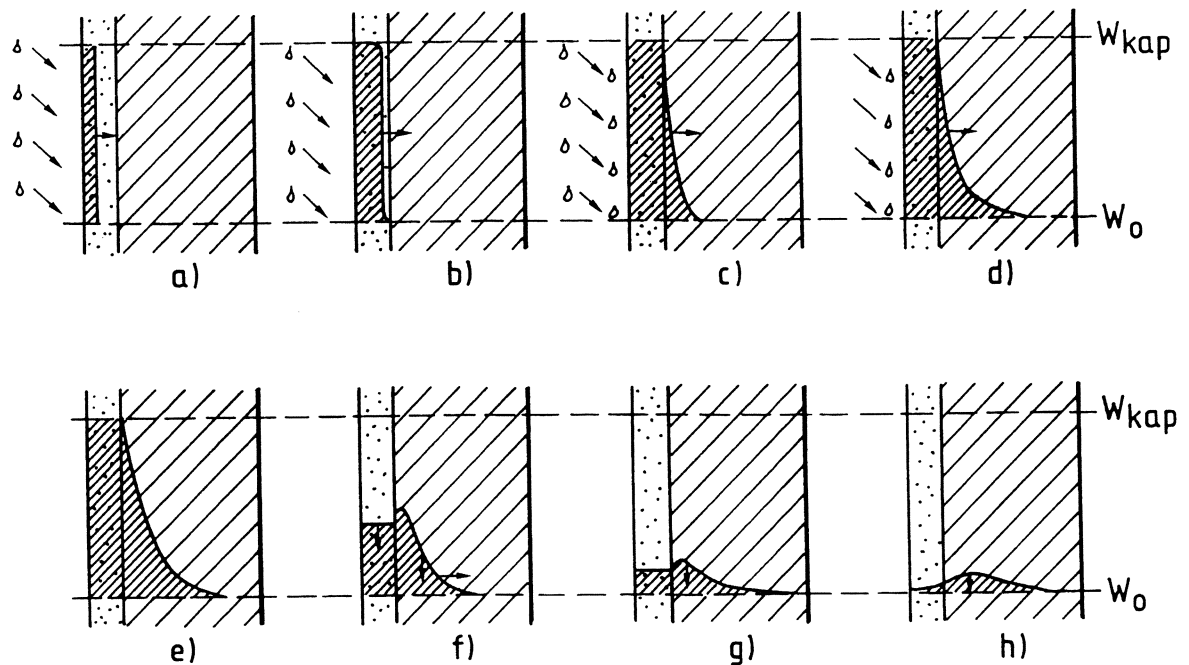
När regnet upphör kommer fuktprofilen att vara helt annorlunda i de båda fallen (FIGUR 2:5e). Det finporösa underlaget kan fortsätta att suga vatten från putsen även efter det att regnet upphört, vilket däremot inte det grovporösa underlaget kan (FIGUR 2:5f). Efter ytterligare en tids uttorkning kan situationen se ut som i FIGUR 2:5g-h. Kombinationen med den finporösa putsen är då torr medan kombinationen med grovporös puts har ett högt fuktinnehåll i underlaget.

Ovanstående resonemang gäller för idealiserade material. I normala material är porstrukturen mycket komplicerad med överlappande porstorlekar. Mycket grovt gäller dock resonemanget för vanliga putser på många tegelsorter respektive på autoklaverad lättbetong.. Tegel är i detta fall grovporösare än putsen medan lättbetongen är mer finporös.

GROVPORÖS PUTS PÅ FINPORÖST UNDERLAG



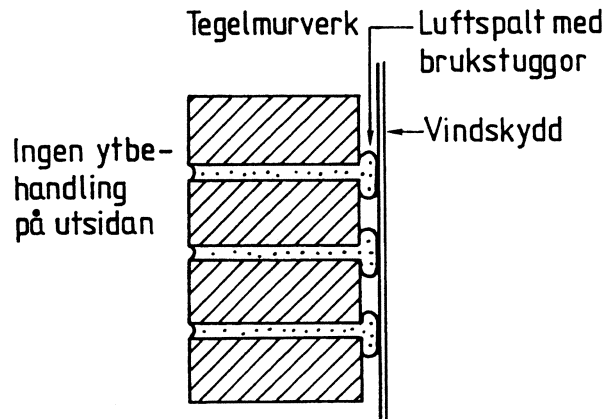
FINPORÖS PUTS PÅ GROVPORÖST UNDERLAG



FIGUR 2:5. Principiella fuktprofiler under och efter ett slagregn mot homogen vägg med ytbehandling.

2.4 Sprickfritt murverk utan ytbehandling

Ett exempel på denna väggtyp är ett traditionellt tegelmurverk, till exempel en 1/2-stens skalmur enligt FIGUR 2:6.



FIGUR 2:6. Exempel på murverk utan ytbehandling.

Om man bortser från de vertikala stötfogarna blir fuktflödet i detta fall tvådimensionellt. Fuktbalansen påverkas i huvudsak av slagregns- och uttorkningsförhållandena samt egenskaperna hos mursten och fogbruk. Den materialegenskap som i huvudsak har betydelse är densamma som i föregående fall, nämligen porstrukturen hos respektive material.

En förenklad beskrivning av fuktförhållandena illustreras i FIGUR 2:7. I det redovisade fallet förutsätts att materialegenskaperna är sådana att vid i övrigt samma förutsättningar förflyttar sig vattenfronten vid slagregn snabbare i bruket än i murstenen. Vidare förutsätts "praktiska" material, vilket innebär att porstorlekarna inte är ideala utan att det finns en viss överlappning. De minsta porerna i det grovporösa materialet är alltså mindre än de största porerna i det finporösa materialet.

Vattenabsorptionen under slagregnet kompliceras i detta fall av att det sker ett fuktutbyte i vertikalled mellan mursten och fogbruk. På "långt avstånd" från gränsen mellan mursten och fog är förhållandena identiska med FIGUR 2:3. Nära fogen kommer dock stenen att suga åt sig vatten från bruket (FIGUR 2:7a). I fallet med finporöst murbruk blir denna insugning relativt liten. I fallet med grovporöst murbruk kan däremot denna insugning bli avsevärd och medföra att vattenfronten i bruket "jämnas ut" och blir otydlig.

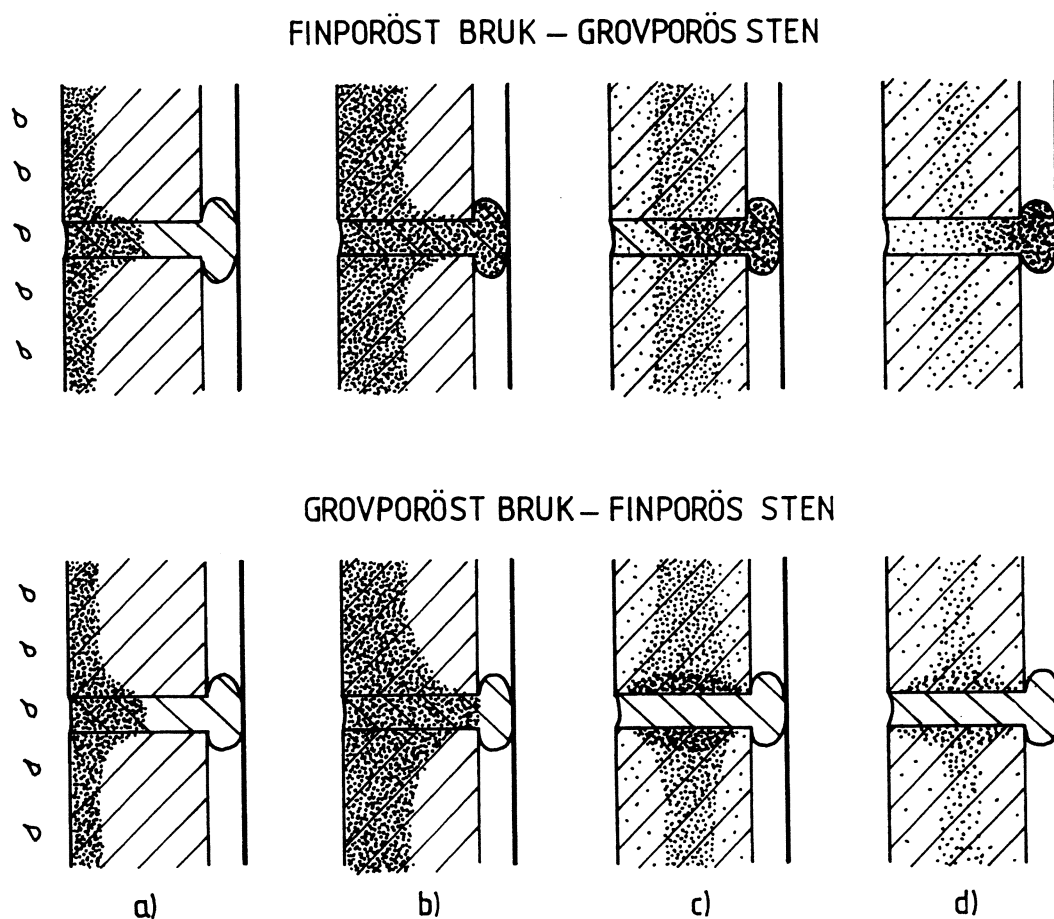
När regnet upphör (FIGUR 2:7b) kan den grovporösa stenen inte suga vatten från murbruket. Är däremot stenen mer finporös än bruket fortsätter stenen att suga vatten från bruket även efter det att regnet upphört.

Efterhand som uttorkningen fortsätter sker även ett fuktflöde inåt i väggen samtidigt som fuktinnehållet i den våta delen sjunker. I detta skede kan den

finporösa fogen suga åt sig vatten från stenen, vilket kan medföra att fogen fortfarande är kapillärmättad. I fallet med grovporösare bruk suger stenen åt sig vatten från fogen, vilket medför att fogen torkar snabbt (FIGUR 2:7c).

I extremfallet kan fukttillståndet efter viss uttorkning se ut som i FIGUR 2:7d. Här är den finporösa fogen blöt medan den grovporösa stenen är torr. I fallet med finporös sten och grovporöst bruk kan å andra sidan stenen vara våt i gränsen mot fogen medan fogen är torr.

Efter ytterligare uttorkning kan i fallet med finporöst bruk alla murstenar och fogar vara torra medan eventuellt bruksspill eller brukstuggor innanför muren är relativt blöta. Detta har konstaterats i ett flertal skadefall där mögelangrepp konstaterats på organiska material bakom murverket, till exempel på vindskyddet i en traditionell skalmur med träregelstomme.



FIGUR 2:7. Principiella fukttillstånd under och efter slagregn mot ett murverk utan ytbehandling. (Ju kraftigare skraffering desto högre fukttillstånd.)

2.5 Murverk med sprickor mellan mursten och fog

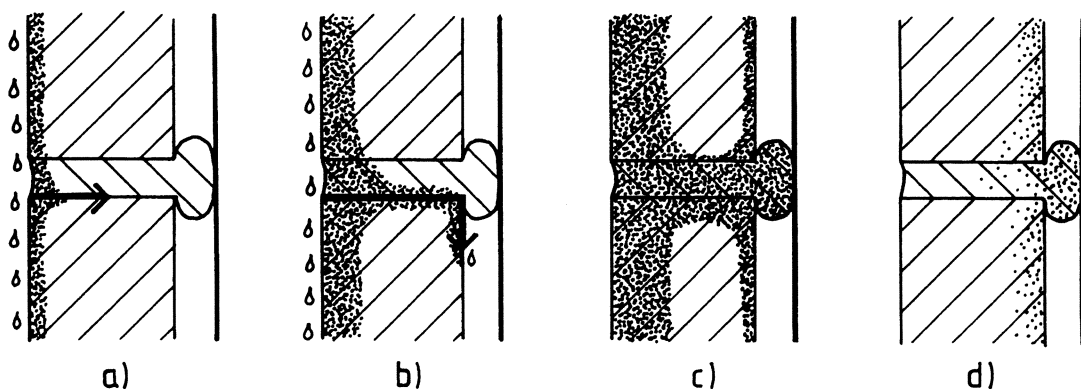
I många murverk finns det sprickor mellan mursten och fog. En vanlig orsak till dessa sprickor är att stenen rubbats efter det att bruket stelnat utan att ha fått någon hållfasthet. Sprickorna är ofta hårfina och svåra att upptäcka. Dessa sprickor anses ofta vara "normala" för murverk.

För att renodla inverkan av sprickor antas i det följande att mursten och fogbruk har identiska fuktegenskaper.

Så länge vattensugningskapaciteten i murverket är större än slagregnsintensiteten är fuktflödena i princip desamma som i ett murverk utan sprickor. När sugkapaciteten har minskat så mycket att det bildas en vattenfilm på ytan sker en mycket snabb insugning av vatten i sprickorna. Till en början sugs detta vatten upp av mursten och fogbruk längre in i murverket (FIGUR 2:8a). När sugkapaciteten intill sprickan minskat tillräckligt kan vatten pressas in genom sprickan och rinna ner på baksidan (FIGUR 2:8b). I detta skede kan murverket absorbera vatten både från fram- och baksidan.

När regnet upphör kan både stenens fram- och baksida samt hela fogen vara blöt (FIGUR 2:8c).

Efter ytterligare uttorkning utåt utan större uttorkningsmöjligheter inåt (till exempel i en traditionell skalmur) kan situationen efter viss tids uttorkning se ut som i FIGUR 2:8d. Detta är en mycket allvarlig situation med "ständigt blöt insida" även om murverket ser torrt ut.



FIGUR 2:8. Principiellt förlopp under och efter slagregn mot obehandlat murverk med sprickor.

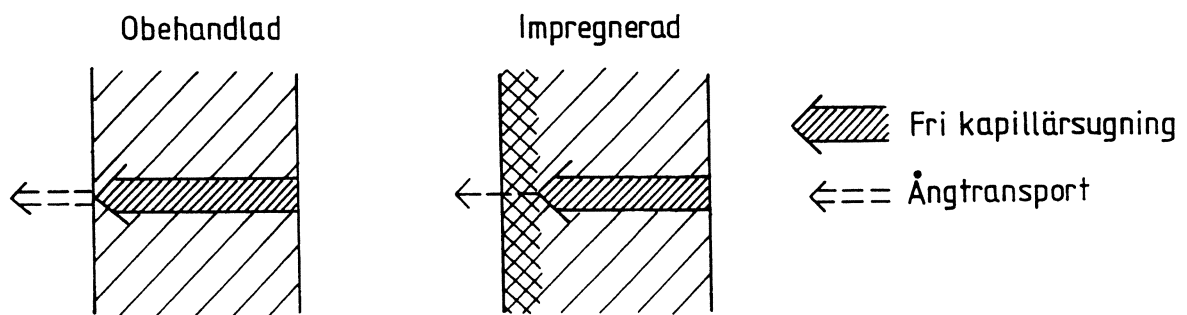
2.6 Murverk med vattenavvisande fasadimpregnering

2.6.1 Sprickfritt murverk

En väl fungerande vattenavvisande impregnering medför att inget slagregn absorberas av fasaden. Samtidigt förändrar en vattenavvisande impregnering inte ånggenomsläppligheten i någon nämnvärd utsträckning, vilket innebär att den eventuella fukt som kommer inifrån fritt kan vandra ut. Är väggen torr vid impregneringen kommer den att förbli torr även i fortsättningen.

Är väggen blöt vid impregneringen kommer uttorkningsmekanismen att bli annorlunda jämfört med en icke impregnerad fasad. I den obehandlade fasaden sugs vattnet fram till ytan där det fritt kan avdunsta. I den impregnerade fasaden måste däremot fukten transporteras i ångfas genom den impregnerade delen. Denna senare mekanism medför en väsentligt långsammare uttorkningshastighet. Skillnaden i uttorkningsmekanism illustreras i FIGUR 2:9. Observera att den långsammare uttorkningen inte beror på någon "förtätning" på grund av impregneringen. Förhållandena är exakt desamma om fasaden putsas med till exempel en kalkputs. I många fall kan en kalkputs medföra att uttorkningshastigheten blir lägre än med en impregnering. Tack vare att impregneringen förhindrar fortsatt vattenabsorption vid slagregn kommer den impregnerade väggen på sikt att bli torr. Utförda mätningar indikerar att en 1/2-stens tegelvägg som impregneras i helt vattenmättat tillstånd är helt torr efter cirka ett år och att den herefter förblir torr. Motsvarande vägg utan impregnering kommer däremot att även i fortsättningen absorbera vatten, med följd att fukttillståndet varierar kraftigt under året. Normalt är sådana väggar blöta på vintern men torkar ut under sommaren för att ånyo fuktas upp under hösten.

I vissa fall kan en vattenavvisande impregnering medföra att fukttillståndet i väggen höjs och på sikt medföra en mycket blöt vägg, nämligen om vatten tillförs "bakifrån". Två vanliga exempel på detta är bristfälliga plåtavtäckningar och uppstigande markfukt.



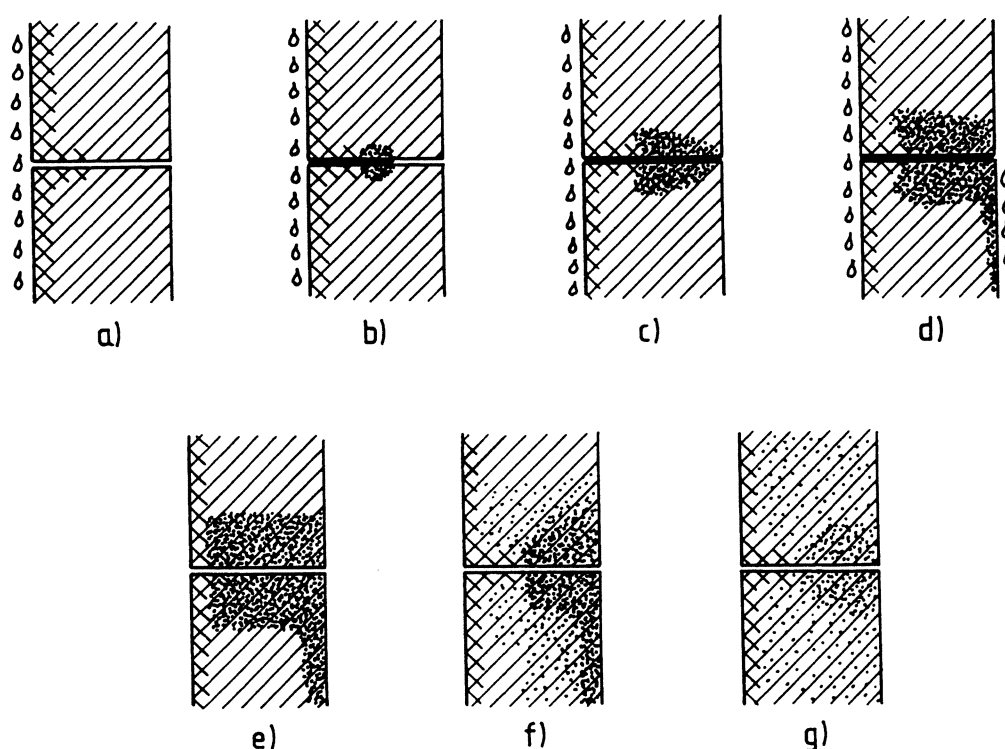
FIGUR 2:9. Skillnad i uttorkningsmekanism mellan obehandlad och impregnerad vägg

2.6.2 Murverk med sprickor där vatten tränger in

Detta är i praktiken en svårbedömd situation. I vissa fall kan dock fuktbalansen påverkas ogynnsamt av en impregnering. Detta kan i sin tur medföra olika olägenheter och risk för direkta skador.

En förenklad beskrivning av händelseförloppet illustreras i FIGUR 2:10. Här förutsätts att fasaden består av ett enda material samt att fasadytan och de yttersta delarna av sprickväggarna är vattenavvisande.

Eftersom fasadytan inte kan absorbera något vatten vid slagregn bildas en vattenfilm direkt (FIGUR 2:10a). Om det samtidigt blåser mot fasaden kommer vatten att pressas in i sprickan om denna är tillräckligt bred. Eftersom sprickkanten längst ut är vattenavvisande kommer vattnet direkt att pressas in till den icke vattenavvisande delen där vattnet sugas in i sprickväggen (FIGUR 2:10b). Efterhand sugs mer och mer vatten upp bakom den impregnerade delen (FIGUR 2:10c) och slutligen när sugkapaciteten i sprickväggarna minskat tillräckligt tränger vatten igenom hela sprickan och rinner ner på baksidan (FIGUR 2:10d). När regnet upphör slutar vattenflödet genom sprickan och en uttorkning och omfördelning av vattnet börjar (FIGUR 2:10e). Efter en tid kan situationen se ut som i FIGUR 2:10f-g med en relativt jämn fuktfördelning bakom den impregnerade zonen. Uttorkningen sker nu genom att vattenånga diffunderar genom den impregnerade zonen. Uttorkningshastigheten i detta skede är väsentligt lägre än om avdunstningen skett från ytan.



Figur 2:10. Fuktförhållanden vid sprickor i en impregnerad fasad.

Storleksordningen på uttorkningshastigheterna kan illustreras med ett exempel. (Jämför även FIGUR 2:9.) Om avdunstningen sker från ytan ges uttorkningshastigheten av

$$g = \beta \cdot \Delta v \quad \text{kg/m}^2 \cdot \text{s} \quad (2:1)$$

där β = fuktövergångskoefficient vid ytan, m/s
 Δv = ånghaltsskillnad mellan yta och luft, kg/m^3

Om uttorkningen sker genom en vattenavvisande zon ges uttorkningshastigheten av

$$g = \Delta v \cdot \delta/d \quad \text{kg/m}^2 \cdot \text{s} \quad (2:2)$$

där δ = ånggenomsläpplighet, m^2/s
 d = impregneringszonens djup, m

En rimlig uppskattning av β är $10 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$. För tegel är δ av storleksordningen $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Med antagandet att impregneringsdjupet (d) är 5 mm blir uttorkningshastigheten i den icke impregnerade väggen cirka 50 gånger högre än i den impregnerade väggen! Risker för ett ökande fuktinnehåll med åtföljande risk för olägenheter är uppenbar i en impregnerad vägg med sprickor som medger vatteninträngning.

Konsekvenserna av vatteninträngning i sprickor enligt ovanstående mekanism kan variera avsevärt. De flesta konstruktioner tål att vatten tränger in någon gång per år. Även om delar av väggen blir blöt vid detta tillfälle behöver det inte uppstå några problem. Sker däremot vatteninträngning vid varje regn är risken för allvarliga skador uppenbar. Å andra sidan kan det även finnas konstruktioner som inte tål ett enda tillfälle med vatteninträngning.

För att kunna bedöma risken med sprickor i en fasad som behandlats med en vattenavvisande impregnering måste tre olika frågeställningar bedömas:

1. Sprickans egenskaper, d v s sprickbredd och den vattenavvisande förmågan (randvinkeln)?
2. Hur ofta och hur länge utsätts fasaden för slagregn med en vindhastighet av viss storlek?
3. Vad blir konsekvensen av vatteninträngning?

De två första punkterna kommer att behandlas i senare avsnitt. Den tredje frågan faller utanför ramen för denna rapport.

3 OLIKA UPPFATTNINGAR OM TILLÅTEN SPRICKBREDD

Att sprickor är ett stort problem i samband med vattenavvisande impregneringar är alla överens om. När det gäller att karaktärisera en "tillåten spricka" varierar däremot uppfattningarna kraftigt. Ibland hävdas att en spricka som uppträder efter impregneringen är farligare än en spricka som finns innan impregneringen och ibland görs ingen åtskillnad. Vidare skiljer man ibland på genomgående och icke genomgående sprickor.

Vid bedömningen av tillåten sprickbredd förekommer principiellt olika bedömningsgrunder. Ofta hänvisas till praktisk erfarenhet. I andra fall tillämpas någon form av "fuktbalansresonemang", d v s man jämför det vatten som tränger in i fasaden under ett regn med den fuktmängd som kan torka ut innan nästan regn. Ytterligare en bedömningsgrund är att ingen vatteninträngning får ske genom befintliga sprickor.

Den helt dominerande "tillåtna sprickbredden" är 0.3 mm. Bedömningsgrunden för denna sprickbredd kan vara alla tre nämnda argumenten enligt ovan. Denna siffra används generellt av materialtillverkare och verkar ha blivit allmänt accepterad i praktiken. Bakgrunden till valt av 0.3 mm redovisas normalt inte.

I olika "vetenskapliga" artiklar i frågan nämns ytterligheterna 0 respektive 1 mm som acceptabla sprickbredder!

Nägele (1985) anger att "erfarenheten visar att sprickor upp till 0.5 mm kan klaras utan problem" och att "sprickor bredare än 1 mm skall alltid repareras innan hydrofobering".

Franke & Bentrup (1991) refererar till ett antal artiklar där den tillåtna sprickbredden anges till 0.2, 0.2-0.3 respektive 0.3 mm. I andra litteraturreferenser anges att alla sprickor måste lagas.

Franke & Bentrup redovisas även ett antal laboratorieprovningar med ett vattenavvisande preparat på tegel- och kalksandsten. Vid dessa provningar erhöles gränsen 0.05 mm för tegel och 0.10 mm för kalksandsten. Dessa gränser gäller med bedömningsgrunden att inget vatten får tränga in i sprickan vid ett övertryck motsvarande 50 mm vattenpelare.

Sammanfattningsvis kan konstateras att 0.3 mm är allmänt accepterad i praktiken. Denna siffra är dock mycket osäker och enligt andra uppgifter är 0.1 mm en rimligare siffra.

4 TEORETISK BEDÖMNING AV TILLÅTEN SPRICKBREDD

4.1 Generellt om vatteninträngning i sprickor

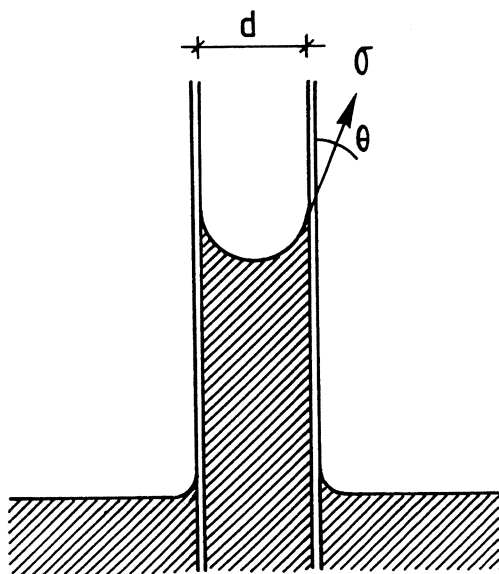
Om ena ändan av en tunn spalt, till exempel mellan två glasskivor, placeras i kontakt med vatten kommer vattnet att sugas upp i spalten till en viss höjd enligt FIGUR 4:1. Uppsugningen förorsakas av att det bildas ett undertryck i vattnet i gränsen mellan luft och vatten i spalten. Undertrycket ges av uttrycket

$$p = (2 \cdot \sigma \cdot \cos\theta) / d \quad Pa \quad (4:1)$$

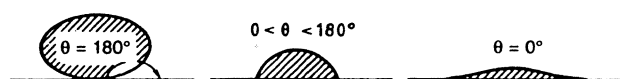
där σ = vattnets ytspänning, N/m
 θ = kontaktvinkel, $^\circ$
 d = sprickbredd, m

Kontaktvinkeln (kallas även randvinkel) beror på ett samspel mellan materialytorna, vattnet och luften. För de flesta material är randvinkeln ungefär noll. Placeras en vattendroppe på ett sådant material flyter doppen ut enligt FIGUR 4:2a.

Genom att behandla ytan med ett vattenavvisande preparat förändras randvinkeln och en vattendroppe flyter inte ut helt och hållet. I extremfallet med randvinkeln lika med 180° sker ingen utflytning alls, man har i stället fått en fullständig pärleffekt enligt FIGUR 4:2c. I praktiken medför en vattenavvisande behandling att randvinkeln ändras från noll till $100 - 140^\circ$ enligt FIGUR 4:2b.

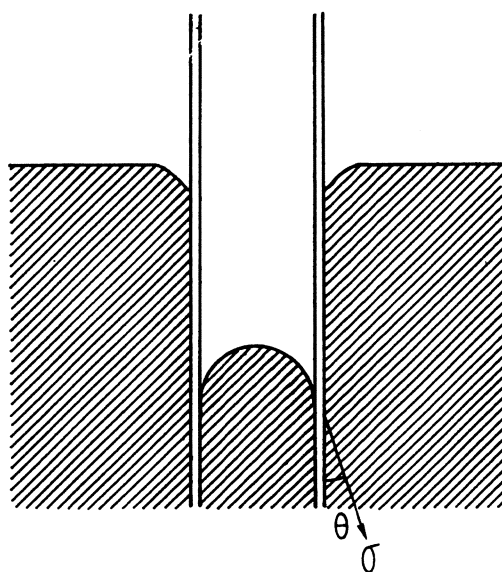


FIGUR 4:1. Vattenuppsugning i smal spalt.



FIGUR 4:2. Vattendroppe på underlag med olika randvinkel.

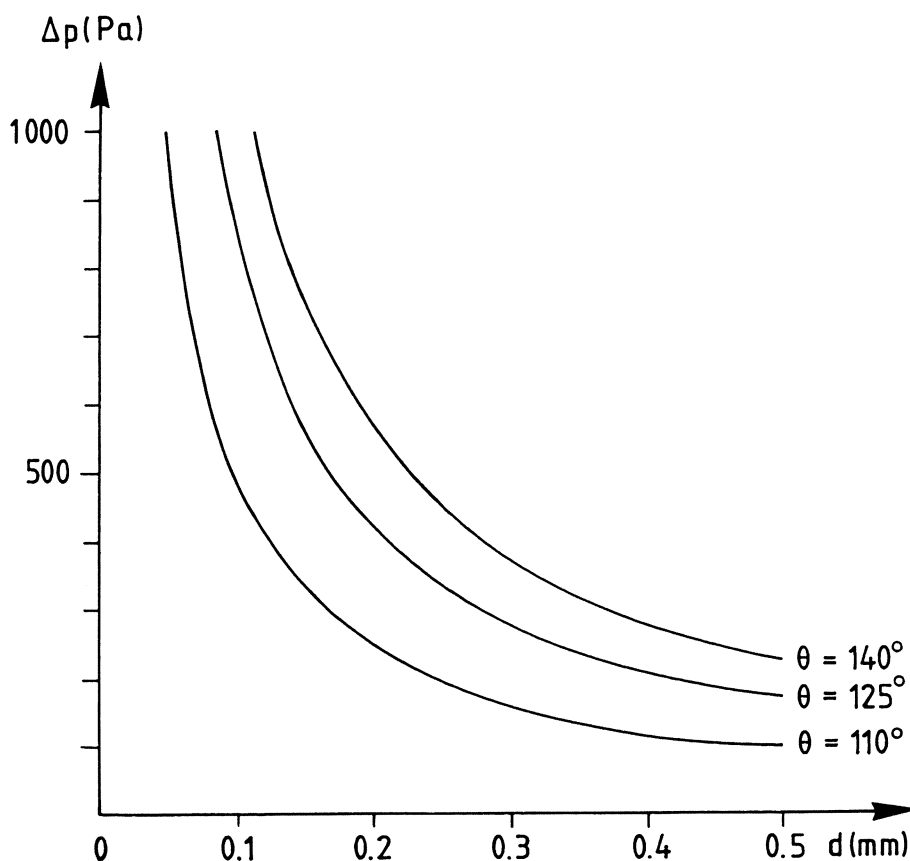
Om $\theta > 90^\circ$ kommer $\cos\theta$ att bli negativ och vatten kan inte längre sugas upp i spalten. I stället kommer vattnet att stötas bort från spalten enligt FIGUR 4:3. Vattnet kan nu utsättas för ett yttre övertryck utan att vattnet kan pressas in i spalten. Ju större randvinkeln är och ju mindre spaltbredden är desto större övertryck kan spalten klara utan att vatten pressas in.



FIGUR 4:3. En spalt med randvinkeln större än 90° stöter bort vattnet.

Sambandet mellan tillåtet övertryck, randvinkel och spaltbredd innan vatten pressas in redovisas grafiskt i FIGUR 4:4. Enligt denna figur klarar en spricka med bredden 0.3 mm ett övertryck på 375 Pa om randvinkeln är större än 140° . Ökas sprickbredden (med samma randvinkel) till 0.5 mm tål sprickan endast 225 Pa. Å andra sidan tål en 0.1 mm bred spricka ett övertryck mer än 1000 Pa utan att något vatten tränger in.

Antas randvinkeln till 110° tål sprickan med 0.3 mm bredd endast 170 Pa. Dessa enkla exempel belyser känsligheten i de olika faktorernas inverkan på sprickans möjligheter att motstå vatteninträngning.



FIGUR 4:4. Samband mellan tillåtet övertryck, sprickbredd och randvinkel då vatteninträngning sker i en spricka.

4.2 Vatteninträngning i spricka i fasad med vattenavvisande impregnering

Den bakomliggande mekanismen är densamma som enligt föregående generella beskrivning. Det tillgängliga vattnet på en fasad härrör från slagregn. Om fasaden är behandlad med en vattenavvisande impregnering bildas en vattenfilm på ytan praktiskt taget direkt vid varje slagregn.

Det erforderliga övertrycket för att pressa in vatten härrör från vinden. Detta övertryck varierar mellan olika fasader och även på olika platser på samma fasad.

Övertryck uppstår enbart på lovartsidan och kan uttryckas med formeln

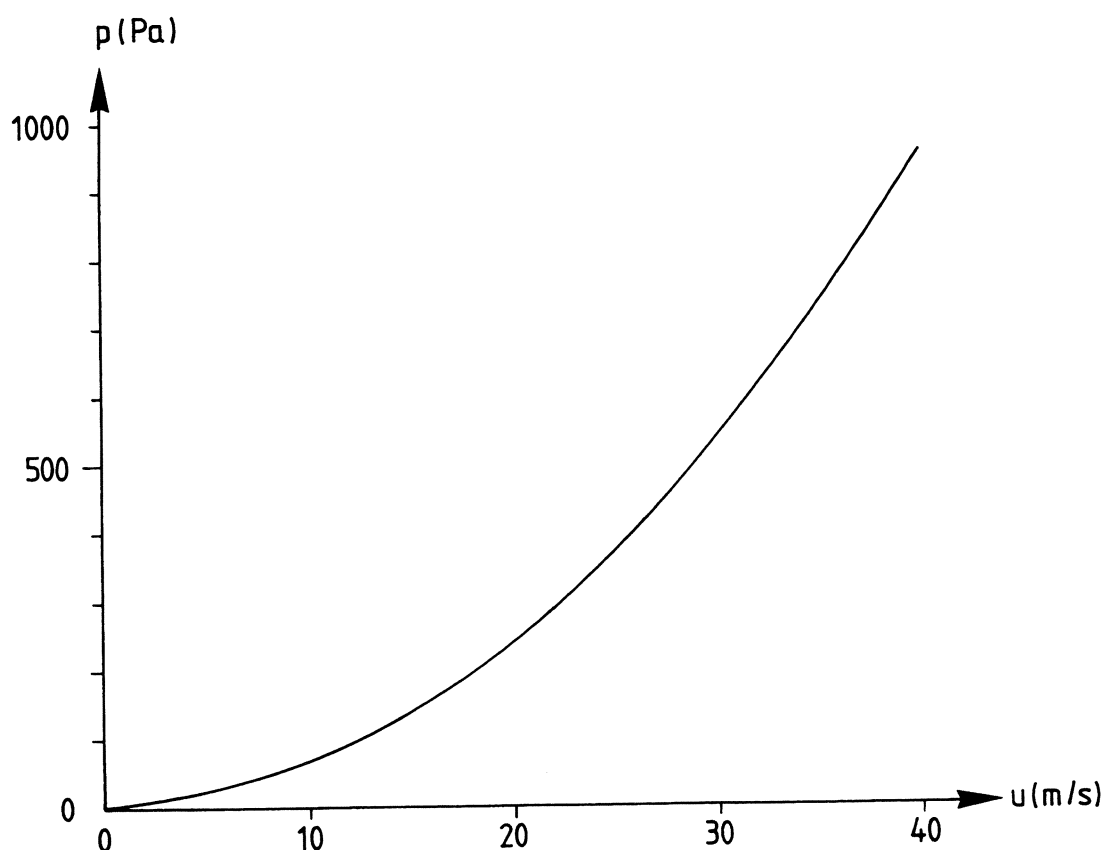
$$p = 0.6 \cdot \mu \cdot u^2 \quad Pa \quad (4:2)$$

där

μ = formfaktor

u = vindhastigheten, m/s

Formfaktorn är ett mått på hur mycket av vindens hastighetstryck som omvandlas till ett statiskt tryck mot fasaden. Formfaktorn kan maximalt anta värdet 1.0. Den verkliga tryckdifferensen över fasaden påverkas även av trycket på fasadens baksida, till exempel i en luftspalt. I följande resonemang i denna rapport antas att den totala tryckdifferensen ges av ovanstående uttryck med formfaktorn lika med 1.0. Sambandet mellan övertryck och vindhastighet kan då illustreras enligt FIGUR 4:5.



FIGUR 4:5. Samband mellan vindhastighet och övertryck.

Genom att kombinera ekvationerna (4:1) och (4:2) erhålls ett direkt samband mellan den vindhastighet då vatteninträngning börjar och sprickbredd respektive randvinkel enligt

$$u_{\max} = 15 \cdot \sqrt{|\cos\theta|/d} \quad \text{m/s} \quad (4:3)$$

där u = vindhastighet, m/s
 d = sprickbredd, mm

Alternativt kan man ange övertrycket i mm vattenpelare (h mmvp), vilket ger uttrycket

$$h_{\max} = 15 \cdot |\cos\theta| / d \quad \text{mmvp} \quad (4:4)$$

Uttrycken enligt ekvationerna (4:3-4) illustreras grafiskt i FIGURERNA 4:6-7.

Ekvationerna (4:3-4) och figurerna (4:6-7) visar vid vilken vindhastighet respektive vid vilket övertryck som vatten pressas in i sprickan. När väl vattnet pressats in i sprickan fortsätter vattenflödet även vid lägre vindhastighet respektive övertryck. Detta flöde är oberoende av randvinkeln och ges av uttrycket

$$G = (A_{\text{sp}} \cdot b^2 \cdot \Delta p) / (12 \cdot \eta \cdot L) \quad \text{m}^3/\text{s per lm spricka} \quad (4:5)$$

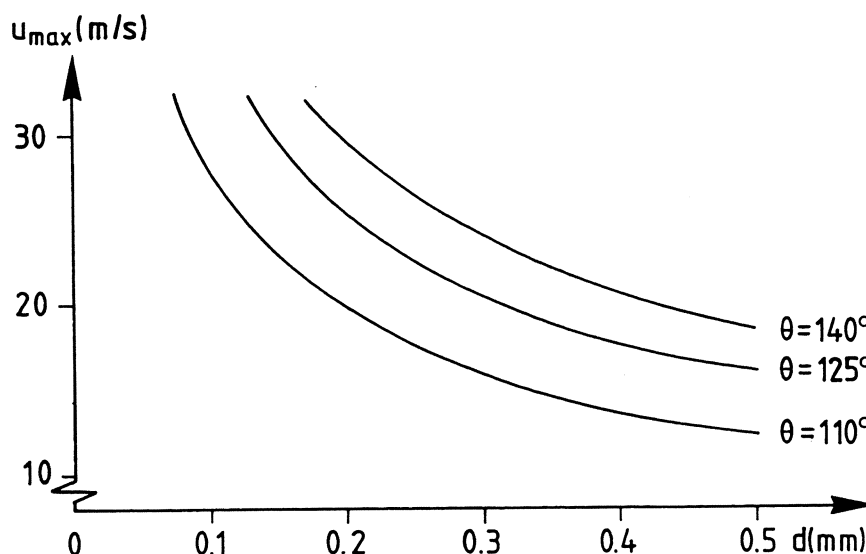
där A_{sp} = tvärsnittsytta av sprickan per m spricka, m^2
 b = sprickbredd, m
 η = vattens dynamiska viskositet, Ns/m^2
 Δp = tryckskillnad över sprickan, Pa
 L = vägg tjocklek (sprickdjup), m

Vid en mer exakt beskrivning skall även in- och utströmningsförluster i sprickan beaktas. Dessa försummas i ovanstående ekvation.

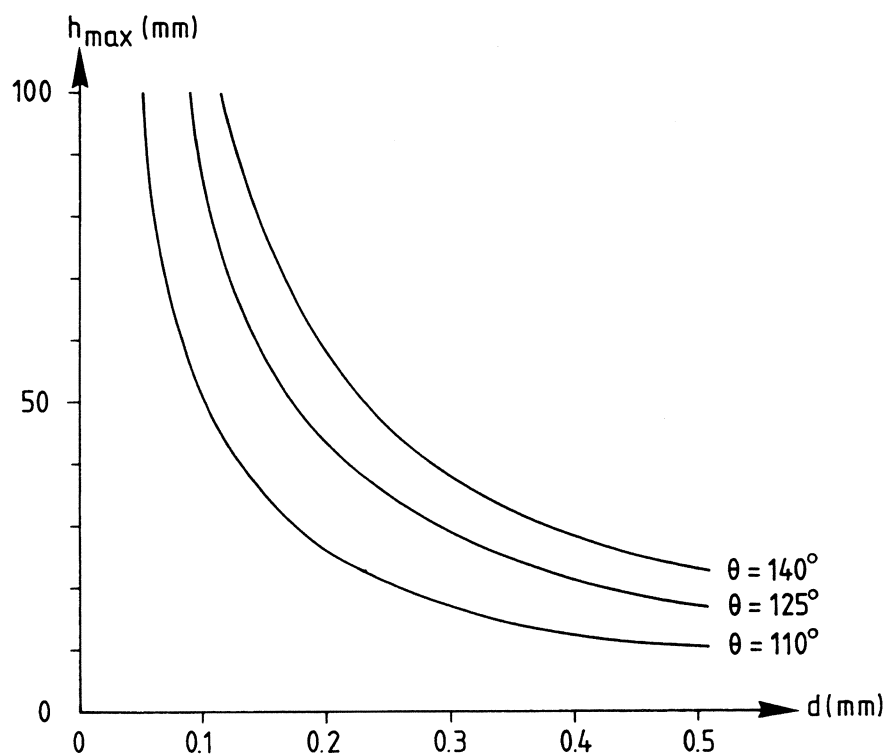
Uttrycks flödet i stället som funktion av övertrycket uttryckt i meter vattenpelare erhålls

$$G = (A_{\text{sp}} \cdot b^2 \cdot \rho_w \cdot 9.81 \cdot h) / (12 \cdot \eta \cdot L) \quad (4:6)$$

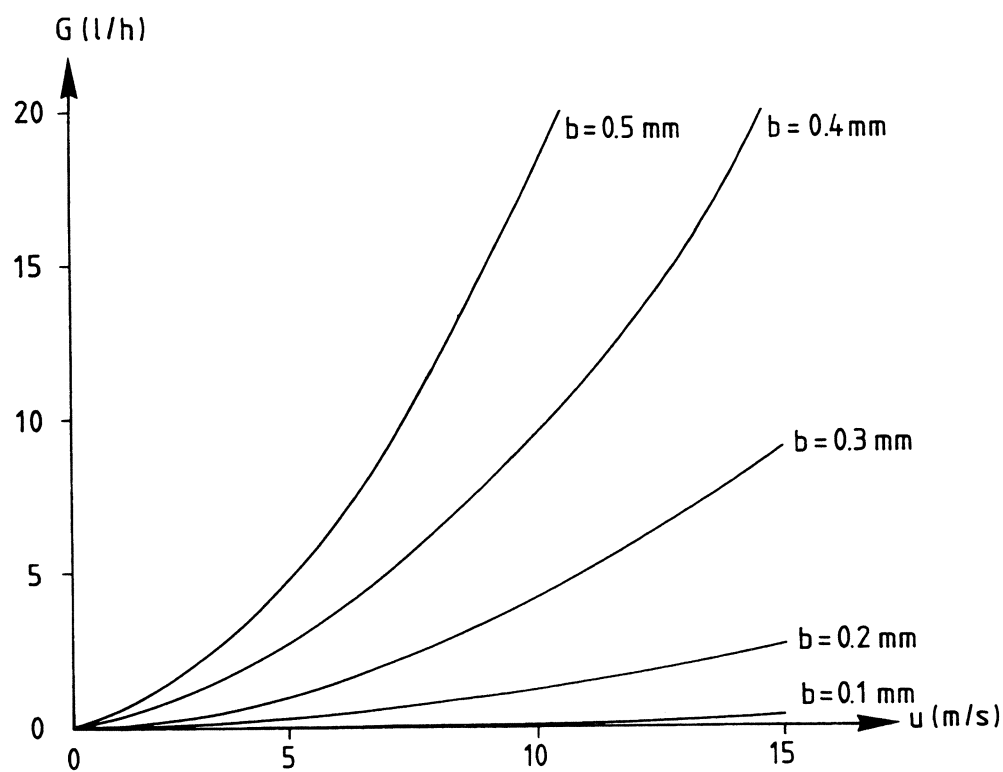
I FIGUR 4:8 redovisas flödet genom en 1.0 m lång genomgående spricka i en ordinär skalmur (0.12 m tjock) som funktion av sprickbredd och vindhastighet.



FIGUR 4:6. Samband mellan maximal vindhastighet och randvinkel respektive sprickbredd.



FIGUR 4:7. Samband mellan maximalt övertryck och randvinkel respektive sprickbredd.



FIGUR 4:8. Vattenflöde som funktion av sprickbredd och vindhastighet genom en 1.0 meter lång spricka i en ordinär skalmur.

EXEMPEL:

Jämför vattenflödet genom 1 m långa sprickor med sprickbredder 0.1, 0.2, 0.3 och 0.4 mm. Randvinkeln antas till 110° respektive 140° . Medelvindhastigheten antas till 15 m/s och den extrema vindbyn antas ha vindhastigheten 25 m/s.

Först studeras om det överhuvudtaget sker någon vatteninträngning. FIGUR 4:6 visar att det inte sker någon vatteninträngning i sprickan med bredden 0.1 mm. I den 0.2 mm breda sprickan sker vatteninträngning om randvinkeln är 110° . I de 0.3 och 0.4 mm breda sprickorna sker vatteninträngning med båda randvinklarna.

Vattenflödet erhålls ur FIGUR 4:8 till knappt 3 respektive drygt 20 l/tim för sprickbredderna 0.2 respektive 0.4 mm.

Observera att när man väl fått en vatteninträngning så är flödet oberoende av randvinkeln och att flödet ökar mycket kraftigt med ökande sprickbredd.

Som framgår av exemplet har sprickbredden en väsentligt större inverkan på flödet än på tillåten vindhastighet när vatteninträngning sker. Om till exempel sprickbredden ökar från 0.2 mm till 0.3 mm minskar maximalt tillåten vindhastighet från 25 m/s till 20 m/s om randvinkeln är 125° . Om vindhastigheten efter genombrottet antas till 15 m/s kommer flödet igenom de båda sprickorna att bli knappt 3 respektive 9 liter per timma. Flödet genom den bredare sprickan är alltså 3-4 gånger större än genom den smalare sprickan.

Av ovanstående framgår klart att det inte är tillräckligt att enbart fastställa när vatteninträngning sker genom sprickor. Det är även av största vikt att försöka uppskatta vilka vattenmängder det är fråga om. Frågeställningen diskuteras senare i rapporten.

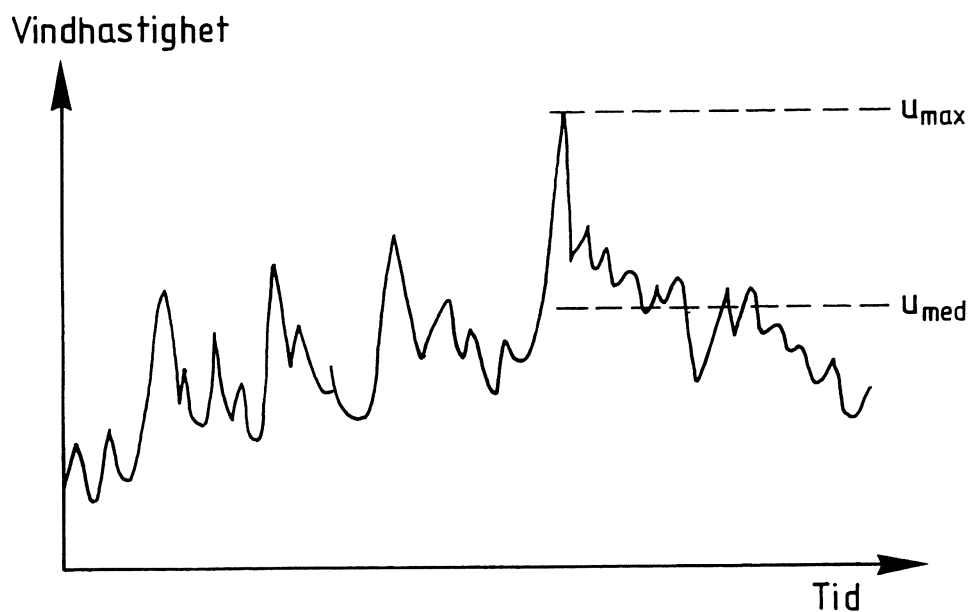
4.3 Tillåten sprickbredd i praktiken

I föregående avsnitt redovisades den teoretiska bakgrunden till när vatteninträngning sker i en spricka och hur mycket vatten som pressas igenom sprickan. Att med utgångspunkt från enbart detta uppställa krav/begränsningar på randvinkeln och sprickbredden är inte elementärt.

Att använda generella siffror i alla situationer leder i vissa fall till alltför stora säkerhetsmarginaler och i andra fall till alltför stor osäkerhet. Innan några krav eller begränsningar kan ställas måste ett flertal faktorer beaktas samtidigt. Väsentligen innefattar detta en bedömning av

1. När sker vatteninträngning? (Sprickbredd, randvinkel, maximal vindhastighet)
2. Hur mycket vatten tränger in? (Sprickbredd, medelvindhastighet, slagregnets varaktighet, vägg tjocklek)
3. Hur ofta sker vatteninträngning? (Sprickbredd, randvinkel, frekvens av viss vindhastighet)
4. Konsekvenserna av vatteninträngning? (Dräneringsmöjlighet, inträngande vattenmängd, känsliga material)
5. Uttorkningsmöjligheter efter slagregn? (Uttorkningsklimat, backventileffekter)

Sprickbredd och randvinkel anses i det följande som konstanta för en given konstruktion. Vindhastighet och frekvens av olika vindhastigheter är däremot i högsta grad varierande. Vindhastigheten vid samtidigt regn som funktion av tiden kan normalt beskrivas med ett diagram enligt FIGUR 4:9.



FIGUR 4:9. Vindhastighet som funktion av tiden.

För att bedöma punkt 1 enligt ovan (när vattengenomslag sker) skall den maximala vindhastigheten vid en vindpust (u_{\max}) användas.

För att bedöma punkt 2 (hur mycket vatten som tränger in) ska medelvindhastigheten (u_{med}) efter det att vattengenomslag inträffat och vindens varaktighet användas. Eftersom sambandet mellan tryck och vindhastighet inte är linjärt medför detta ett visst fel. I brist på bättre underlag och med hänsyn till andra osäkerheter är detta dock acceptabelt.

För att bedöma punkt 3 (hur ofta sker vattengenomslag) skall frekvensen av den vindhastighet som medför vattengenomslag utnyttjas.

För att bedöma punkt 4 (konsekvenser av vatteninträngning) måste hela konstruktionen analyseras i detalj. Kan inträngande vatten dräneras bort? Finns risk för direkt läckage in i rummet? Finns risk för mögel, röta, frostsador eller liknande?

För att bedöma punkt 5 måste klimatet mellan regnperioder klarläggas. Vidare måste konstruktionens inverkan på uttorkningen analyseras, till exempel om det finns ytskikt eller olika materialkombinationer som försämrar uttorkningsförhållandena.

Bedömningen blir med nödvändighet någon form av sannolikhets- och riskbedömning. Bedömningsresultatet blir då olika för olika geografisk belägenhet, olika fasader och olika konstruktioner.

En möjlig bedömningsprincip är att tillåta vatteninträngning X1 gånger per år för konstruktion A och X2 gånger per år för konstruktion B. Alternativt kan man tillåta att Y1 liter vatten får tränga in per år i konstruktion A och Y2 i konstruktion B.

Anta att A är en skalmur med god dränering och frostbeständigt tegel eller en tilläggsisolering med utvändig puts medan B är en skalmur med dålig dränering och fuktkänsliga material i luftspalten eller en homogen lättbetongvägg med fogsprickor. I fallet A medför en vatteninträngning inga dramatiska konsekvenser. I fallet B blir däremot konsekvenserna allvarliga varför kraven i detta fall blir väsentligt hårdare. X2 kanske ska väljas till 0 eller 1 medan X1 kanske kan väljas till 5.

Att specificera bedömningsgrunderna i olika situationer ligger utanför ramen för denna skrift. Det är dock på sikt viktigt att ställa upp modeller för hur man lämpligen angriper frågeställningen. Tills vidare tvingas vi nöja oss med enkla tumregler enligt kapitel 7. Risken med sådana tumregler är emellertid att de efter en tid uppfattas som en absolut sanning.

En fortsatt utveckling av ovanstående tankar är mycket angelägen.

5 PROVNING AV VATTENINTRÄNGNING I SPRICKOR

5.1 Allmänt

I laboratorium kan vatteninträngning i sprickor studeras på flera principiellt olika sätt, både med avseende på sprickans utseende och vattenbelastningen.

Sprickan kan antingen göras väldefinierad genom att utnyttja planslipade ytor som monteras med visst avstånd från varandra och med viss geometri. Ett annat alternativ är till exempel att mura ett murverk med "naturliga sprickor". Dessa naturliga sprickor kan erhållas antingen genom att vid murningen lossa stenar när bruket torkat något och därefter placera dem på plats igen eller genom att efter härdningen knäcka murverket och därefter fixera det. Ytterligare en variabel i sammanhanget är tidpunkten för impregneringen, före eller efter det att sprickan utbildats.

Den första metoden med väldefinierade sprickor tillåter en mer vetenskaplig behandling av problemområdet, med möjlighet att ställa upp direkta samband av hur vatteninträngningen påverkas av randvinkel, sprickbredd, sprickgeometri och yttre belastning. Den andra metoden med "naturliga" sprickor efterliknar å andra sidan praktiken mer.

Vattenbelastningen kan antingen vara "statisk" eller "dynamisk". Vid en statisk belastning kan man till exempel utsätta sprickan för en vattenpelare med en viss höjd. Genom att efterhand öka vattenpelarens höjd och avläsa höjden när vatteninträngningen börjar fås ett direkt mått på vattentrycket när vattengenomslaget sker.

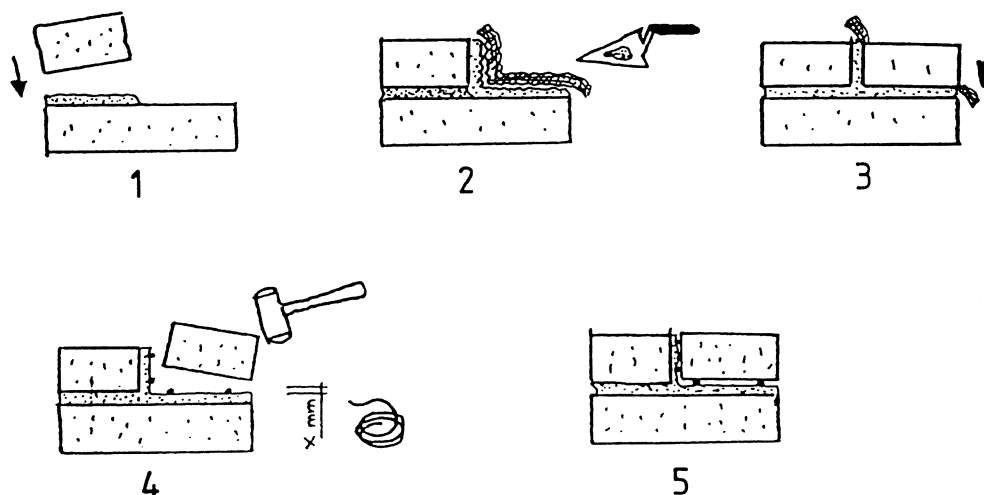
Vid en dynamisk belastning kan sprickan utsättas för rinnande vatten och samtidigt åstadkomma ett övertryck, till exempel genom att blåsa mot sprickan med fläktar. Tryckdifferensen över provet och vindhastigheten i den "fria luftströmmen" kan registreras och relateras till vattengenomträngningen. Tryck och vindhastighet kan inte mätas exakt på grund av ofrånkomliga fluktuationer. Några exakta samband kan sålunda inte erhållas. Å andra sidan efterliknar denna metod naturliga förhållanden bättre än den statiska metoden.

Med hänsyn till att osäkerheterna är så stora vid dynamisk belastning och naturliga sprickor har mätningarna i nu genomförd laboratorieundersökning i huvudsak gjorts med statisk vattenbelastning på väldefinierade sprickor. För att belysa situationen med dynamisk belastning på naturliga sprickor refereras dock en undersökning som genomförts tidigare.

5.2 Dynamisk belastning på naturliga sprickor

Denna provning beskrivs i detalj i (Sandin, 1995a).

En hel och två halva tegelstenar murades enligt FIGUR 5:1. Först murades en halv sten på den hela stenen. Efter härdning murades den andra halva stenen med ett mellanlägg av gasväv. Efter härdning avlägsnades den senare halvan och monterades tillbaka på sin ursprungliga plats utan gasväv, men med mellanlägg av ståltråd med diametern 0.2 respektive 0.4 mm. Den minsta sprickbredden erhöles genom att montera tillbaka stenhälvan utan ståltrådmellanlägg. Stenhälvan fixerades genom punktlimning med epoxilim. De färdigfixerade proverna impregnerades med ett preparat bestående av silan/siloxan.

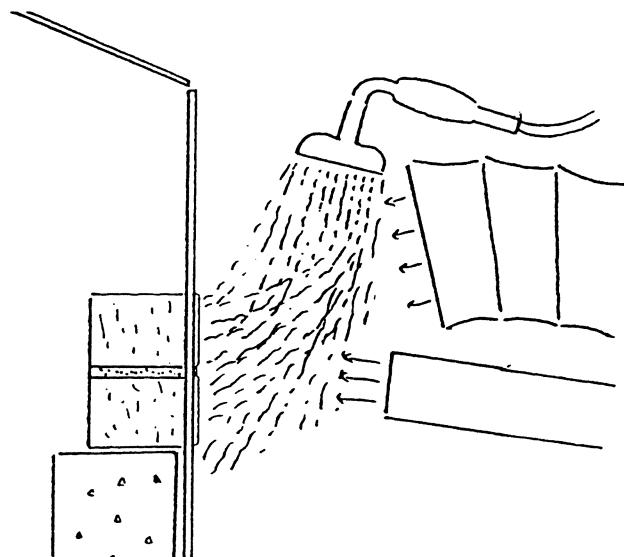


FIGUR 5:1. Tillverkning av prover med naturliga sprickor.

Försöken genomfördes med en försöksuppställning enligt FIGUR 5:2. Provkropparna utsattes för rinnande vatten på fasadytan och samtidig vindbelastning från två fläktar. En stor radialfläkt med utblåsningsdiameter 30 cm skapade en kraftig "bakgrundsvind" och en mindre turbinfläkt med utblåsningsdiametern 6 cm skapade en koncentrerad luftström i centrum. Luftövertrycket i centrum uppmättes till 500 - 600 Pa, vilket motsvarar en vindhastighet cirka 30 m/s. Vattenbelastningen skapades med en vanlig handdusch.

Vid samtliga försök, totalt 12 olika kombinationer, erhöles vattengenomslag efter 1 - 15 minuter. Ju bredare spricka, desto kortare tid innan vattengenomslaget visade sig.

Försöken visar tydligt att även små sprickor, storleksordningen 0.1 - 0.2 mm, medför att vatten tränger in vid mycket kraftig regn- och vindbelastning. Några exakta samband kan dock inte ställas upp.



FIGUR 5:2. Försöksuppställning vid provning av vatteninträngning i spricka under dynamisk belastning.

5.3 Statisk belastning på väldefinierade sprickor

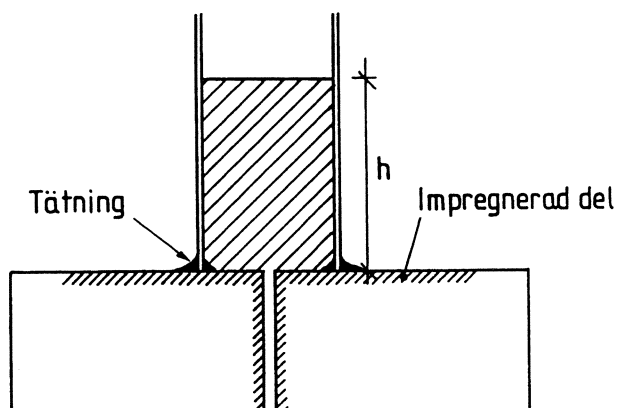
5.3.1 Provningsmetod

Murstenar sågades mitt itu varefter de sågade ytorna planslipades och parades ihop. De planslipade ytorna och ovansidan impregnerades flödigt. Efter 4 veckors härdning monterades stenarna i en jigg med de planslipade ytorna mot varandra. För att erhålla en väldefinierad spricka placerades bladmått med olika tjocklek mellan stenhalfvorna.

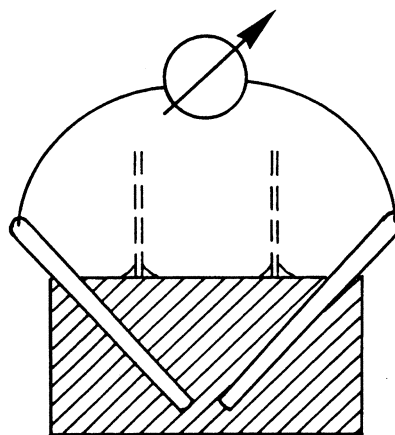
På ovansidan av de hopmonterade stenhalfvorna monterades ett graderat plexiglasrör med diametern 45 mm över sprickan med silikonfogmassa. När silikonfogen härdat fylldes vatten försiktigt i röret. Vattenfyllning pågick tills vatten trängde igenom sprickan, varvid höjden på vattenpelaren avlästes. Vid de första försöken fylldes vattnet för snabbt. Senare försök visade att man vid den kritiska höjden måste fylla röret mycket långsamt. En stor mängd försök fick "underkännas" på grund av för snabb påfyllning. I de försök som redovisas i denna rapport var påfyllningshastigheten cirka 1 mm/h i det kritiska området.

Tidpunkten för vattengenomträngningen registrerades på två olika sätt. Dels studerades visuellt när vatten började droppa på undersidan. Dels registrerades den elektriska ledningsförmågan mellan bladmått. Så länge sprickan var torr var ledningsförmågan i princip obefintlig. När vatten trängde in i sprickan kortslöt den elektriska kretsen direkt.

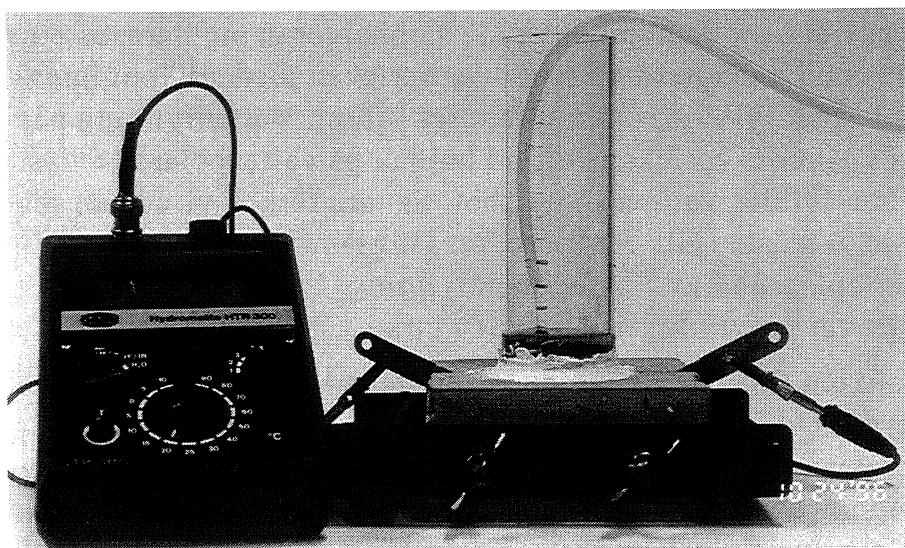
Försöksuppställningen illustreras i FIGUR 5:3 - 5.



FIGUR 5:3. Principiell försöksupställning sedd från sidan.



FIGUR 5:4. Montering av bladmått på sprickväggarna.



FIGUR 5:5. Foto på försöksupställningen.

5.3.2 Material

Två olika typer av murstenar användes, nämligen tegelsten och kalksandsten. Orsaken till att två olika stentyper användes var att studera om preparatens vattenavvisande förmåga var olika på olika underlag. (Enligt olika uppgifter fanns det tecken på att så kunde vara fallet.)

Tegelstenarna kunde återanvändas till att prova olika preparat. De gamla preparaten brändes bort genom upphettning till 600°C under 2 dygn. Härvid försvann den vattenavvisande effekten helt. Någon kemisk analys av eventuella restprodukter har inte gjorts. Det finns inga tecken på att förfarandet skulle ha påverkat resultaten. Flera dubbeltester har gjorts med samma resultat.

De vattenavvisande preparat som använts är

- silikonharts löst i lacknafta
- silan-siloxanblandning löst i lacknafta respektive etanol i olika koncentration
- silan löst i lacknafta respektive etanol i olika koncentration
- silikonat löst i vatten
- silanemulsion i vatten

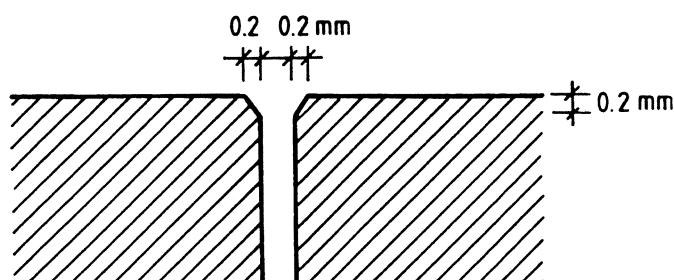
All impregnering gjordes flödig på torra stenar. Härdningen efter impregneringen gjordes först under någon vecka i 95% RF och därefter några veckor i rumsklimat.

5.3.3 Sprickutseende

Normalt provades de impregnerade proverna direkt utan speciell efterbehandling och monterades med sprickor som var jämbreda genom hela stenen, "normalspricka".

För att studera inverkan av "bortnötning av ytan" slipades vissa sprickväggar innan monteringen.

För att studera inverkan av oregelbunden sprickgeometri avfasades kanten på ovansidan enligt FIGUR 5:6 i en spricka.



FIGUR 5:6. Avfasad ovankant på spricka.

5.3.4 Littrerering av prover

De olika provkropparna i resultatredovisningen har littererats med

A : B : C : D

A anger underlaget.

A = *T* för tegel

A = *K* för kalksandsten

B anger det vattenavvisande preparatet.

B = *silan* för silanpreparat

B = *silox* för siloxanpreparat

B = *harts* för silikonhartspreparat

B = *konat* för silikonatpreparat

B = *emuls* för silanemulsionpreparat

C anger lösningsmedlet.

C = *vtn* för vatten

C = *lack* för lacknafta

C = *etan* för etanol

D anger preparatets koncentration i volymprocent om denna är känd. För kommersiella produkter med okänd koncentration används benämningen "*kom*".

5.3.5 Resultat

I resultaten nedan redovisas både den uppmätta höjden på vattenpelaren (mm vp) då vattengenombrott skett och den beräknade randvinkeln ($^{\circ}$).

TABELL 5:1. Tegel med normalsprickor.

Littera	0.2 mm spricka		0.4 mm spricka	
	mm vp	randvinkel	mm vp	randvinkel
T:silox:lack:7	38	120	<16	<115
T:silox:lack:7	40	122		
T:silox:lack:kom			20	122
T:konat:vtn:kom			20	122
T:silox:etan:7			<16	<115
T:silox:lack:33			15	114
T:emuls:vtn:25	30	114	<16	<115

TABELL 5:2. Tegel med fasade sprickkanter.

Littera	0.2 mm spricka	
	mm vp	randvinkel
T:silox:etan:7	<32	<115
T:silox:etan:7	30	114
T:silox:etan:7	32	115

TABELL 5:3. Tegel med slipade sprickväggar.

Littera	0.2 mm spricka	
	mm vp	randvinkel
T:silox:lack:33	28	112
T:silox:lack:33	32	115
T:silox:lack:33	30	114

TABELL 5:4. Kalksandsten med normalsprickor.

Littera	0.2 mm spricka	
	mm vp	randvinkel
K:silan: - :100	>34	>117
K:silan: - :100	<36	<119
K:silan: - :100	37	120
K:silan:etan:20	33	116
K:harts:lack:kom	32	115
K:harts:lack:kom	34	117
K:silox:lack:kom	<26	<110
K:silox:lack:kom	25	109

5.3.6 Diskussion och kommentarer

Syftet med provningarna var dels att utveckla en provningsmetod med tillhörande analys av känsliga faktorer som påverkar resultatet och dels att få en uppfattning av hur effektiva olika preparat är. Det har däremot inte varit någon avsikt att klassificera olika produkter.

Provningsmetoden har fungerat väl och kan användas för att bestämma vid vilken sprickbredd vatteninträngning sker vid olika övertryck. Indirekt kan även preparatens randvinkel bestämmas.

När det gäller att praktiskt genomföra provningen skall följande beaktas:

1. Sprickbredden får inte vara för stor eller för liten, 0.2 mm är en lämplig bredd. Smalare spricka medför att en liten osäkerhet i sprickbredd ger ett större relativt fel. En för bred spricka medför å andra sidan att en viss "instabilitet" uppstår. En liten vibration kan medföra att vattnet strömmar in i sprickan.
2. Vattenpåfyllningen måste ske långsamt i det kritiska området, 1 mm per timma är en rimlig hastighet. En för snabb påfyllning medför att genomströmningen fördröjs väsentligt, vilket i sin tur medför att preparatets effektivitet överskattas.
3. En manuell mätning är mycket tidsödande. Provningsmetoden kräver i princip ständig tillsyn under hela provningen. Skall man göra en mätning utan att ha någon uppfattning om förväntat resultat blir det en orimlig arbetsinsats. Genom förförsök kan man få en viss uppfattning om det förväntade resultatet. Detta medför å andra sidan ytterligare provningar. En automatisering av metoden är enkel att göra. En sådan utrustning föreligger i prototypstadiet. Principen är att långsamt pumpa vatten till plexiglasröret och elektiskt registrera när vatten tränger in i sprickan. Vid denna tidpunkt stannar pumpen och den inpumpade vattenmängden registreras.
4. Det torde vara tillräckligt att prova med ett enda underlag, lämpligen tegel som kan återanvändas.
5. Spridningen i erhållna resultat är liten varför det torde vara tillräckligt att köra endast tre parallellprov.

När det gäller erhållna resultat kan följande anföras:

1. Det är förvånande att skillnaden mellan olika preparat, olika koncentrationer och olika lösningsmedel är så liten. Samtliga provade preparat provade med 0.2 mm spricka tål 25 - 35 mm vattenpelare, vilket motsvarar en vindhastighet 20 - 25 m/s. Även om denna skillnad är relativt liten så kan den vara avgörande för om preparatet fungerar i praktiken.

2. Omräknas det tillåtna övertrycket till randvinkel ligger alla provade preparat i intervallet $110^\circ - 120^\circ$. Denna siffra är förvånande låg. Normalt nämns siffran $130^\circ - 135^\circ$. Detta innebär att preparaten är mindre effektiva än vad som normalt anses.
3. Sprickans utseende i framkanten verkar inte ha någon betydelse.
4. Underlaget har i aktuella provningar inte påverkat resultatet.

För att illustrera vilka sprickbredder som kan accepteras utan att få någon vatteninträngning redovisas i TABELL 5:5 sambandet mellan tillåten vindhastighet vid olika sprickbredder och olika randvinklar.

TABELL 5:5. Tillåten vindhastighet (m/s) vid olika sprickbredd och olika randvinkel.

Sprickbredd (mm)	Randvinkel		
	110°	120°	130°
0.1	28	34	38
0.2	20	24	27
0.3	16	19	22
0.4	13	17	19

Som framgår av tabellen sker vatteninträngning i en 0.3 mm bred spricka redan vid en vindhastighet 16 m/s om randvinkeln är 110° . Denna vindhastighet är inte på något sätt ovanlig i samband med slagregn. Den allmänna uppfattningen att man allmänt kan acceptera 0.3 mm breda sprickor torde alltså vara alltför optimistisk. Med de randvinklar som erhöles i provningarna är 0.1 mm en rimligare siffra om man inte kan acceptera att vatteninträngning sker relativt ofta. Som tidigare nämnts kan man dock aldrig ange en generell siffra på tillåten sprickbredd. Frågeställningen diskuteras ytterligare i följande avsnitt.

6 SLAGREGNS- OCH VINDBELASTNING I PRAKTIKEN

6.1 Allmänt

Klimatdata insamlas regelbundet av SMHI från ett stort antal platser i Sverige. Detaljerade data kan beställas direkt från SMHI från flertalet av dessa orter.

Taesler (1972) redovisar en sammanställning av mer eller mindre kompletta klimatdata för nästan 100 olika orter i Sverige. Denna sammanställning avser främst medelvärden och frekvensfördelningar och grundar sig på meteorologiska observationer under perioden 1931-60.

Taeslers sammanställning är främst avsedd för översiktliga bedömningar och jämförelser mellan olika geografisk belägenhet, väderstreck och årstid. Eftersom alla data avser medelvärden finns dock en begränsning vid mer noggranna dimensioneringar.

För närvarande pågår ett projekt där redovisningen av klimatdata utvecklas avsevärt. Tillgängligheten till extremvärden, sviter av olika klimat och samvariationer (till exempel mellan vindhastighet, vindriktning och regn) kommer härigenom att öka väsentligt. Projektet kommer att redovisas som en doktorsavhandling under 1997.

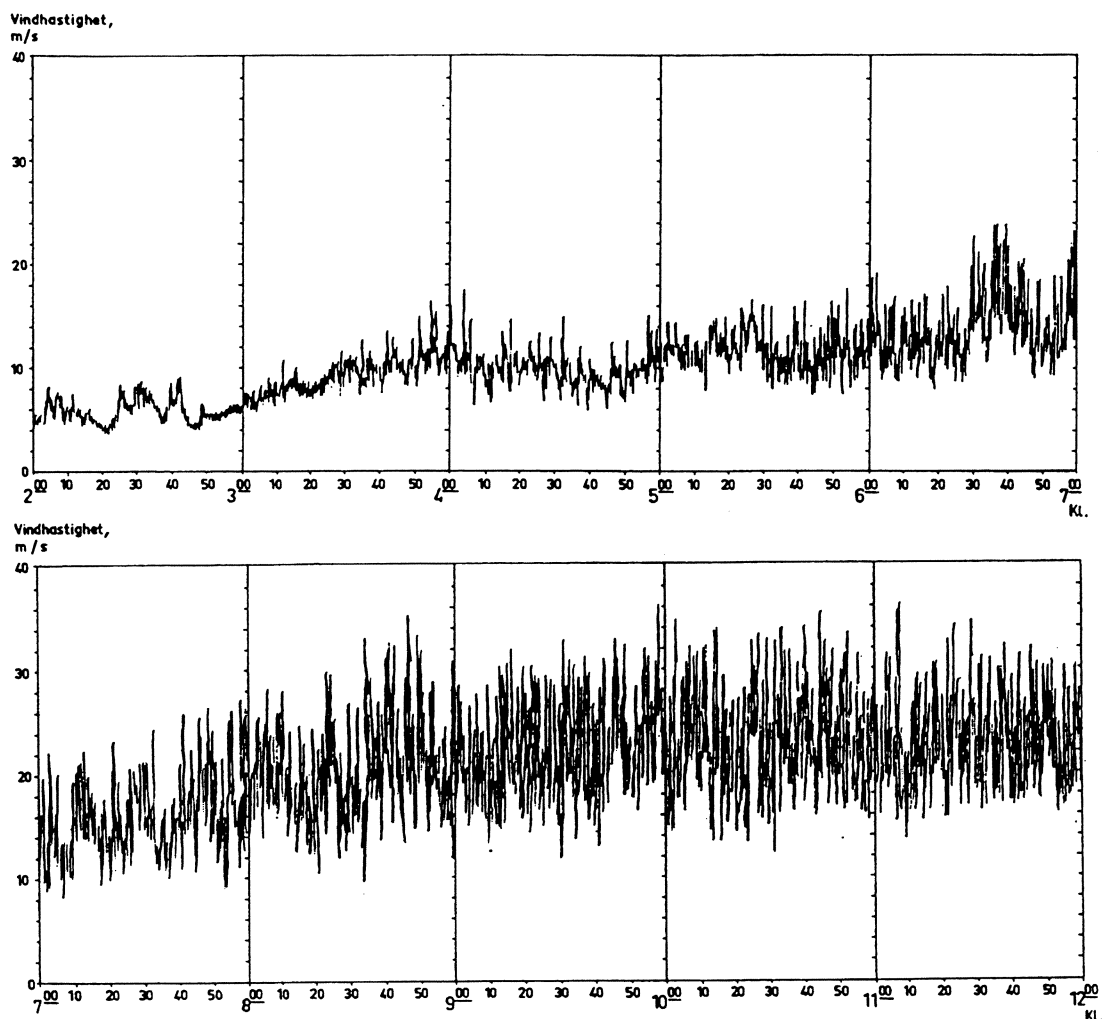
I det följande görs en grov uppskattning av förekommande belastningar dels med utgångspunkt från Taeslers sammanställningar och dels med utgångspunkt från förhandsinformation från ovanstående projekt, Harderup (1996).

6.2 Vindhastighet

Vindhastigheten registreras normalt med en skålkorsanemometer. Genom olika kraftig dämpning och medelvärdesbildningar erhålls medelvärdet under olika lång tid. Vissa anemometrar registrerar momentanvärden och visar sålunda även vindens byighet.

De data som redovisas av SMHI avser normalt medelvärdet under den 10-minutersperiod som föregår den angivna tidpunkten för registreringen. Normalt redovisas data klockan 07, 13, 19 och 01. Detta innebär att hela 6-timmarsperioden som föregått den aktuella tidpunkten åsätts den medelvindhastighet som gällde under 10-minutersperioden före den aktuella tidpunkten. Eventuella "toppar" som inträffar mellan de tidpunkter då data redovisas märks sålunda inte.

En typisk registrering av vindhastigheten, där även byigheten registreras, när vindhastigheten ökar från relativt låga vindhastigheter till stormstyrka redovisas i FIGUR 6:1.



FIGUR 6:1. Vindregistrering från Säve 1969-09-22. (Taesler, 1972)

Som framgår av diagrammet avviker den momentana vindhastigheten kraftigt från olika tänkbara medelvärdesbildningar. Jämför man det maximala värdet under en 10-minutersperiod med medelvärdet under samma period finner man att maxvärdet är cirka 50% högre.

Om man gör en observation klockan 07 blir medelvärdet cirka 15 m/s. Timme-
delvärdet några timmar senare är 25 m/s och maxvärdet 35 m/s. I extremfall kan
alltså den maximala vindhastigheten vara mer än dubbelt så hög som det redo-
visade medelvärdet.

Ovanstående avvikelser är en stor svaghet i normalt tillgängliga klimatdata när
man skall bedöma risken för vatteninträngning i sprickor, eftersom det är den
maximala vindhastigheten som avgör när vatteninträngning sker och medelhas-
tigheten som avgör hur mycket vatten som tränger in.

Med hänsyn till att Taesler grundar sig på ett mycket stort antal observationer
elimineras delvis betydelsen av att vindhastigheten under den föregående 6-tim-

marsperioden kan ha nått högre 10-minutersmedelvärden än det observerade. På lång sikt bör nämligen den registrerade vindhastigheten även inkludera ett antal maximala 10-minutersmedelvärden under 6-timmarsperioden. Sannolikt kommer dock antalet tidpunkter med mycket höga vindhastigheter att underskattas. Att uppskatta någon siffra på detta är omöjligt.

Inverkan av vindens byighet är mer entydig. Med utgångspunkt från FIGUR 6:1 och andra uppgifter torde ett påslag med 50% på 10-minutersmedelvärdet vara rimligt.

6.3 Medelvärden enligt Taesler

För att exemplifiera principerna vid uppskattningen av aktuella belastningar väljs här orterna Göteborg och Kalmar.

Om man enbart vill studera vindförhållandena får man en god bild genom att utnyttja tabell II:4.1 i Taesler (1972). Överslagsmässigt kan man då beräkna hur många gånger per år eller per en viss månad som vindhastigheten överstiger ett visst värde. I TABELL 6:1 redovisas detta för perioden okt-dec. I tabellen redovisas även den maximala vindhastigheten vid kraftiga vindbyar med antagandet att denna är 50% högre än medelvärdet.

TABELL 6:1. Antal gånger per år som vindhastigheten överstiger ett visst värde under okt-dec.

Medelvind- hastighet (m/s)	Max byvind- hastighet (m/s)	Göteborg	Kalmar
14	21	7	22
17	26	2	10
21	32	1	3
25	38	<1	1
29	44		<1

Av tabellen framgår att medelvindhastigheterna 14 respektive 17 m/s (med tillhörande vindbyar på 21 respektive 26 m/s) uppträder relativt ofta i Göteborg respektive Kalmar. Medelvindhastigheter överstigande 25 respektive 29 m/s är däremot mycket ovanliga. Observera dock att dessa vindhastigheter inte är kopplade till samtidigt regn. De kan därför inte användas för att dimensionera tillåten sprickbredd.

Tar man även hänsyn till regnet blir situationen helt annorlunda och mer osäker. I Taeslers tabell typ b2 redovisas medelvindhastigheten vid samtidigt regn. Genom att välja ut de maximala värdena erhålls TABELL 6:2.

Tabell 6:2. Maximal vindhastighet vid samtidigt regn för sept och okt.

<i>Ort</i>	<i>sept</i>	<i>nov</i>
Torslanda	16	16
Kalmar	7	11

Observera att när man tar hänsyn även till regnet blir Torslanda farligare än Kalmar. Gör man även i detta fall ett påslag för vindens byighet blir värdena 24 respektive 17 m/s för Torslanda respektive Kalmar.

I tabeller av typ b1 redovisar Taesler samtidiga värden på vindriktning och vindhastighet vid samtidigt regn. Summeras 3 intilliggande vindriktningar (till exempel SE, S och SW) kan antalet gånger per år som det regnar och samtidigt blåser med en viss hastighet mot en viss fasad beräknas. (Betraktelsen är här starkt förenklad men kan ändå ge en viss uppfattning.) För Torslanda och Kalmar redovisas en sådan beräkning i TABELL 6:3.

Tabell 6:3. Antalet gånger per år som det regnar och samtidigt blåser med en viss hastighet mot den mest utsatta fasaden.

<i>Vindhastighet (m/s)</i>	<i>Torslanda</i>	<i>Kalmar</i>
10 - 12	20	3
13 - 15	11	<1
16 - 18	3	
19 - 21	1	
22 - 24	<1	

Väljer man som dimensionerande värde att den valda vindhastigheten inte får överstigas mer än tre gånger per år blir dimensionerande medelvindhastighet 16 respektive 10 m/s för Torslanda respektive Kalmar. Görs påslaget med 50% vid fastställande av dimensionerande vindhastighet för vatteninträngning i sprickor blir de dimensionerande vindhastigheterna 24 respektive 15 m/s.

Överensstämmelsen med föregående betraktelsesätt är förvånande god.

6.4 Slagregnsbelastning enligt Harderup

6.4.1 Allmänt

Med utgångspunkt från vindhastighet, vindriktning, fasadorientering och nederbörd mot en horisontell yta beräknar Harderup (1996) slagregnet mot en vertikal yta med olika orientering. Nederbörden är mätt var 6:e eller var 12:e timma.

Eftersom nederbörden mäts var 6:e (12:e) timma vet man inte exakt när det regnat under perioden. Harderup använder 3 olika modeller för att redovisa slagregnet.

Modell 1:

Den uppmätta regnmängden fördelas ut på hela perioden med samma regnmängd per timma. Om man till exempel uppmätt 12 mm under en 6-timmarsperiod betraktas det som att det regnat 2 mm/timma under 6 timmar.

Modell 2:

Den uppmätta regnmängden anses ha fallit under den timma som föregår mätningen. Detta innebär att allt regn under 6-timmarsperioden anses ha fallit under 1 timma.

Modell 3:

Den uppmätta regnmängden fördelas beroende på den relativa luftfuktigheten. Allt regn fördelas lika på de timmar då luftfuktigheten varit högre än 90%. Om luftfuktigheten inte varit högre än 90% någon gång under perioden så anses allt regn ha fallit under den timma med den högsta luftfuktigheten.

I samtliga modeller används tidsintervallet 1 timma för att definiera ett visst "tillfälle". I modell 1 finns det alltså 6 gånger fler "tillfällen" än i modell 2 om tidsintervallet mellan nederbördsregistreringarna är 6 timmar.

De olika modellerna har olika användningsområden och valet av modell är helt beroende av den aktuella frågeställningen. I det följande diskuteras två olika frågeställningar som har avgörande betydelse för vatteninträngning i sprickor. nämligen

1. Hur många gånger per år regnar det mot en fasad när det samtidigt blåser med en viss vindhastighet? Hur mycket det regnar lämnas utan avseende i detta fall.
2. Hur mycket slagregn träffar en fasad när vindhastigheten överstiger ett visst värde? Antalet gånger detta sker lämnas utan avseende i detta fall.

6.4.2 Frekvens av slagregn vid viss vindhastighet

Den aktuella frågeställningen är att bedöma hur många gånger per år det förekommer slagregn mot en fasad samtidigt som det blåser med en viss vindhastighet.

I modell 2 beaktas enbart den vindhastighet som gäller timman före nederbördsregistreringen. Har vindhastigheten varit högre någon av de 5 (11) timmarna tidigare beaktas inte detta. Eventuella maxvärden under denna tid försummas sålunda. När det gäller att bedöma antalet gånger en Extremsituation föreligger medför sålunda modell 2 en kraftig underskattning.

I modell 1 används vindhastigheten under varje timma. Alla "timmaxvärden" kommer alltså att beaktas. Eftersom man med denna modell anser att det regnar varje timma under 6 (12)-timmarsperioden kommer antalet regntillfällen att överskattas. Är man endast intresserad av extremt höga vindhastigheter torde denna överskattning vara av mindre betydelse. Sannolikheten att man under en viss 6 (12)-timmarsperiod har extremt höga vindhastigheter, till exempel över 17 m/s, under flera timmar är nämligen liten. Är man däremot intresserad av förhållandena vid mer normala vindhastigheter, till exempel 10 m/s, blir det en kraftig överskattning av antalet regntillfällen. I extremfall kan ett enda regn, som kanske pågått i en timma, klassificeras som 6 (12) regntillfällen.

I modell 3 används vindhastigheten under de timmar då det samtidigt är en hög luftfuktighet. Med denna modell finns risk för att vissa extremvärden inte beaktas eftersom alla vindhastigheter avser ett medelvärde under 10 minuter, vilket inte behöver vara samma tidsperiod som den höga luftfuktigheten förekommer. Vid bedömningen av antalet gånger det regnar vid samtidigt mycket höga vindhastigheter torde modellen sålunda medföra en viss underskattning. Vid bedömningen av förhållandena vid mer normala vindhastigheter torde dock modell 3 vara mest realistisk.

För att bedöma risken för vatteninträngning i sprickor är det de högsta vindhastigheterna som är avgörande. Det räcker nämligen att det en enda gång under ett regn blåser så kraftigt att vatteninträngning sker. För att bedöma risken för vatteninträngning torde sålunda modell 1 vara mest realistisk. För att bedöma inträngande vattenmängder torde däremot modell 3 vara bäst.

I TABELL 6:4 redovisas för några orter det antal gånger det regnar samtidigt som det blåser i ett visst hastighetsintervall. Tabellen grundar sig på modell 1 och ger sålunda det maximala antalet gånger i den mest utsatta fasadorienteringen. Denna fasadorientering är mätt i 10°-intervall och kan vara olika för olika hastighetsintervall. Observera att den angivna vindhastigheten är ett timmedelvärde. I vindbyar kan enligt tidigare avsnitt maxhastigheten bli upp till 50% högre.

Tabell 6:4. Slagregnsfrekvens (gångar per år) i olika vindhastighetsintervall.

<i>Ort</i>	<i>Medelvindhastighetsintervall (m/s)</i>				
	<i>14-16</i>	<i>16-18</i>	<i>18-20</i>	<i>20-22</i>	<i>>22</i>
Kiruna	3	3	2	2	3
Karlstad	2	3	1	0	1
Bromma	4	3	2	2	0
Jönköping	7	6	4	3	1
Säve	18	21	7	5	2
Sturup	22	30	4	12	5

Som framgår av TABELL 6:4 är det en mycket markant skillnad mellan olika orter. Om man till exempel jämför Karlstad och Sturup finner man att i Karlstad förekommer slagregn vid medelvindhastigheter överstigande 18 m/s endast 2 gånger per år medan i Sturup motsvarande siffra är 20 gånger per år. Risken för vatteninträngning i sprickor är alltså väsentligt större i Sturup än i Karlstad.

En jämförelse mellan Säve i TABELL 6:4 och Torslanda i TABELL 6:3 (platserna ligger nära varandra) visar att slagregnsbelastningen enligt TABELL 6:4 är väsentligt större. Detta är helt naturligt och beror på att olika modeller har använts i de båda tabellerna. TABELL 6:4 baseras på modell 1 (överskattning av antalet gånger) medan TABELL 6:3 i princip är baserad på modell 2 (underskattning av antalet gånger). Används modell 2 för Säve erhålls värden enligt TABELL 6:5, vilken visar god överensstämmelse med TABELL 6:3.

TABELL 6:5. Slagregnsfrekvens (gångar per år) för Säve enligt modell 2.

<i>Vindhastighet (m/s)</i>	<i>Slagregnsfrekvens</i>
14-16	2
16-18	4
18-20	1
20-22	1
>22	0

Det dimensionerande värdet bör ligga mellan modell 1 och modell 2, dock närmare modell 1. Överskattningen i denna modell beror dels på att "antalet gånger" överskattas något och dels på att fasadorienteringen kan vara olika. I

brist på bättre bedömningsunderlag kan man som dimensionerande värde till exempel reducera värdena enligt TABELL 6:4 till hälften.

6.4.3 Slagregnsmängd vid viss vindhastighet

Den slagregnsmängd som träffar en fasad är främst av intresse i samband med icke vattenavvisande fasader. Även för vattenavvisande fasader kan dessa mängder ha ett visst intresse för att kunna bedöma hur mycket vatten som kan tränga igenom sprickor.

Uppgifter på slagregnsmängder finns tillgängliga dels som maximala värden för ett år under en 30-årsperiod och dels som årsmedelvärden. I det följande används enbart årsmedelvärden.

Valet av modell är i detta fall av mindre betydelse. I det följande används modell 3 som kan anses vara en ”medelmodell”.

I TABELL 6:6 redovisas slagregnsmängder mot den mest utsatta fasaden när vindhastigheten samtidigt överstiger ett visst värde.

TABELL 6:6. Årlig slagregnsmängd (kg/m^2) mot den mest utsatta fasaden när vindhastigheten överstiger ett visst värde.

Ort	Fasadori- entering	Vindhastighet (m/s)			
		>13	>15	>17	>19
Kiruna	NV	13	0	0	0
Karlstad	S	65	9	4	1
Bromma	S	16	1	0	0
Jönköping	SV	187	25	14	2
Säve	S	610	146	80	11
Sturup	SV	762	186	102	22

Överensstämmelsen mellan TABELL 6:6 och TABELL 6:4 är mycket god. Stora slagregnsmängder, många regntillfällen och regn vid höga vindhastigheter är alltid förknippade med varandra. Detta är en viktig iakttagelse vid bedömningen av sprickornas inverkan. Områden som normalt anses slagregnsrika har också många slagregn vid höga vindhastigheter. Detta medför i sin tur att sprickor är farligare i slagregnsrika områden.

(Situationen är inte olik en MOMENT 22-situation. Man vill använda vattenavvisande impregneringar i slagregnsrika områden för att eliminera vatteninträngning. I slagregnsrika områden måste man dock samtidigt ställa hårdare krav på den befintliga fasaden för att en impregnering ska fungera.)

7 KOMMENTARER OCH SLUTSATSER

Av tidigare redovisade teoretiska resonemang, laboratorieprovningar och klimatdata framgår klart att den "gängse accepterade" maximalt tillåtna sprickbredden på 0.3 mm inte kan användas generellt. Varje situation måste bedömas individuellt, varvid det inte är tillräckligt att enbart avgöra om det kan ske vatteninträngning eller inte. Om man till exempel skulle använda kriteriet att det absolut inte får ske vatteninträngning någon gång skulle kravet på maximalt tillåten sprickbredd bli mycket hårt, kanske 0.05 mm eller ännu mindre i vissa fall.

Vid fastställandet av maximalt tillåten sprickbredd i en viss situation måste man bland annat bedöma

- *hur ofta finns risk för vatteninträngning*
- *hur mycket vatten kan tränga in*
- *vad blir konsekvenserna av vatteninträngning*

För att kunna göra dessa bedömningar måste man ha kunskap bland annat om

- *klimatdata för den aktuella orten*
- *preparatets effektivitet*
- *sprickförekomst*
- *väggkonstruktionen*

De klimatdata som främst är av intresse är slagregns- och vindförhållanden. Dessa varierar kraftigt mellan olika orter. I avsnitt 6 redovisas några exempel på detta. I Karlstad är till exempel slagregn vid en medelvindhastighet högre än 17 m/s mycket ovanliga medan dessa betingelser är vanliga i Sturup. Kraven måste sålunda sättas högre i klimatutsatta lägen. Väljer man till exempel att använda kriteriet att risk för vatteninträngning får föreligga maximalt 3 gånger per år så blir den dimensionerande medelvindhastigheten i Karlstad 14 m/s. I Sturup blir motsvarande vindhastighet 22 m/s!

Preparatens effektivitet kan uttryckas i tillåtet vindtryck innan vatteninträngning sker i en spricka med viss bredd. Alternativt kan man bestämma den "praktiska randvinkeln" och därefter ange ett samband mellan vindhastighet och tillåten sprickbredd innan vatteninträngning sker. Härvid ska den i normala klimatdata angivna medelvindhastigheten ökas med cirka 50% för att inkludera kortvariga vindbyar. Principerna för provning och beräkning av tillåten sprickbredd beskrivs i avsnitten 5 respektive 4.

I de utförda laboratorieprovningarna uppmättes den praktiska randvinkeln till 110 - 120°. Detta gäller oberoende av preparattyp, koncentration och använt lösningsmedel. Denna randvinkel är mindre än vad som normalt framförs i olika sammanhang. De provade preparaten har alltså mindre möjligheter att motstå vatteninträngning än vad man normalt räknar med!

Som exempel kan nämnas att en 0.3 mm bred spricka inte tål mer än en maximal vindhastighet 16 - 19 m/s. Detta motsvarar en medelvindhastighet 10 - 13 m/s (frisk vind).

Sprickförekomsten har betydelse för mängden vatten som tränger in. Enstaka sprickor behöver inte ha någon avgörande betydelse. Vid riklig sprickförekomst kan dock betydande vattenmängder pressas in genom sprickorna. Vid riklig sprickförekomst bör den maximalt tillåtna sprickbredden väljas mindre än vid enstaka sprickor. Kan man till exempel tillåta ett fåtal 0.2 mm breda sprickor kanske man skall välja 0.1 mm om sprickförekomsten är riklig. Detta diskuteras ytterligare i avsnitt 4.

Väggkonstruktionen har betydelse för vatteninträngningen som sådan och för konsekvenserna av vatteninträngningen. I ett homogent murverk med genomgående sprickor kan konsekvensen av en vatteninträngning bli allvarlig, till exempel direkt vattenläckage på insidan. Kravet på maximalt tillåten sprickbredd blir i detta fall mycket hårt.

I en skalmur med väl fungerande dränering och kapillärbrytning har däremot ett vattengenomslag ingen större akut betydelse. Några egentliga krav på maximal sprickbredd finns knappast i detta avseende. Studerar man däremot fuktbalansen på lång sikt kan en riklig sprickförekomst medföra att mycket vatten tränger in och på sikt ger ett generellt högt fukttillstånd, vilket kan öka risken för till exempel frostsador. Ett rimligt ställningstagande i detta fall är att tillåta ett fåtal större sprickor eller ett flertal mindre.

I en skalmur med bristfällig kapillärbrytning och dränering samt med fuktkänsliga material måste vatteninträngningen begränsas så mycket som möjligt. I detta fall bör man inte tillåta några stora sprickor och endast ett fåtal finare sprickor.

En praktisk dimensionering bör göras med ovanstående bedömningskriterier. Någon exakt dimensioneringsmodell med tillhörande kriterier kan inte ställas upp för närvarande. Med en kvalitativ bedömning kan man dock uppnå en relativt god säkerhet. En sådan bedömning kan till exempel innefatta punkterna

1. Fastställ maximalt antal gånger man kan acceptera vatteninträngning.
2. Bedöm dimensionerande vindhastighet.
3. Fastställ den praktiska randvinkel.
4. Beräkna maximalt tillåten sprickbredd.

Ovanstående principer ska ses som en första ansats till dimensioneringsmodell. Principerna exemplifieras med några exempel i det följande. Saknar man underlag för att göra dessa kvalitativa bedömningar bör man välja en mindre tillåten sprickbredd än vad man normalt gör idag. I utsatta lägen med fuktkänsliga material i väggen torde 0.1 mm vara en rimlig maximal sprickbredd. I utsatta lägen men med okänsliga material kan 0.2 mm vara ett rimligt värde. I mindre utsatta

lägen med mindre fuktkänsliga material kan man sannolikt använda gränsvärdet 0.3 mm. Ett värde större än 0.3 mm ska man aldrig använda.

Exempel 1:

Bedöm tillåten maximal sprickbredd för att kunna impregnera en fasad bestående av (utifrån räknat):

½-stens tegelmur utan frostsador
luftspalt med riklig förekomst av brukstuggor
200 mm lättbetong
puts

Byggnaden är ett 5-vånings bostadshus i Malmö. Anledningen till att man vill impregnera fasaden är att insidan är fuktig, främst på den översta våningen.

Punkt 1:

Väggen är idag fuktig, vilket innebär att även en partiell förbättring av situationen är positiv. Väggen är inte speciellt fuktkänslig. Enstaka tillfällen med vatteninträngning genom tegelmuren är ofarligt om inte den inträngande vattenmängden blir för stor. Välj som kriterium att vattengenomslag får ske maximalt 3 gånger per år och att den inträngande vattenmängden inte får överstiga 3 l/m² vid varje tillfälle. (Denna fuktmängd hinner gott och väl torka ut under året enligt EKV 2:2.)

Punkt 2:

Klimatdata väljs för Sturup. Enligt TABELL 6:4 kan medelvindhastigheten 22 m/s vara rimlig som dimensionerande värde. Omräknas denna hastighet till maxhastighet i vindbyar erhålls värdet 33 m/s.

Punkt 3:

Den praktiska randvinkeln antas vara 120°.

Punkt 4:

Enligt FIGUR 4:6 sker vattengenomslag vid vindhastigheten 33 m/s i en spricka om bredden överstiger 0.1 mm.

Vid bedömningen av den inträngande vattenmängden väljs 20 m/s som dimensionerande värde. Enligt FIGUR 4:5 motsvarar 20 m/s ett övertryck på cirka 250 Pa. Enligt EKV 4:5 ger detta genom en 0.1 mm spricka ett vattenflöde på 0.6 liter per timma och löpmeter spricka. Fasaden bedöms maximalt ha en löpmeter spricka per m². Under ett tre timmar långt regn kan sålunda maximalt 2 l vatten tränga in per m². Detta gäller om sprickan har konstant bredd genom hela murtjockleken och är fri från ”skräp”. Ofta är sprickor bredare i ytan samtidigt som den innehåller krossat material och andra partiklar. Vidare är det inte troligt att vindhastigheten i medeltal är så hög som 20 m/s under de tre timmarna. Den uppskattade vattenmängden som kan tränga in skall alltså betraktas som ett absolut maxvärde.

Slutsats:

Vid riklig förekomst av sprickor torde 0.1 mm som maximalt tillåten sprickbredd vara på säkra sidan med god marginal. Man kan även acceptera enstaka bredare sprickor, till exempel med maximal bredd cirka 0.2 mm. Görs även den bedömningen att sprickorna är smalare och delvis fyllda med material längre in i väggen kan även något större sprickor accepteras.

En impregnering torde med stor sannolikhet (med ovan angivna sprickbredder) lösa de aktuella problemen. Även om man missbedömer aktuella sprickor och de är större än enligt ovan torde en impregnering inte försämra situationen.

Exempel 2:

Bedöm tillåten sprickbredd för att kunna impregnera en traditionell skalmur med träregelstomme som har rikligt med brukstuggor i luftspalten. Dräneringen i spalten fungerar tillfredsställande. Byggnaden är en villa belägen i Stockholmstrakten. Anledningen till att man överväger en impregnering är att träregelstommen suger åt sig vatten från tegelmuren.

Punkt 1:

Problemen beror på en direkt kapillärkontakt mellan tegelmuren och bakomliggande konstruktion. Målsättningen med impregneringen är att helt stoppa vatteninträngning. (Alternativet till en impregnering är att riva tegelmuren och mura upp en ny.) Något enstaka vattengenomslag kan säkerligen accepteras under en kortare tid. Mängden inträngande vatten är mindre viktig eftersom dräneringen i spalten fungerar.

Som kriterium väljs att vattengenomslag får ske maximalt 2 gånger per år med maxmängden 3 l/m² per tillfälle.

Punkt 2:

Enligt TABELL 6:4 kan man välja (Bromma) 17 m/s som dimensionerande medelvindhastighet. Detta motsvarar maximal vindhastighet 25 m/s i vindbyar.

Punkt 3:

Den praktiska randvinkel för det aktuella preparatet är 125°.

Punkt 4:

Eftersom det är fråga om en villa är det rimligt att reducera formfaktorn i EKV 4:2 till 0.7. Detta innebär att det aktuella övertrycket enligt FIGUR 4:5 maximalt blir 260 Pa. Enligt FIGUR 4:4 ger detta en maximalt tillåten sprickbredd på 0.3 mm.

Med motsvarande reduktion av medeltrycket under en längre tid blir detta enligt FIGUR 4:5 (17 m/s) 120 Pa. Enligt EKV 4:5 ger detta ett vattenflöde cirka 8 l per timma och löpmeter spricka. Med antagandet att det

finns en löpmeter spricka per m^2 skulle det krävas att slagregnsintensiteten vore 8 l/m^2 och timma, vilket inte är sannolikt under någon längre tid. Slagregnsintensiteten blir sålunda begränsande i detta fall. Tar man även hänsyn till att det är helt osannolikt att det finns så många 0.3 mm breda sprickor som är rena och genomgående kan den verkligt inträngande vattenmängden uppskattas bli väsentligt mindre. Antar man att sprickornas medelbredd är 0.15 mm blir den inträngande vattenmängden cirka en liter per m^2 och timma, vilket är helt acceptabelt. Med beaktande av att dräneringen i luftspalten fungerar kan väsentligt större mängder accepteras.

Slutsats:

Ett mindre antal 0.3 mm breda sprickor kan accepteras. Sprickor med bredden 0.2 mm kan accepteras även i stor omfattning.

En impregnering torde med stor sannolikhet lösa de aktuella fuktproblemen, även om det finns sprickor med bredden 0.3 mm. Någon försämring av förhållandena torde under inga omständigheter vara aktuell. Med hänsyn till att en impregnering är väsentligt billigare än att mura om fasaden är en impregnering att rekommendera.

REFERENSER

Franke, L & Bentrup, H, 1991, *Einfluß von Rissen auf die Schlagregensicherheit von hydrophobiertem Mauerwerk und Prüfung der Hydrophobierbarkeit*. Bautenschutz und Bausanierung 14-1991.

Harderup, E, 1996, *Uppskattning av slagregn och slagregnsindex*. Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola. Rapport TVBH-96/7192. Lund.

Krii, S, 1996, *Vattenavvisande fasadimpregnering - inträngningsdjup i tegelsten, kalksandsten och murbruk*. Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola. Rapport TVBM-5031. Lund.

Nägele, E, 1985, *Hydrophobierung von Baustoffen - Theorie und Praxis*. Bautenschutz und Bausanierung 4-1985.

Sandin, K, 1980a, *Putsens inverkan på fasadens fuktbalans - Huvudrapport*. Byggnadsmateriallära, Lunds Tekniska Högskola. Rapport TVBM-1004. Lund.

Sandin, K, 1980b, *Putsens inverkan på fasadens fuktbalans - Delrapport I-VIII*. Byggnadsmateriallära, Lunds Tekniska Högskola. Rapport TVBM-1005. Lund.

Sandin, K, 1993a, *Vattenavvisande fasadimpregnering - Fullskaleförsök i Harphult*. Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola. Rapport TVBM-7052. Lund.

Sandin, K, 1993b, *Vattenavvisande fasadimpregnering - Fullskaleförsök i Lerberget*. Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola. Rapport TVBM-7053. Lund.

Sandin, K, 1994, *Vattenavvisande fasadimpregnering*. Byggforskningsrådet T15:1994. Stockholm.

Sandin, K, 1995a, *Vattenavvisande fasadimpregnering - Laboratorieundersökningar 1992-94*. Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola. Rapport TVBM-3065. Lund.

Sandin, K, 1995b, *Utvändig ytbehandling av puts och murverk*. Byggforskningsrådet T13:1995. Stockholm.

Sandin, K, 1996, *Vattenavvisande fasadimpregnering - Alkalibeständighet*. Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola. Rapport TVBM-3074. Lund.

Taesler, R, 1972, *Klimatdata för Sverige*. Byggforskningsrådet. Svensk Byggtjänst. Stockholm.

