



LUND UNIVERSITY

Fuktmätning i utomhusexponerade naturstensblock : lägesrapport till Riksantikvarieämbetet, september 1997

Wessman, Lubica

1997

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Wessman, L. (1997). *Fuktmätning i utomhusexponerade naturstensblock : lägesrapport till Riksantikvarieämbetet, september 1997*. (Rapport TVBM (Intern 7000-rapport); Vol. 7113). 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



LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Byggnadsmaterial

UNIVERSITY OF LUND
LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY
Division of Building Materials

Fuktmätning i utomhusexponerade naturstensblock

Lägesrapport till Riksantikvarieämbetet, September 1997.

Lubica Wessman

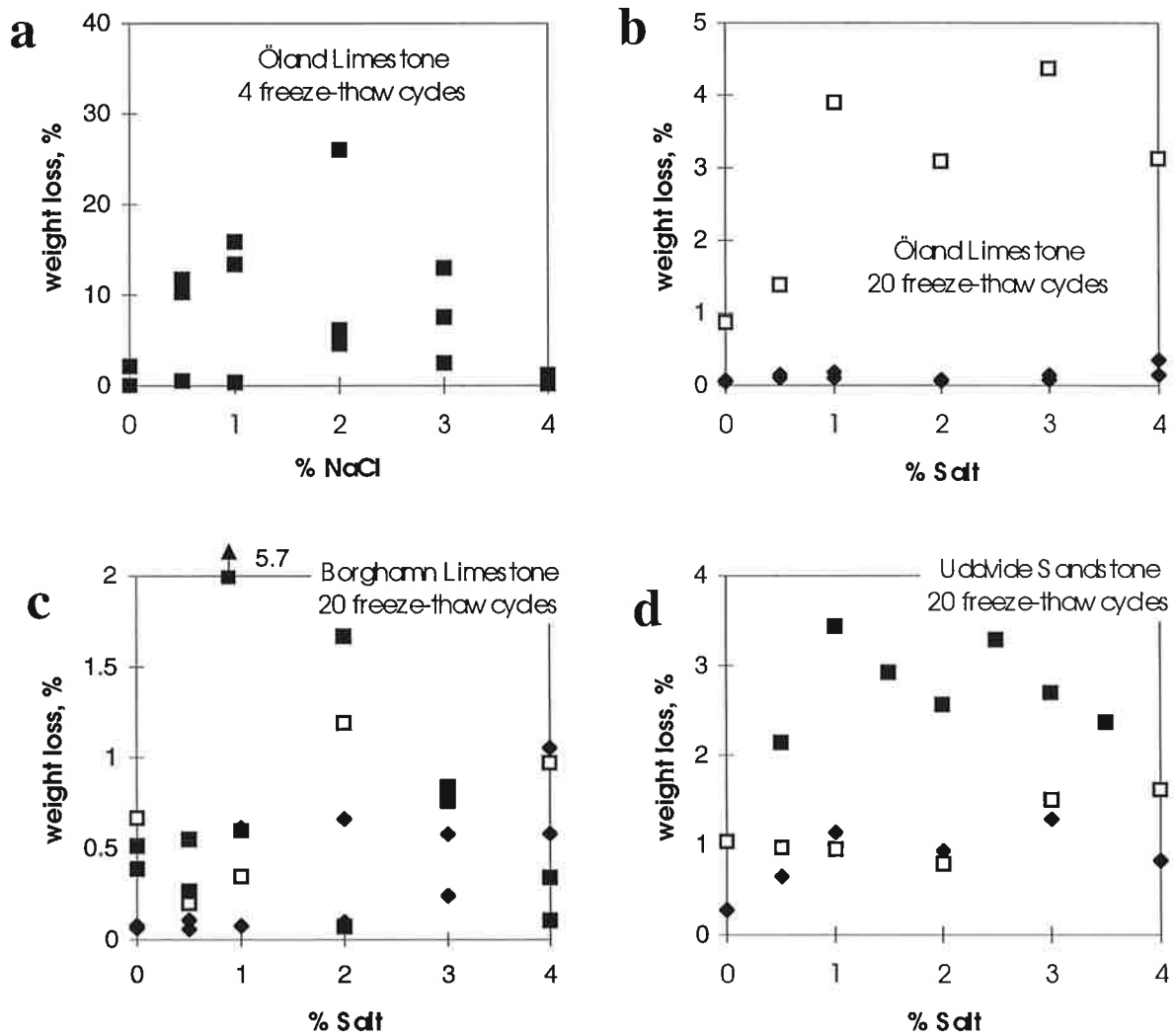
Rapport TVBM-7113

Lund, september 1997

Lägesrapport

Under året har tre olika försök utförts inom ramen för projektet om frostnedbrytning av natursten:

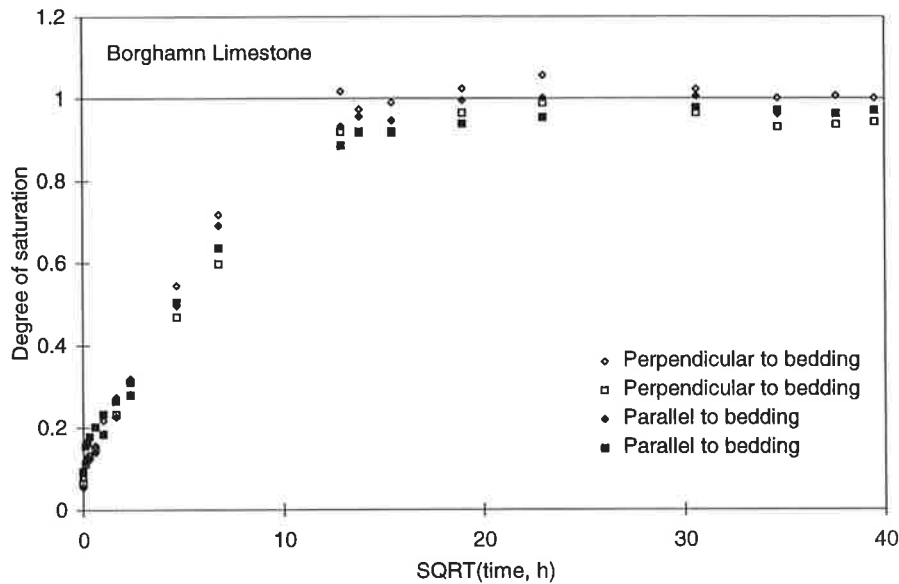
1. *Kompletterande frysprovningar* av typen avskalningsförsök har utförts på Borghamnskalksten, som tidigare inte studerats. Borghamnskalkstenen visade sig vara mycket beständig med i det närmaste obefintliga avskalningar, se figur 1c. Dessutom utförs avskalningsförsök med fler koncentrationer av Na_2SO_4 -lösningar. Ett kapillärsugningsförsök på Borghamnskalksten gjordes också, se figur 2. Slutligen gjordes också en del kompletterande frysstudier i kalorimeter. Försöken som nämnts här finns redovisade i detalj i den licentiatuppsats som kommer att presenteras i höst.



Figur 1. Viktförlust i procent av ursprunglig torrsvikt som funktion av saltkoncentration.

Symboler: ■ = NaCl, □ = Na_2SO_4 , ◆ = $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

2. *Fuktmätningar i utomhusexponerade block* av Gotlandssandsten och Borghamnskalksten pågår. Detta försök redovisas i denna rapport.



Figur 2. Kapillärsugning av Borghamnskalksten.

3. Ett examensarbete har utförts, där i första hand *längdutvidgningskoefficienter vid olika fuktinnehåll* hos ett antal olika svenska naturstenar har studerats. Längdutvidgningskoefficienten α är den relativa rörelsen hos ett material då temperaturen ändras 1°C , dvs

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l \cdot \Delta T}$$

där

- Δl är längdändringen (m);
- l är den ursprungliga längden (m);
- ΔT är temperaturändringen (m).

De studerade stenarna var grå Borghamnskalksten från norra brottet, de två gotländska sandstenarna Uddvide och X:1 samt den Ekebergsmarmor som benämns Ekeberg standard. Sammanfattningsvis framkom att längdutvidgningskoefficienten är oberoende av fuktinnehållet i stenen. De olika längdutvidgningskoefficienterna visas i tabell 1 nedan. Examensarbetet kommer att presenteras i höst.

Tabell 1. Längdutvidgningskoefficienter. Enhet: $10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

| Sten | Max | Min | Medel | Standardavvikelse | Antal stenar |
|---------------------------------------|------|------|-------|-------------------|--------------|
| Kalksten med klov parallellt sågrikt. | 11,1 | 8,15 | 9,95 | 1,0 | 7 |
| Kalksten utan klov. Kärnsten | 11,7 | 8,44 | 10,1 | 1,0 | 12 |
| Kalksten med klov vinkelrätt sågrikt. | 11,1 | 8,15 | 9,95 | 1,0 | 7 |
| Sandsten Uddvide | 15,4 | 11,8 | 13,5 | 1,2 | 17 |
| Sandsten X:1 | 14,0 | 8,22 | 11,2 | 1,7 | 14 |
| Marmor | 13,4 | 8,42 | 9,83 | 1,7 | 7 |

Fuktmätning i utomhusexponerade naturstensblock

Inledning

Det har länge funnits ett stort intresse att öka kunskapen om hur fukt beter sig i natursten utomhus, eftersom fukt ofta är en av de främsta orsakerna till att sten bryts ner. Fukt påverkar ett flertal olika nedbrytningsmekanismer, inte minst frostnedbrytningen, på ett för stenens beständighet negativt sätt. Ett hinder för mätningar i fält är ofta att man därvid tvingas göra åverkan på befintliga objekt t ex genom att borra ut små cylindrar för vägning.

Försöket som redovisas i denna rapport är en del av ett större projekt om frostnedbrytning av natursten, som sedan några år finansierats av Riksantikvarieämbetet. Syftet med detta försök var att mäta fukt i en uppbyggd naturstenvägg som utsätts för utomhusklimat för att se om fuktnivåerna som uppkommer är tillräckligt höga för att frostsador skall kunna uppstå. Det finns även ett egenintresse av att känna till hur fukt beter sig utomhus i natursten. Den stora fördelen med denna typ av försök är att man därvid gör en slags fältmätningar utan att göra någon inverkan på ett riktigt objekt.

Material och metod

Två block vardera av den gotländska sandstenen Uddvide och en grå Borghamnskalksten från norra brottet med måtten 15 x 15 x 30 cm monterades men ena långsidan vänd utåt i var sin tät låda. Se figur 3. Lådans kanter och mellanrummet mellan stenblocken tätades med polyuretanfogmassa. Kalkstenen placerades med den skiktade sidan vänd utåt. Inne i lådorna finns kärl med mättad lösning av NaBr, vilket skall ge en konstant relativ fuktighet på 58%. Detta skall simulera ett ouppvämt inomhusklimat. Den exponerade fasaden placerades vänd i sydlig riktning.



Figur 3. Foto på uppställning för mätning av fukt i utomhusexponerad naturstensfasad.

I ett block av respektive stensort placerades fuktgivare i hål borrade från baksidan på olika avstånd från den exponerade ytan enligt figurerna A1 och A2, Bilaga A. Fuktgivarna består av två elektroder i form av stela metallstift, mellan vilka spänningen mäts. Avståndet mellan elektroderna var 2.5 cm. Ju mer fukt som finns mellan elektroderna, desto mindre blir resistensen och därmed spänningen. För att erhålla kontinuerlig elektrisk ledning mellan elektroderna fylldes borrhålen kring givarna med en elektriskt ledande epoxypasta innehållande små silverpartiklar.

I det andra blocket av respektive stensort borrades cylindrar med diametern 4 cm till olika djup enligt figur A3. Dessa tas ut och vägs då och då, företrädesvis efter regn, för att på så vis erhålla ett kompletterande mått på stenens fuktinnehåll på olika djup. Cylindrarnas mantelyta är isolerad med aluminiumfolieklädd tätningsmassa ("Bostic tätningsprofil"), som påminner om vanlig häftmassa. Springan runt cylindern på den exponerade ytan är igensatt med denna massa för att förhindra att regnvatten tränger in i väggen.

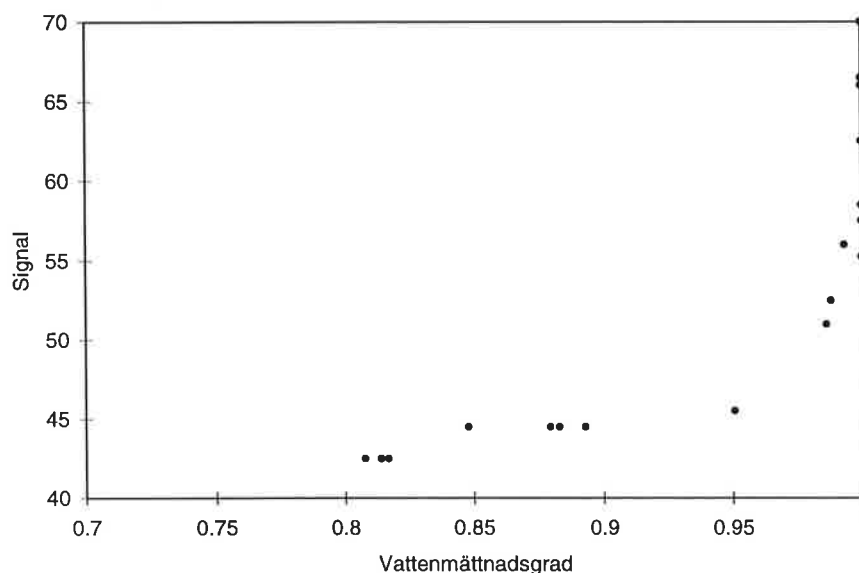
Termoelement placerades i centrum av ett stenblock av varje stensort. Värden från fuktgivarna och termoelementen loggades en gång i timmen och samlades i en mätfil i en PC. Registreringen av mätvärden påbörjades 97-06-19 och pågår tills vidare.

För att se hur givarna svarar på regn korreleras utslaget dels med manuellt avläst regnmängd och dels med relativa fuktigheter (RF) som registrerats av SMHI. Från SMHI erhålls också data på lufttemperaturen.

Fasaden utrustades med en automatisk slagregnmätare 96-08-26. Denna kan kontinuerligt mäta och registrera mängden regnvatten som når fasaden. Slagregnmätaren är utrustad med en liten behållare som 'vippar' varje gång den fylls. Antalet 'vippar' per tidsenhet, i detta fall per timme, registreras i en mätfil. Dessutom mättes regnet med en vanlig regnmätare som avlästes manuellt.

Signalkalibrering

Likadana givare som använts i fältförsöket placerades i en sandstenskub med sidan 7 cm. Givarna slogs ner i borrhål med 2.5 cm avstånd med hammare för att fästa ordentligt och få bra kontakt med den omgivande stenen. Elektriskt ledande epoxypasta med silverpartiklar användes inte. Kuben vakuummätades och konditionerades därefter genom torkning till olika vattenmättnadsgrader. Signalen mättes med ett instrument som normalt används för att registrera fuktkvoten i trä med en givare av likartad typ som användes i detta försök. Signalen från detta instrument är inte direkt kvantitativt jämförbar med signalen från fältförsöket. Resultatet visas i figur 4. Slutsatsen man kan dra är att de använda givarna endast kan signalera vått eller torrt, eftersom upplösningen i övrigt är för dålig. Gränsen mellan vått och torrt går vid vattenmättnadsgraden ca 0.97.



Figur 4. Resultat från test av givare i en sandstenskub som konditionerats till olika vattenmättnadsgrader.

Resultat och diskussion

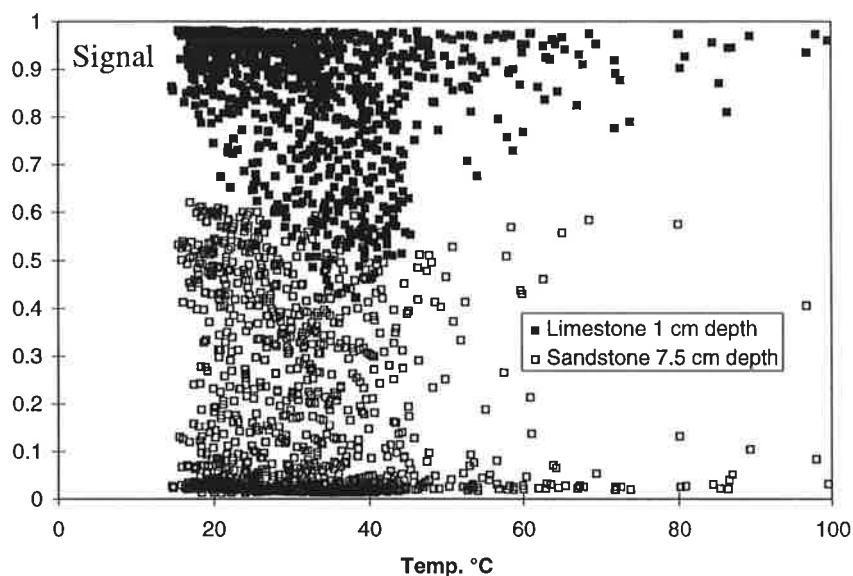
Signalerna från fuktgivarna som funktion av tiden visas i figurerna B1 - B6, Bilaga B.

Signalens temperaturberoende

Givarutslaget varierar tydligt med dygnstemperaturen. Eftersom detta gäller även inne i stenarna, där fuktförändringar inte rimligen kan ske så snabbt, beror dygnsvariationen troligen till viss del på att givarna är temperaturkänsliga. Därvid uppkommer problemet att skilja på vilken del av givarutslaget som beror på fukten respektive temperaturen.

Temperaturen i stenarna samt lufttemperaturen som funktion av tiden visas i figur B7, bilaga B. Lufttemperaturen har mätts i skugga medan stenarna befinner sig i solljus, därav den höga temperaturen i stenarna.

Signalen från givarna inne i respektive sten plottades mot temperaturen i stenen, men ingen tydlig tendens kunde därvid ses, se figur 5.



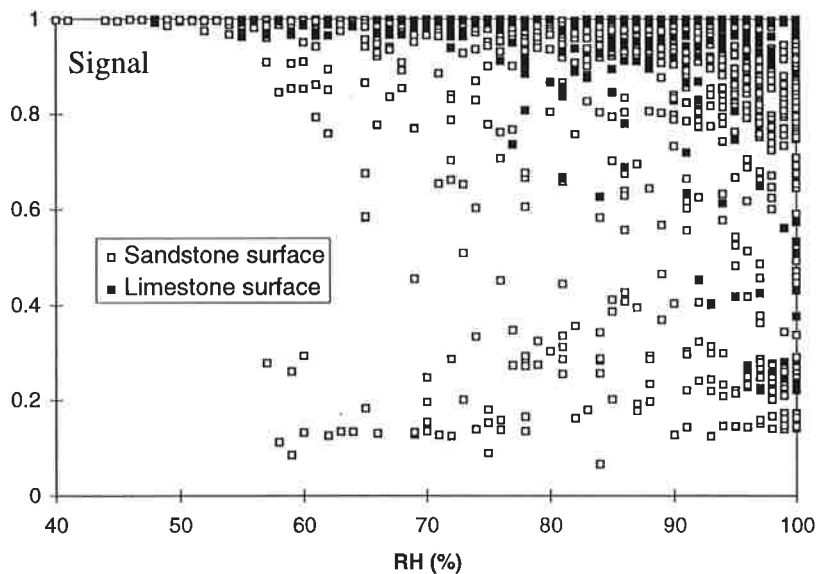
Figur 5. Signal från fuktgivare inne i stenarna som funktion av temperaturen inne i stenarna.

Signalens fuktberoende

Signalen vid ytan på både kalkstenen och sandstenen är alltid hög vid torrt väder. Vid regn sjunker värdet på signalen från givarna märkbart. Regntillfällena syns tydligast på ytfuktgivaren på kalkstenen, men även ytfuktgivaren på sandstenen ger en tydlig signal vid regn.

Som syns i figurerna B8-B10 har under mätperioden den relativa fuktigheten varierat tydligt under dygnets timmar. Den högsta relativa fuktigheten uppkommer nattetid, då temperaturen är som lägst. Regnperioderna är inte tydligt urskiljbara, men vid de kraftigare och mer långvariga regnen som registrerats av ytfuktgivarna, t.ex. vid ca 90 timmar och ca 300 timmar, är den registrerade relativa fuktigheten 100%.

För att få ett begrepp om hur fukt påverkar signalen har signalen från ytgivarna plottats mot den relativa fuktigheten i luften i figur 6. Sambandet är långt ifrån linjärt, med en tendens till lägre signal vid högre RF finns, framförallt för kalkstenen.



Figur 6. Signal från fuktgivare på fasadytan som funktion av luftens relativa fuktighet.

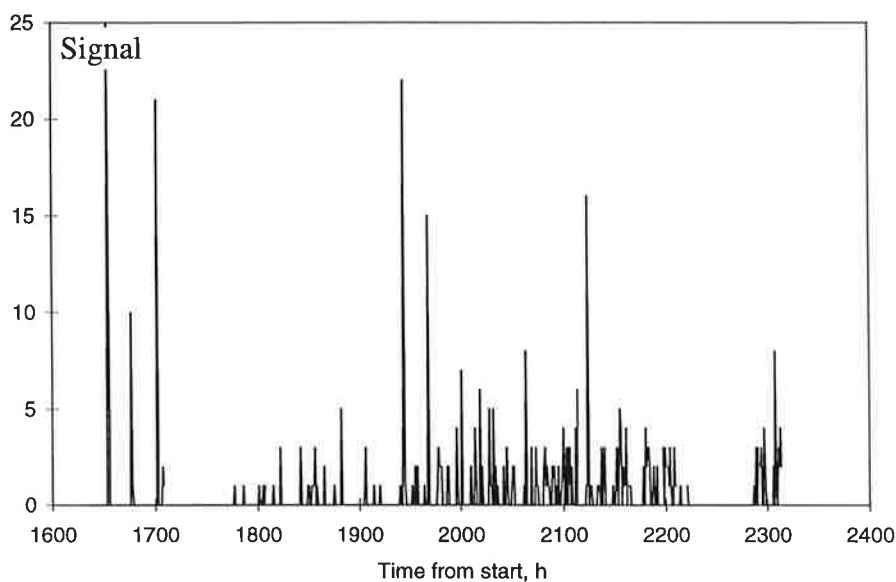
Frågan om signalens beroende av temperaturen och fuktigheten sammantaget bör utredas vidare för att se om det är möjligt att tolka signalen som ett kvantitativt mått på fukttinnehållet i stenen.

Regnmätning

Slagregnsmätaren har hittills inte fungerat tillfredsställande och den manuellt avlästa regnmätaren ger ett alltför grovt mått, se figur och tabell 2. Därför får man tills vidare förlita sig på ytgivarnas signaler som regnindikation. Mätning av relativa fuktigheten ger också en indikation på när det regnat.

Tabell 2. Värden från manuellt avläst regnmätare.

| Tid från start, timmar | 1970-1978 | 1978-1996 | 1996-2003 | 2003-2020 | 2020-2141,5 | 2141,5-2312 |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| Regnmängd, mm/m ² | 7 | 13 | 2 | 0 | 7 | 0 |



Figur 5. Resultat från slagregnsmätare.

Kalksten

Ytan på kalkstenen torkar snabbt efter ett regn och det inre av stenen hinner inte påverkas. Detta verkar rimligt, eftersom Borghamnskalkstenen är en mycket tät sten, i vilken fukt transporteras långsamt. Signalvariationerna i det inre av kalkstenen beror troligen främst på dygnsvisa temperaturvariationer. Skälet att signalen från givaren på ytan uppvisar så små dygnsvisa variationer är troligen att kontakten mellan elektroderna i ytgivaren av någon anledning är försämrad.

Sandsten

Sandstenens yta reagerar på ett likartat sätt som kalkstenen, men den förmår hålla kvar fukten under längre tid efter långa och kraftiga regn. Därvid transporteras också fukt in i stenen. Ju längre in i stenen fukten transporteras, desto längre tid tar det för den att torka ut. Den fukt som nådde djupet 7.5 cm vid ca 100 timmar börjar inte torka ut märkbart förrän efter ca 500 timmar. 1 cm från ytan börjar fukten torka redan efter ca 50 timmar. Signalen från 13 cm djup, vilket är 2 cm från ytan i lådan, följer signalen från den exponerade ytan på ett sådant sätt att man misstänkte läckage. Vid kontroll av lådan visade sig dock detta inte vara troligt. Det är dock inte uteslutet att fukttransporten sker tämligen momentant genom hela stenblockets tjocklek då stenen är helt genomfuktad, vilket är fallet vid 1030 timmar. Torkningen av den innersta delen av blocket följer sedan torkningen av blockets centrum.

Vägning av utborrade cylindrar

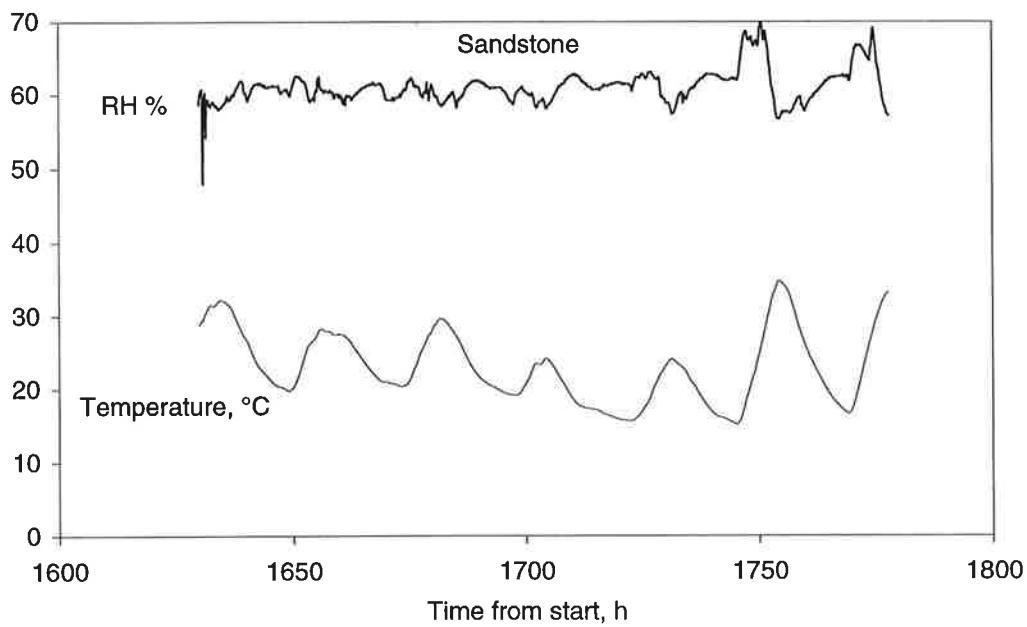
Cylindrarna vägdes vid fyra olika tillfällen under mätperioden. Resultatet visas i tabell 3. Skillnaderna i vikt mellan det första vägtillfället, då cylindrarna var i jämvikt med rumsluft, och tredje och fjärde vägtillfället, då cylindrarna befunnit sig utomhus i torr väderlek under lång tid, beror troligen till viss del på att mängden tätningsmassa som medföljer då cylindrarna avlägsnas från stenblocket skiljer sig från vägtillfälle till vägtillfälle. Denna tekniska lösning bör därför om möjligt förbättras. Utvärderingen av denna del av försöket kan utökas vidare först efter att data erhållits från fler vägningar efter regn.

Tabell 3. Vikt i g av utborrade stencylindrar vid olika tillfällen.

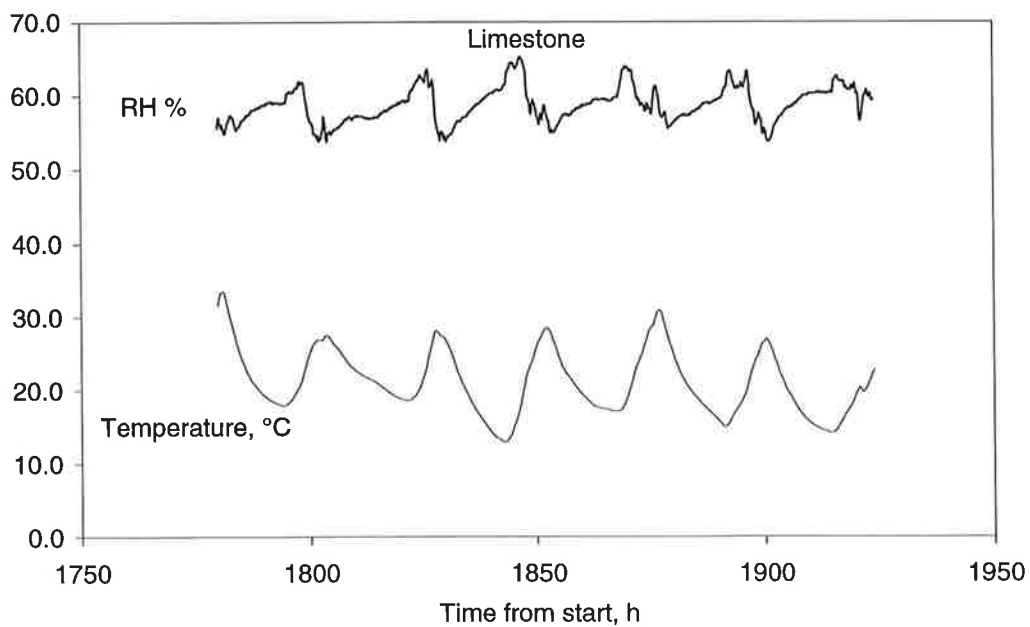
| Tid från start: | 0 timmar | 290 timmar | 1630 timmar | 2306 timmar |
|-----------------|----------------------|------------|-------------------------|-------------------------|
| Tillstånd: | Jämvikt med rumsluft | Efter regn | Ute i torrt väder länge | Ute i torrt väder länge |
| Sandsten, 5 cm | 157.37 | 160.44 | 157.23 | 157.17 |
| Sandsten, 10 cm | 284.21 | 286.60 | 284.35 | 284.26 |
| Sandsten, 15 cm | 418.68 | 484.09 | 482.10 | 482.17 |
| Kalksten, 5 cm | 201.24 | 201.30 | 201.28 | 201.24 |
| Kalksten, 10 cm | 401.56 | 401.53 | 401.32 | 401.12 |
| Kalksten, 15 cm | 569.29 | 569.34 | 469.25 | 469.15 |

Relativa fuktigheten i lådan

Den relativa fuktigheten inne i lådorna mättes under en vecka i vardera lådan. Resultatet visar att den relativa fuktigheten i lådorna höll sig relativt konstant kring 60%, som önskat, se figurerna 8 och 9.



Figur 8. Relativa fuktigheten och temperaturen inne i sandstenslådan.



Figur 9. Relativa fuktigheten och temperaturen inne i kalkstenslådan.

Sammanfattning och slutsatser

Försöket ger en relativt god bild av hur fukt transporteras och ackumuleras i stenblock vars ena sida utsätts för utomhusklimat. Borghamnskalksten är tät och fukt transporteras därför i ringa omfattning in i stenen. Den gotländska sandstenen suger däremot åt sig fukt i hög grad. Eftersom uttorkningen tar tid ackumuleras fukt inne i stenen och hela det 15 cm tjocka blocket var periodvis helt genomvått.

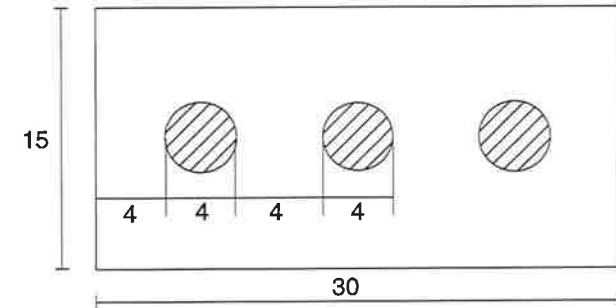
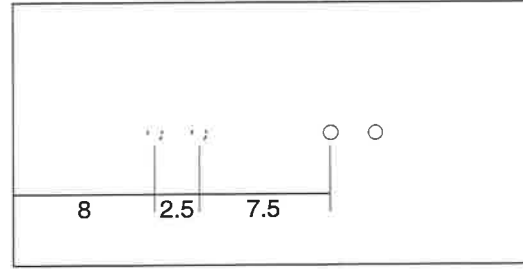
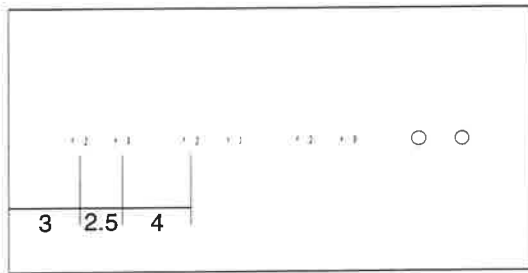
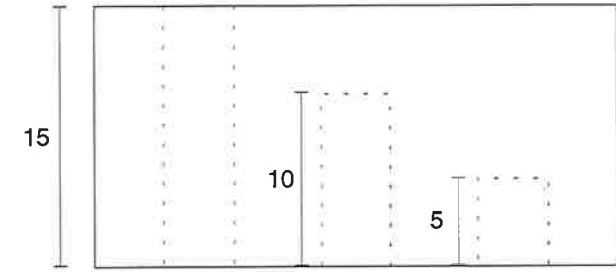
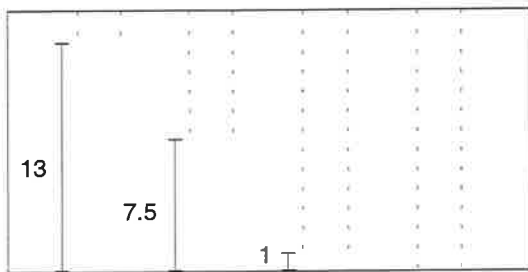
Fuktgivarnas signal visade sig vid kalibrering i sandsten kunna skilja mellan vått och torrt, varvid gränsen mellan "våt" signal och "torr" signal gick vid vattenmättnadsgraden ca 0.97. Den kritiska vattenmättnadsgraden för sandstenen i fråga är enligt tidigare studier 0.85-0.9. I detta område är upplösningen av givarnas signal obefintlig, vilket är en stor nackdel i sammanhanget. Därför har mängden fukt på de olika avstånden från ytan i stenarna ännu inte kunnat kvantifieras och därmed kan inga slutsatser dras om stenarnas frostbeständighet i verkligheten. Förhoppningen är dock att ett grovt mått på uppnådda vattenmättnadsgrader efter regn skall kunna erhållas genom vägning av de utborrade cylindrarna.

De givare som använts i denna studie har inte tidigare använts i liknande sammanhang. Det troliga är dock att de inte heller efter en kalibrering kan ge annat än ett kvantitativt mått på fuktupptagning och uttorkning, vilket dock kan vara nog så intressant.

Fortsättning

- Fuktgivarna bör kalibreras med avseende på både fuktinnehåll och temperatur för både sandsten och kalksten, så att signalen från givarna om möjligt kan tolkas även kvantitativt. Eftersom signalen beror av både fukt, temperatur och stensort parallellt kan denna utvärdering/kalibrering bli ganska omständlig.
- Sättet att isolera de utborrade cylindrarna från regn bör förbättras, så att vägningen blir mer noggrann.
- Resultaten från vägningarna av de utborrade cylindrarna utreds vidare så snart fler värden efter regn erhållits.
- Slagregnsmätaren har inte fungerat tillfredsställande, vilket bör åtgärdas.
- Det har förekommit vissa problem med tidsregistreringen i mätfilerna. Tidsregistreringen måste fungera för att olika mätfiler skall kunna korreleras till varandra i tiden. Denna brist bör alltså åtgärdas.

Bilaga A. Placering av fuktgivare och utborrade cylindrar i utomhusexponerade stenblock.



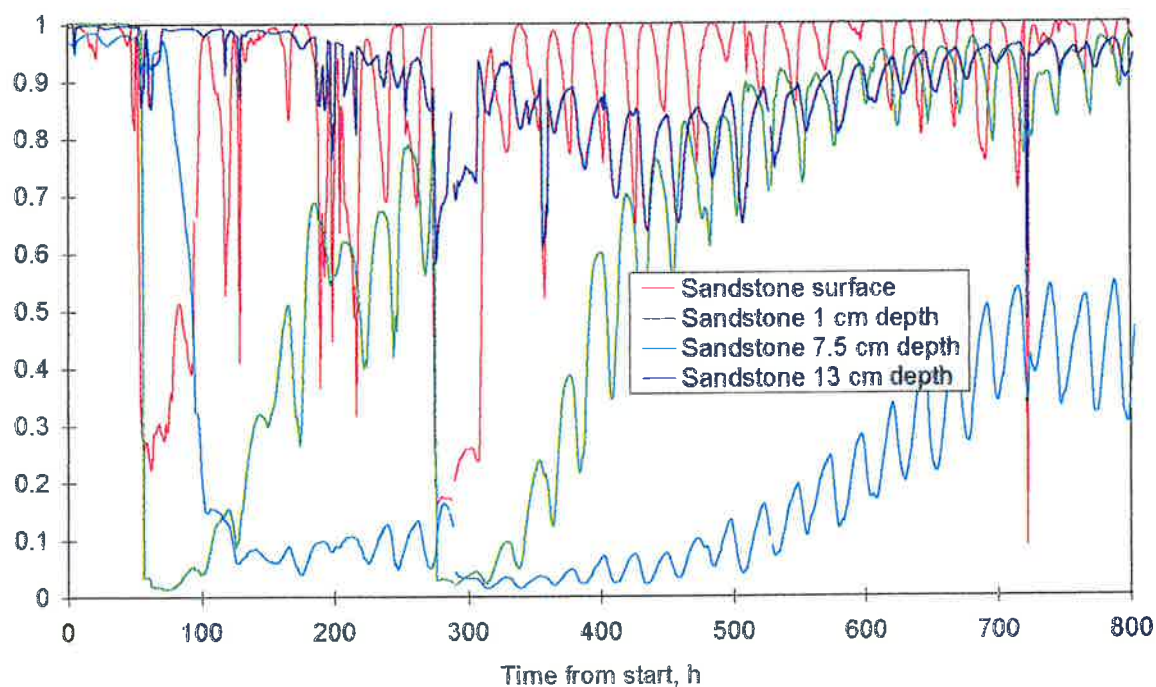
Figur A1. Placering av fuktgivare i Sandsten.

Figur A2. Placering av fuktgivare i Kalksten.

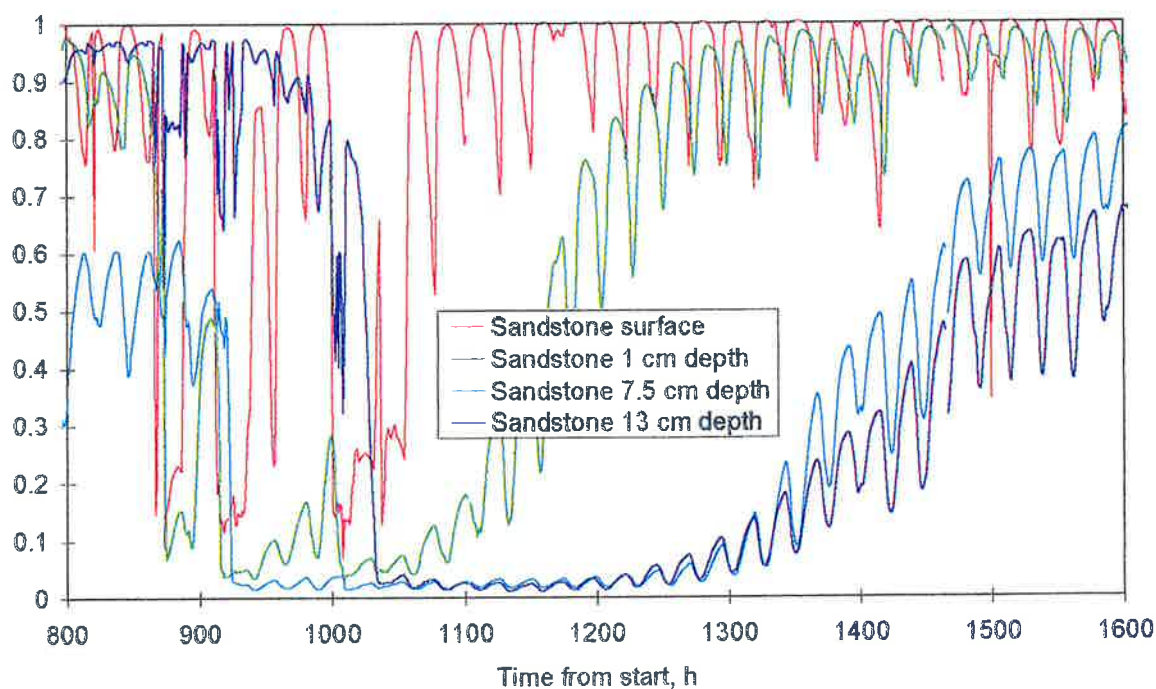
Figur A3. Placering av utborrade cylindrar.

Bilaga B.

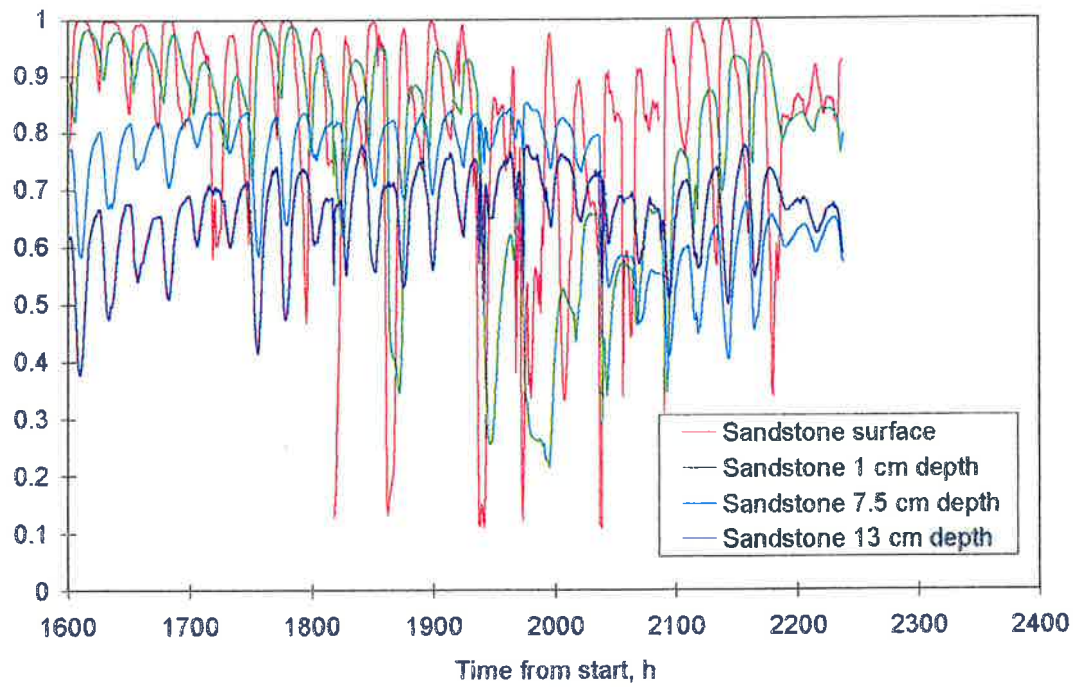
Signal från fuktgivare, temperatur och relativ luftfuktighet som funktion av tid.



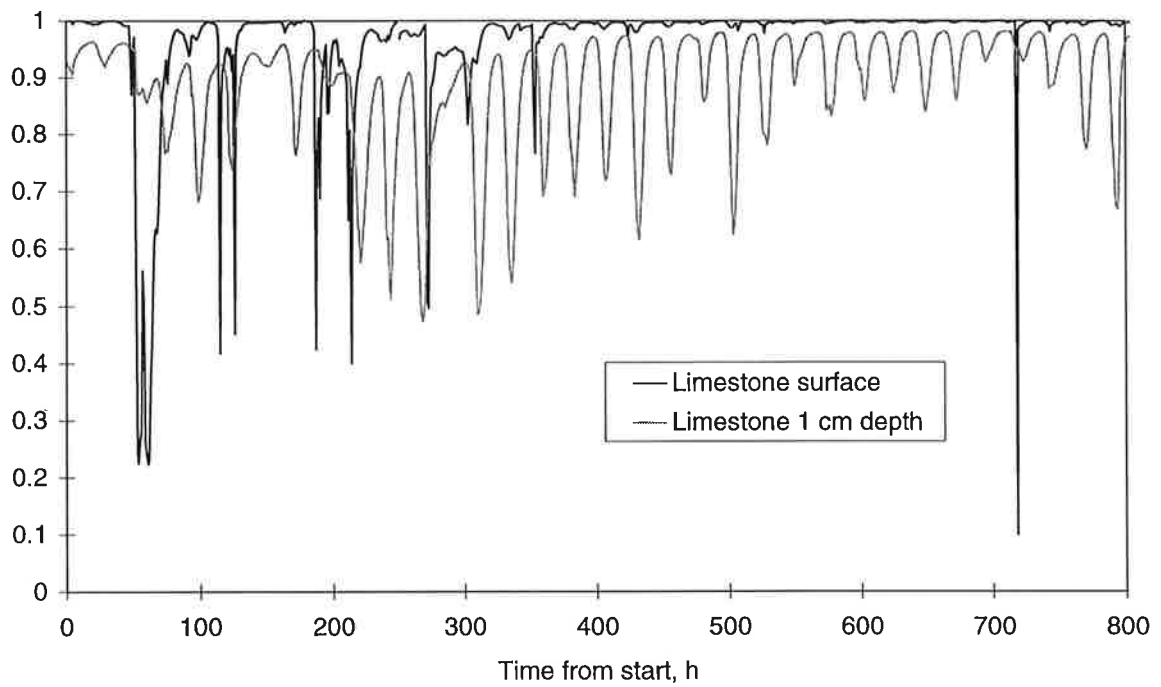
Figur B1. Givarutslag på olika avstånd från ytan som funktion av tid för sandsten, 0 - 800 timmar efter start.



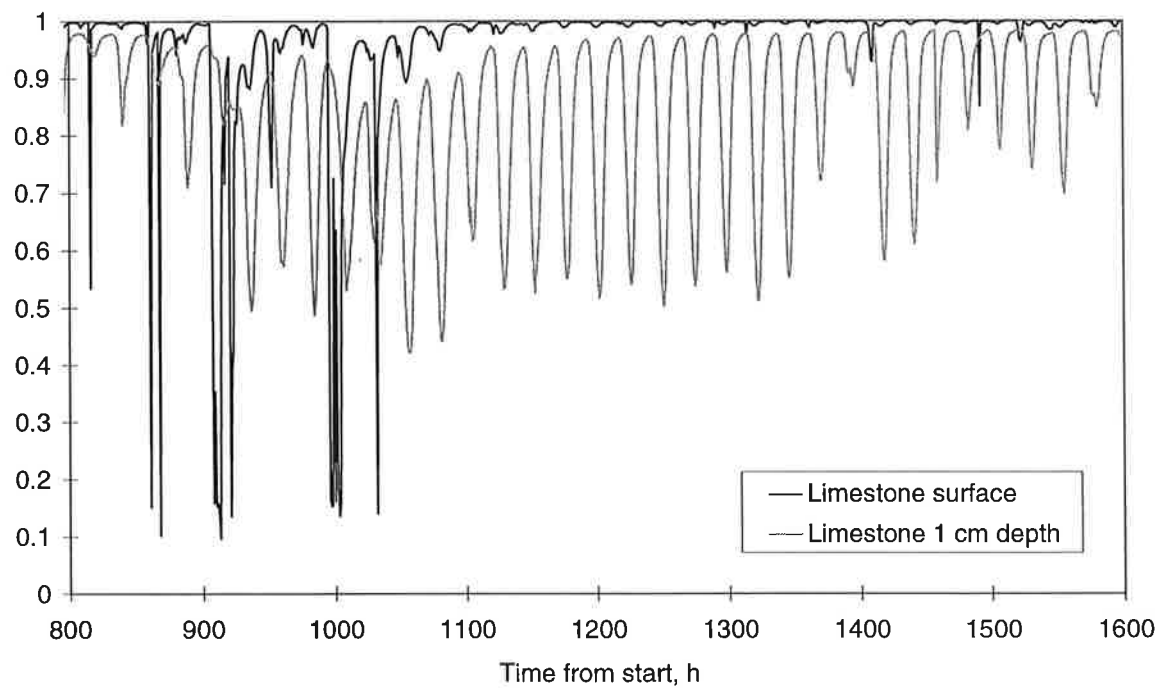
Figur B2. Givarutslag på olika avstånd från ytan som funktion av tid för sandsten, 800 - 1600 timmar efter start.



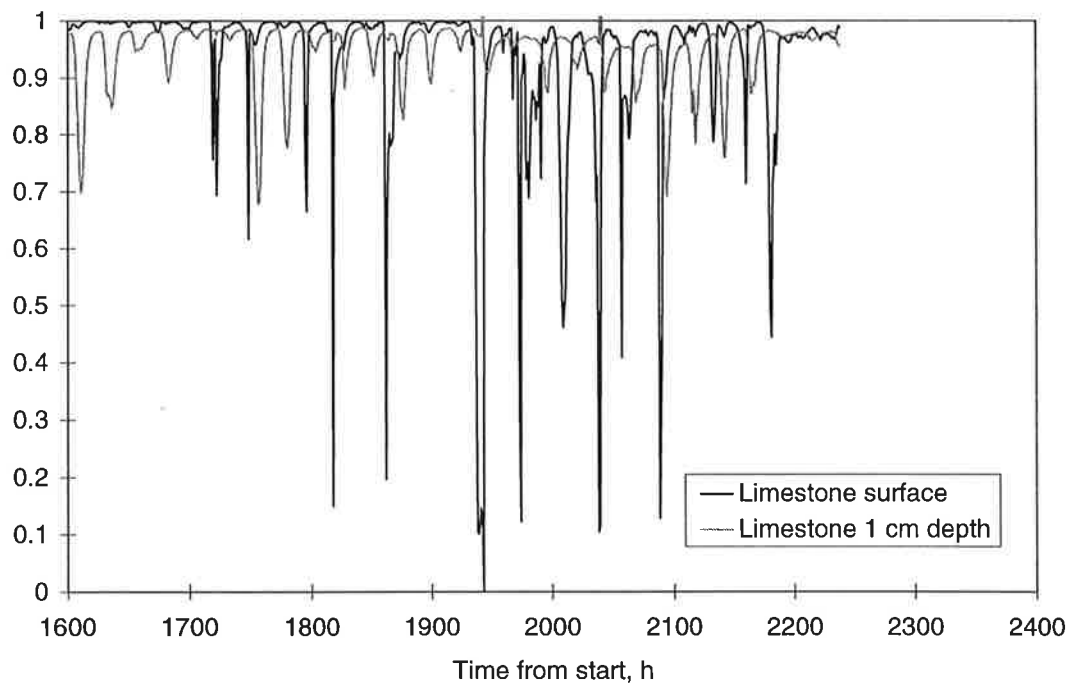
Figur B3. Givarutslag på olika avstånd från ytan som funktion av tid för sandsten, 1600 - 2400 timmar efter start.



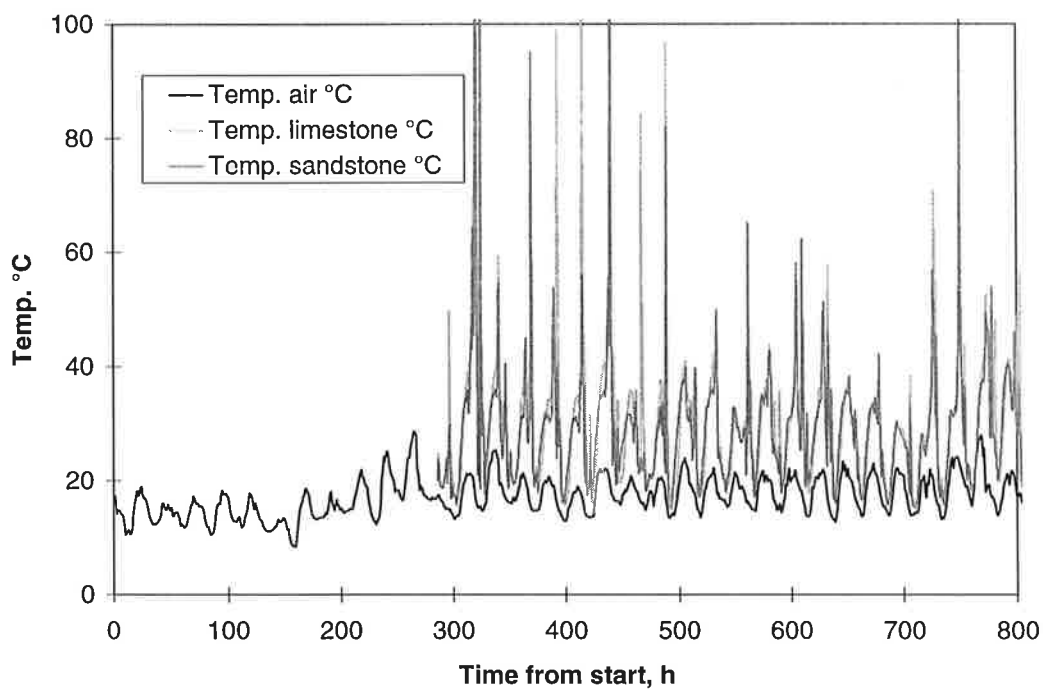
Figur B4. Givarutslag på olika avstånd från ytan som funktion av tid för kalksten, 0 - 800 timmar efter start.



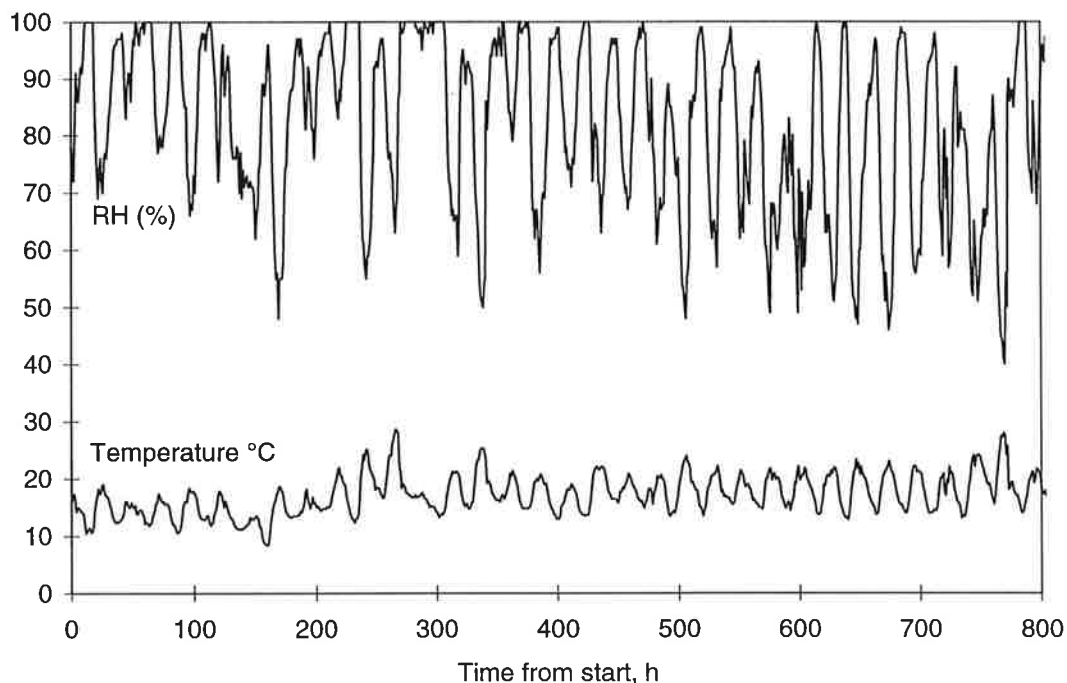
Figur B5. Givarutslag på olika avstånd från ytan som funktion av tid för kalksten, 800 - 1600 timmar efter start.



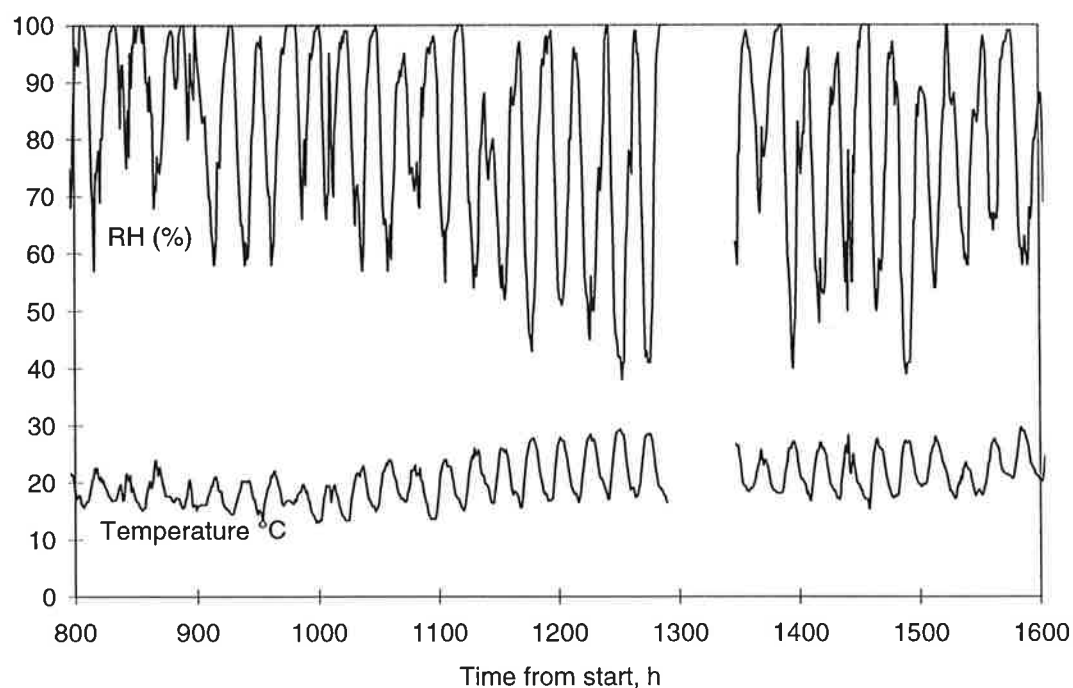
Figur B6. Givarutslag på olika avstånd från ytan som funktion av tid för kalksten, 1600 - 2400 timmar efter start.



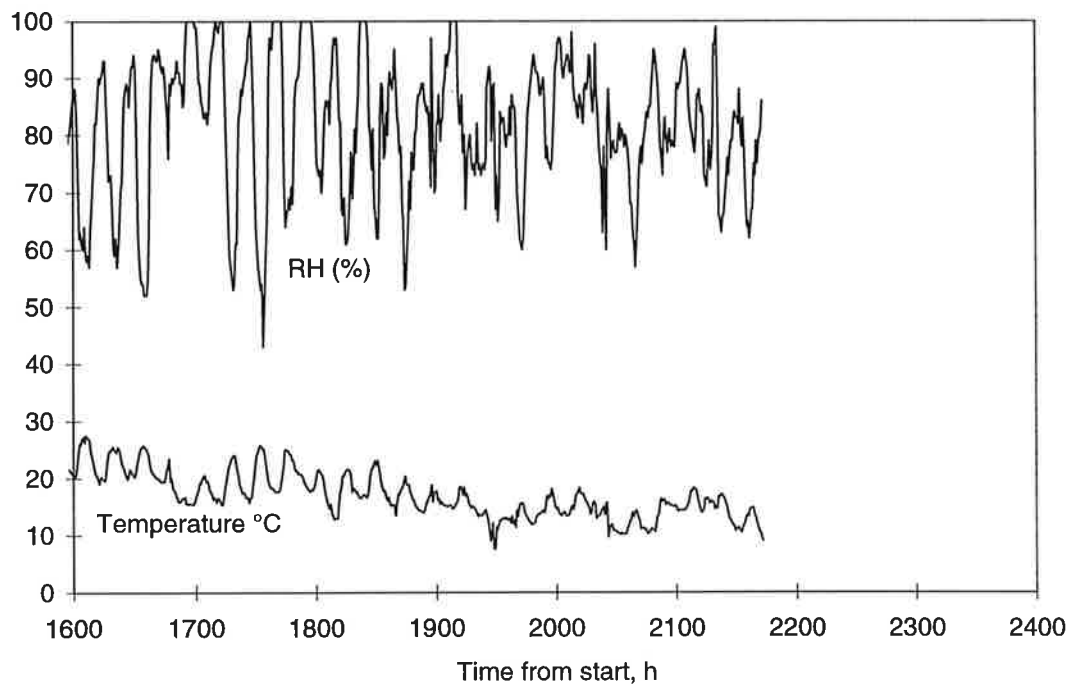
Figur B7. Temperaturen i stenarna samt lufttemperaturen som funktion av tiden efter start. Lufttemperaturen har mätts i skugga medan stenarna befinner sig i solljus, därav den höga temperaturen i stenarna.



Figur B8. Utomhusluftens relativa fuktighet och temperatur som funktion av tiden efter start, 0 - 800 timmar. Den högsta relativa fuktigheten uppkommer nattetid, då temperaturen är som lägst. Regnperioderna är inte tydligt urskiljbara, men vid de kraftigare och mer långvariga regnen som registrerats av yfuktgivarna vid ca 90 timmar och ca 300 timmar är den registrerade relativa fuktigheten 100%.



Figur B9. Utomhusluftens relativa fuktighet och temperatur som funktion av tiden efter start, 800 - 1600 timmar.



Figur B10. Utomhusluftens relativa fuktighet och temperatur som funktion av tiden efter start, 1600 - 2400 timmar.