

Sprickbildning i puts på isolering

Vid Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola, har problem med sprickbildning i puts på isolering studerats under ett antal år. Projektet startade i större skala 1999 med generella brottmekaniska analyser, laboriemätningar av brukets egenskaper och "fullskaleförsök" på provväggar i laboratorium. Resultaten från de första årens studier redovisades översiktligt i Bygg & teknik 8/02. Bland annat visades där sprickutseendet hos den första provväggen (*figur 1*). Vidare diskuterades olika mekanismer som kunde ge upphov till sprickbildningen. Brukets krympning i kombination med att stålåsarmeringen var placerad nära värmeisoleringen bedömdes vara den primära orsaken till sprickbildningen.

De fortsatta undersökningarna har inriktats på att försöka eliminera sprickbildningen genom att modifiera både brukets sammansättning och armeringen i putsen. Totalt har ett tiotal nya försök med provväggar genomförts. Parallellt med dessa provväggar har ytterligare teoretiska analyser genomförts. Vidare har en ny provningsmetod utvecklats där mindre putsstrimlor provas i stället för hela provväggar. Syftet med det senare är att snabbt kunna testa ett större antal varian-

ter för att sedan välja ut ett mindre antal för provning i hela provväggar.

Projektet genomförs i samarbete med Interoc AB och Fasadex AB. Finansierare är SBUF, Maxit AB, Skanska Teknik AB, Combimix AB och SPEF.

Försök med provväggar

Provväggarna är i princip traditionella träregelväggar med gips på båda sidorna och mineralull mellan reglarna. På utsidan monteras sedan 50 mm mineralull och olika putssystem. Totalt finns sex stycken 5,4 x 2,5 m stora väggar. Efter putsning och viss tids härdning får putsen torka till jämvikt med 30–40 procent RF, varefter uppfuktning/uttorkning sker några gånger. Hela tiden kartläggs sprickbildningen genom noggrann avsyning med lupp. Provväggar och provningens genomförande beskrivs i detalj i *Sandin 2003*.

Putssystemet som provades enligt artikeln i Bygg & teknik 8/02 valdes medvetet så att känsligheten för sprickor var mycket stor. I de fortsatta provningarna har vi med utgångspunkt från de teoretiska analyserna vidtagit förbättringar på olika sätt. Stråvan har varit att endast ändra en enda variabel i sänder för att härigenom på ett entydigt sätt kunna fastställa betydelsen av olika faktorer. Av praktiska skäl har vi varit tvungna att i vissa fall samtidigt variera flera faktorer. Antalet provväggar skulle annars ha blivit alltför stort. Förutom dessa variabelstudier har även ett antal kommersiella system provats. Även hos dessa kommersiella system har vissa modifieringar gjorts med ut-



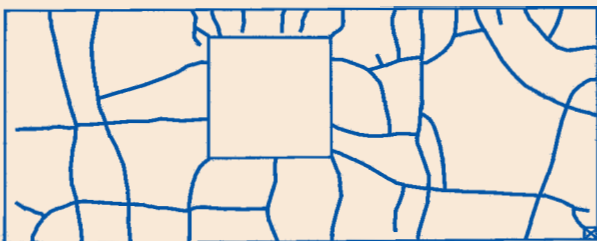
gångspunkt från erhållna resultat i tidigare provningar och teoretiska analyser.

Putssystemet i den första provväggen som uppvisade en omfattande sprickbildning enligt *figur 1* valdes medvetet så ogynnsamt som möjligt med hänsyn till risken för sprickbildning. Provväggen skulle främst ses som en test av provningsmetoden. Utfallet var väntat och visade att provningsmetoden var användbar.

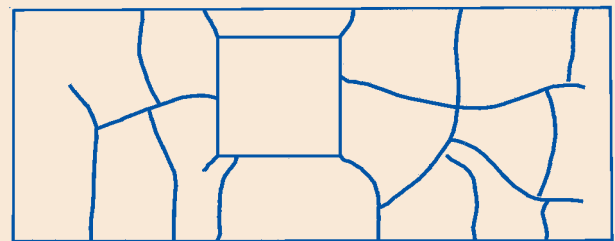
För att testa ett mer rimligt putssystem valdes sedan ett vanligt kommersiellt system med stålåsarmering och en tjock KC-puts i nästa provvägg. Allt arbete utfördes av systemleverantörens instruktörer. Sprickbildningen efter den första uttorkningen följt av en uppfuktning redovisas i *figur 2*. Likheten med *figur 1* är slående. Liknande sprickbildning har även konstaterats i praktiken.

Nästa steg blev nu att försöka förbättra det kommersiella systemet genom olika åtgärder. De åtgärder som testades var:

- Grövre ballast
- Fiberinblandning i bruket
- Distansbrickor mellan värmeisolering och stålåsar.



Figur 1: Sprickbildning i den första provväggen.



Figur 2: Sprickbildning i provvägg med kommersiellt system.

Sprickbildningen blev något mindre med dessa åtgärder, speciellt om flera åtgärder vidtogs samtidigt. Sprickbildningen var dock fortfarande relativt omfattande.

Nästa steg blev att försöka utforma ett putssystem "så bra som möjligt" utan att ta hänsyn till om det var användbart i praktiken. Den väsentliga skillnaden mot det kommersiella systemet var att först grundades värmeisoleringen med ett KC-bruk av kvalitet B-bruk. Härefter monterades stål nätet med distanser så att nätet skulle hamna 10 mm utanför grundningen. Detta var i praktiken omöjligt trots omfattande arbete. Trots att distanserna placerades mycket tätt, ofta på någon decimeters avstånd, blev avståndet mellan nät och grundning 4–14 mm. Slutligen applicerades 15 mm KC-bruk av kvalitet C-bruk. Efter ett antal cykler uttorkning, uppfuktning var putsen fortfarande sprickfri.

Ett annat system som provades var först en grundning med B-bruk följt av 10 mm C-bruk och ett glasfibernet så nära ytterytan som möjligt. Nätet trycktes in i den färskta utstockningen. Även detta system var sprickfritt efter ett antal uttorkningar/uppfuktningar.

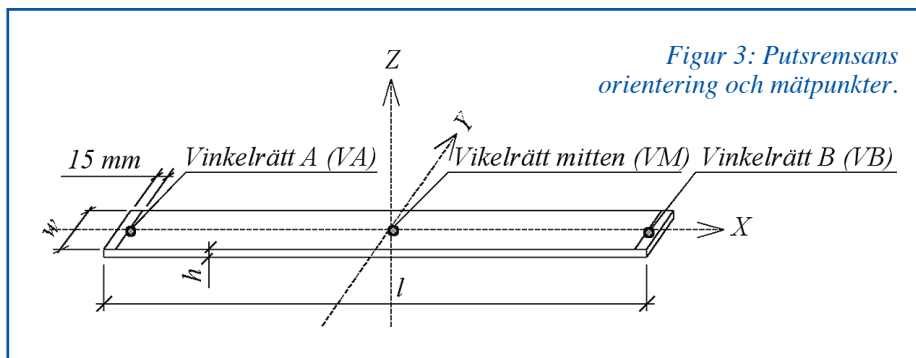
De ovan redovisade försöken kan betraktas som ytterligheterna och de fortsatta provningarna inriktades på att utveckla system som var användbara i praktiken.

Försök med att samtidigt modifiera bruken genom grövre ballast och fiberblandning samt att ytterligare "flytta ut" armeringsnätet i putsen visade sig medföra en mycket stor förbättring. Endast enstaka sprickor konstaterades i de nya systemen.

Slutligen provades ett ur teoretisk synvinkel extremt säkert system, nämligen en kombination av stål nät innerst och glasfibernet ytterst. Detta system uppvisade ingen sprickbildning och måste anses vara helt säkert.

Försök med putsstrimlor

För att förstå beteendet hos puts under upprepad uppfuktning och uttorkning utsätts putsremсор för uttorkning och uppfuktning under kontrollerade förhållan-



Figur 3: Putsremsans orientering och mätpunkter.

den. Putsremсорnas deformationer, det vill säga den axiella deformationen samt deformationer vinkelräta mot putsremsans längdaxel, bestäms under pågående uppfuktning och uttorkning, se Hassanzadeh 2004.

I figur 3 visas en putsremsa med längden l , bredden w och tjockleken h . I figuren visas också koordinataxlarna x , y och z . Putsremsans gjuts och härddas i liggande position.

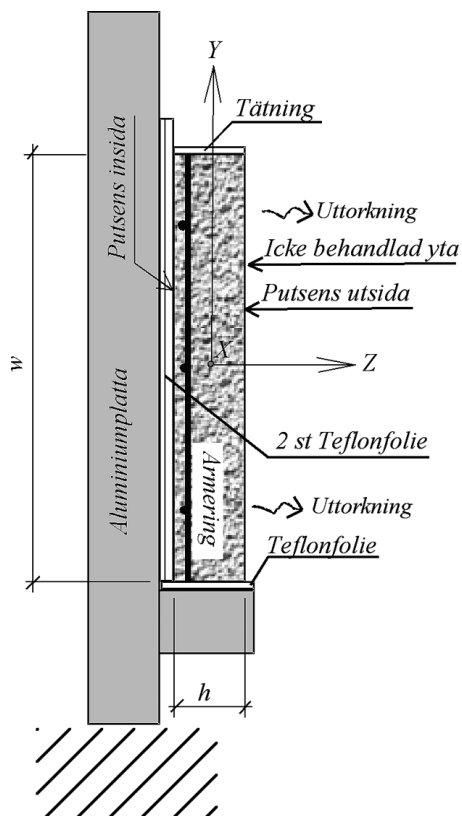
Putsremsans gjuts på två lager teflonfolie som ligger på en aluminiumplatta (1000 x 150 x 20 mm). Putsremsans längd respektive bredd är 700 mm respektive 60 mm. Putsremsans tjocklek varierar. Hittills har två tjocklekar provats, 10 mm respektive 20 mm.

Efter gjutning skyddas putsremsans mot uttorkning genom att linda två till tre varv plastfolie runt hela formen. Ett dygn efter gjutning läggs våta dukar på putsremsans för att förhindra uttorkningen. Remсорna härddas i laborieriklimat, cirka 20 °C. Härdningstiden före uttorkningens start varierar.

Efter härdning utsätts putsremsans för uttorkning i en klimatbox. Den önskade RF-nivån i boxen upprätthålls genom att placera skålar med mättade saltlösningar.

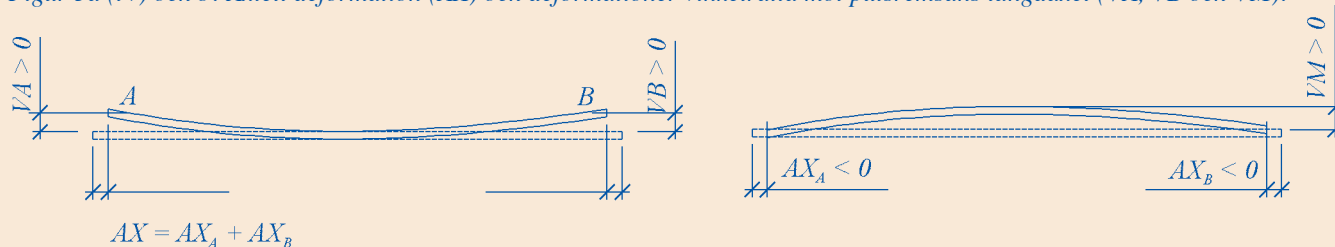
Putsremsans placeras i boxen i stående position på en teflonfolie såsom visas i figur 4. Vidare finns två teflonfolier mellan putsremsans och aluminiumplattan. Putsremsans övriga ytor, utom "fasadytan", behandlas med asfalt för att förhindra fukttransport från/till putsremsans genom dessa ytor.

Remсорna tillverkas både med och utan armering. Putsremsans i figur 4 innehåller armeringsnät. Armeringens placering kan varieras. I det fall som visas i figuren är armeringen placerad nära putsremsans insida. Vid de försök som utförts hittills har armeringen placerats antingen



Figur 4: Putsremsans orientering i klimatboxen.

Figur 5a (tv) och b: Axiell deformation (AX) och deformationer vinkelräta mot putsremsans längdaxel (VA, VB och VM).



nära putsens insida eller nära putsens utsida. Vid några provningar har två lager av armeringsnät använts.

När putsremsan placerats i boxen bestäms deformationerna kontinuerligt. Både axiella deformationer och deformationer vinkelräta mot putsremsans längdaxel bestäms. I figur 3 och 4 visas mät-punkternas placering. I figur 5a och 5b visas de deformationer som förekommer. De vinkelräta deformationerna mäts med hjälp av tre givare. Två givare placeras 15 mm från vardera änden av putsremsan, figur 3. Den tredje givaren placeras på mitten av putsremsan. De vinkelräta deformationer som sker utåt sett från aluminiumplattan betecknas här som positiva deformationer. Den axiella deformationen bestäms med två givare placerade på vardera änden av putsremsan. Den axiella deformationen är summan av givarnas mätvärde. Förkortning av putsremsan betecknas som negativ deformation.

Hittills har enbart en typ av putsbruk använts. Putsbruket är ett finputsbruk med fin ballast.

I figur 6 visas resultaten av fyra mätningar. I figur 6a visas deformationerna hos en 10 mm oarmerad putsremsa. I figur 6b visas deformationerna hos en 10 mm armerad putsremsa. Putsremsan är armerad med ett stål nät med maskvidd 20 mm och tråddiameter cirka 1 mm. Stålnätet är placerat närmast insidan av putsremsan, cirka 2 mm från teflonfolien, figur 4. Figur 6c visar de-

formationerna hos ytterligare en armerad putsremsa. Putsremsan är tillverkad på samma sätt och vid samma tidpunkt som den föregående putsremsan men med den skillnaden att armeringsnätet ligger närmast putsremsans utsida, cirka 2 mm från ytan. Figur 6d visar deformationerna hos en putsremsa med två lager armeringsnät, ett nära insidan och ett nära utsidan.

I varje figur visas fyra kurvor. Kurvan markerad med AX visar den axiella deformationerna medan VA, VB och VM visar deformationer som är vinkelräta mot putsremsans längdaxel, figur 3 och 5.

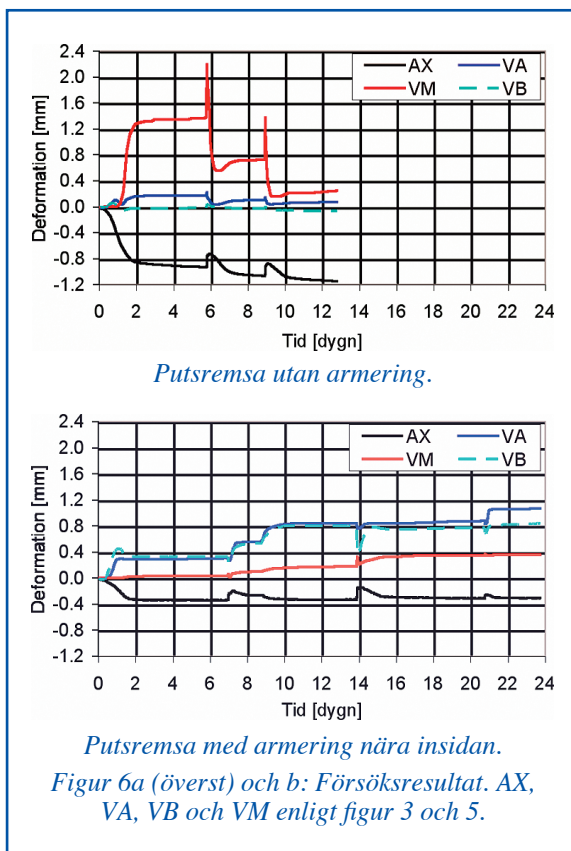
Efter sex till åtta dygns uttorkning besprutades remsorna med vatten. Besprutningstillfällena framgår av figurerna och syns i kurvorna genom snabba deformationsändringar.

Teoretiska analyser

I det följande ges enbart en mycket kortfattad och enkel beskrivning av den teoretiska bakgrunden. För mer djupgående resonemang hänvisas till Hassanzadeh 2004.

När en oarmerad putsremsa torrar ensidigt bildas en fuktgradient, vilken medför att putsremsans utsida blir torrare än putsremsans insida. Den torra delen vill krympa och bli kortare medan den våta delen motsätter sig detta. Resultatet blir att putsremsan deformeras enligt figur 5a. När fuktgradienten försvinner och putsremsan blir torr blir putsremsan rak igen förutsatt att inga skador uppstår under uttorkningen.

När en rak oarmerad och torr putsremsan uppfuktas ensidigt bildas en fuktgradient. Fuktgradienten medför att den fuktiga delen vill bli längre medan den torra delen står emot. Resultatet blir att putsremsan deformeras på det sätt som visas i figur 5b. Detta framgår av figur 6a. VM ökar när putsremsan besprutas med vatten efter sex dygn.



När en armerad putsremsa torkar ut krymper bruket. Armeringen motverkar brukets krympning. Putsremsans deformation beror på armeringens placering. Om armeringen är nära putsremsans insida deformeras putsremsan enligt figur 5a. Däremot deformeras putsremsan enligt figur 5b om armeringen är nära putsremsans utsida. Båda effekterna bekräftas av figur 6b och 6c. En putsremsa med två armeringslager som är symmetriskt placerade med avseende på putsremsans neutrallager håller sig rak, se figur 6d.

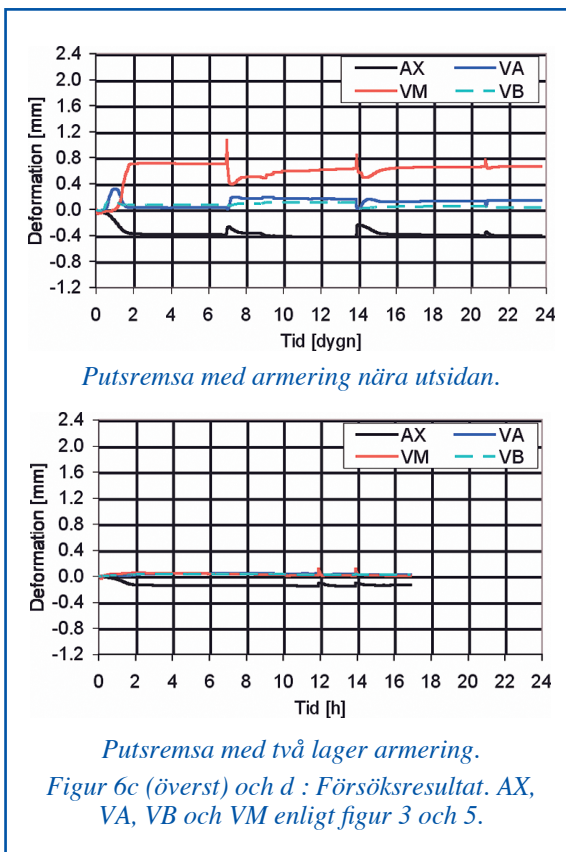
Armering motverkar brukets krympning. Den oarmerade putsremsans axiella deformation är mycket större än de armerade remsornas axiella deformation, figur 6. När armeringen motverkar brukets krympning uppstår spänningar i putsremsan som kan leda till sprickbildning. Sprickor har observerats i samtliga fall.

Provningsresultatet kan användas för att förklara de sprickor som uppkommer i puts på isolering. När armeringsnätet är placerat nära putsens insida har putsen en tendens att deformera såsom visas i figur 7a. Putsen trycks mot isoleringen vilket medför att dragspänningar bildas på putsens utsida. På grund av att armeringen är placerad på insidan kan sprickbildningen inte motverkas av armeringen. Vidare har armeringen ingen möjlighet att finfördela sprickorna. Denna effekt förstärks av fuktgradienten. Därför ökar antalet sprickor vid upprepade uttorkning och uppfuktning.

När armeringsnätet är placerat nära putsens utsida har putsen en tendens att deformera såsom visas i figur 7b. Putsen trycks inte mot isoleringen. I detta fall uppkommer dragspänningar på putsens insida. Eventuella sprickor uppkommer på putsen insidan vilka inte syns. Även om sprickorna skulle växa mot utsidan begränsas de av armeringen som är placerad där. Armeringens placering motverkar även fuktgradientens effekter. Provväggar med armering nära utsidan har varit sprickfria efter upprepade uppfuktning och uttorkning.

Det bör noteras att den situation som visas i figur 7b uppkommer även när en torr puts utsätts för regn.

De remsor som har två lager armering bibehåller sin form och håller sig raka. Av denna anledning är risken för sprick-



Figur 6c (överst) och d : Försöksresultat. AX, VA, VB och VM enligt figur 3 och 5.

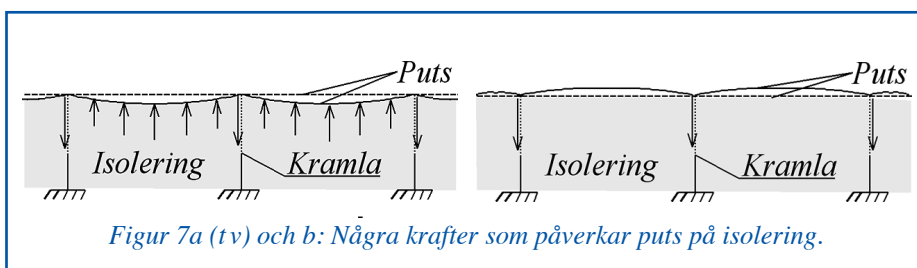
bildning i dubbelarmerad puts liten. De sprickor som ändå uppkommer på grund av att de axiella deformationerna är förhindrade blir finfördelade och osynliga.

Slutsatser

Överensstämmelsen mellan resultaten med provväggar, strimlor och teoretiska analyser är mycket god. Med utgångspunkt från erhållna resultat har risken för sprickbildning efterhand reducerats betydligt. De första provväggarna sprack sönder totalt medan de senaste provväggarna endast uppvisat någon enstaka spricka i något fall. De helt avgörande faktorerna för sprickbildningsrisken torde vara brukets krympning och armeringens placering.

Mekanismen vid sprickbildning kan sammanfattas på följande sätt:

1. Brukets krympning förhindras av nätarmeringen.
2. Om armeringen ligger excentriskt förhindras krympningen där armeringen finns. Detta medför en krökning av putsen och ytterligare dragspänningar uppstår i ytan.
3. Kramlorna vill förhindra krökningen, varvid ytterligare spänningar uppstår. Störst dragspänning under uttorkningen uppstår på utsidan mitt mellan kramlorna.



Figur 7a (tv) och b: Några krafter som påverkar puts på isolering.

4. Fuktgradienter i putsen vill kröka putsen, vilket medför spänningar. Armeringen håller emot denna krökning, varvid ytterligare spänningar uppstår. Dessa kan vara både tryck- och dragspänningar.

5. Kramlorna kommer att förhindra krökningen på grund av fuktgradienter, vilket medför ytterligare spänningar.

I verkligheten förekommer ytterligare mekanismer. Som exempel kan nämnas temperaturgradienter och vindbelastning.

Fortsatta undersökningar

Även om risken för sprickbildning blivit väsentligt mindre idag jämfört med innan projektet startade återstår fortfarande ett antal frågetecken. Vi kan i princip presentera ett helt säkert system men ett sådant system kanske inte är möjligt att använda kommersiellt. Antingen blir det för dyrt eller praktiskt ogenomförbart.

De fortsatta undersökningarna syftar till att försöka kvantifiera olika faktorer som påverkar sprickbildningen, för att härigenom kunna minska sprickbildningsrisken utan alltför omfattande modifieringar av systemen. Ytterligare variabler som ska studeras är härdningsbetingelserna, tid mellan olika putspåslag och kramlornas inverkan. Hitills har främst stålnätarmering ingått i undersökningarna. I de fortsatta undersökningarna ska även glasfibernet användas i större skala.

Syftet med de fortsatta undersökningarna är att kunna presentera ett antal "helt säkra system". Då kan var och en välja ett system som även uppfyller andra krav som beställaren har. ■

Litteratur

- Hassanzadeh, M, 2001, *Sprickbildning i puts på isolering – Inledande laboratorieförsök och parameterstudier*. Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola. Rapport TVBM-3099. Lund.
- Sandin, K, 2002, *Sprickbildning i puts på isolering – Inledande laboratorieförsök och parameterstudier*. Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola. Rapport TVBM-3101. Lund.
- Sandin, K, 2003, *Sprickbildning i puts på isolering – Inledande försök på provväggar*. Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola. Rapport TVBM-3108. Lund.
- Sandin, K, 2004, *Sprickbildning i puts på isolering – Försök på provväggar*. Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola. Rapport TVBM-3116. Lund.
- Hassanzadeh, M, 2004, *Sprickbildning i puts på isolering – Undersökning av grundläggande mekanismer*. Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola. Rapport TVBM-3117. Lund.