



# LUND UNIVERSITY

## Frostnedbrytning av natursten : lägesrapport till Riksantikvarieämbetet mars 1993

Wessman, Lubica

1993

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Wessman, L. (1993). *Frostnedbrytning av natursten : lägesrapport till Riksantikvarieämbetet mars 1993*. (Rapport TVBM (Intern 7000-rapport); Vol. 7046). 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



TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND

Byggnadsmaterial

# FROSTNEDBRYTNING AV NATURSTEN

Lägesrapport till Riksantikvarieämbetet  
Mars 1993

Lubica Wessman

Rapport TVBM - 7046

---

Lund, 1993

## Innehåll

1. Inledning	sida
2. Sammanfattningar av tidigare rapporter	1
2.1 Frostnedbrytning av natursten, lägesrapport mars 1992, Göran Fagerlund, Lubica Wessman.	1
2.2 Saltfrostnedbrytning av gotländsk sandsten, preliminära försök, Lubica Wessman.	1
2.3 Frostnedbrytning av natursten, försöksmetodik, lägesrapport till Riksantikvarieämbetet december 1992, Lubica Wessman	2
3. Aktuella försök	2
3.1 Studier av längdändring under frysning	2
3.1.1 Metod	2
3.1.2 Resultat	2
3.2 Förändring av dynamisk E-modul vid frysning	3
3.3 Porositet och densitet	3
3.4 Kapillärsugningsförsök på öländska kalkstenar	4
3.5 Sorptionsisotermer för gotländska sandstenar	4
3.6 Ångdiffusionsförsök med den s.k koppmetoden	4
3.7 Porositetsmätning med kvicksilverporosimetri	5
3.8 DSC (Differential Scanning Calorimetry)	5
4. Kommande försök	5
4.1 Studier av längdändring under frysning	5
4.2 Kalorimeterstudier	6
4.3 Studier av täta stenar	6
4.4 Strukturella- och fuktmekaniska studier	6
Litteratur	7
Figurer	8
BILAGA 1	

## 1. Inledning

Problemet med ökad vittring och nedbrytning av natursten i byggnader och monument har blivit mycket uppmärksammat de senaste decennierna. Luftföroreningars inverkan i form av kemiska reaktioner med olika mineraler har studerats i olika forskningsprojekt. Ett fåtal studier har gjorts på fysikaliska förstörelseprocesser. I projektet *frostnedbrytning av natursten* studeras frostens inverkan på nedbrytningen. Att frost bryter ner syntetiska, porösa och spröda material så som betong och tegel är känt sedan tidigare, liksom att skadorna blir värre med svaga lösningar av olika slag inne i porsystemet eller vid materialets yta än med rent vatten. Det är möjligt att luftföroreningar mm lösta i regnvatten har samma förvärrande effekt. Eftersom natursten har många egenskaper gemensamma med betong och tegel (bl a porositeten och sprödheten) är det troligt att vittringsmekanismerna delvis är de samma.

Frostbeständigheten hos olika naturstenar i rent vatten och olika lösningar kommer att studeras i detta projekt. Även stenmaterialens postruktur kommer att studeras, liksom deras fuktmekaniska egenskaper. Kemiskt vittrade eller konsoliderade stenar kan ha andra egenskaper än relativt nybrutna stenar. Förhoppningen är att finna en modell som beskriver sambandet mellan porstruktur, fuktmekaniska egenskaper och frostbeständighet.

## 2. Sammanfattningar av tidigare rapporter

### 2.1 Frostnedbrytning av natursten, lägesrapport mars 1992, Göran Fagerlund, Lubica Wessman.

Rapporten består av tre avsnitt. Det första avsnittet ger en kortfattad teoretisk bakgrund till frostnedbrytning. Olika nedbrytningsmekanismer beskrivs och begreppet kritisk vattenmättnadsgrad förklaras. En förklaring ges till hur ett materials potentiella livslängd kan erhållas ur sambandet mellan dess vattenabsorption och dess kritiska vattenmättnadsgrad. Inverkan av ytbehandlingar och kemiska ytförändringar berörs.

I det andra avsnittet redovisas resultat från genomförda mätningar på tre olika sorters gotländska kalkbundna sandstenar. Stenarnas porositet, densitet, kritiska vattenmättnadsgrad, kapillära vattenmättnadsgrad (vattenabsorption), frostbeständighet och potentiella livslängd redovisas. Samtliga stensorter uppvisade låg potentiell frostbeständighet och livslängd.

I det tredje avsnittet beskrivs delar av försöksutrustningen och de fortsatta försöken.

### 2.2 Saltfrostnedbrytning av gotländsk sandsten, preliminära försök, Lubica Wessman.

Det är sedan tidigare känt att då betong fryser i vatten med olika saltkoncentration uppstår en maximal skada vid 2-3% salt. För att se om kombinationen av salt och frost har en liknande effekt på natursten gjordes saltfrys-försök på gotländsk sandsten. I rapporten redovisas försöksgenomförande och resultat från saltfrys-försök av tre olika sorters gotländska sandstenar. Stenarna utsattes för fryscyklar samtidigt som de var nedsänkta i lösningar med olika NaCl-koncentration. Maximal skada i form av ytavskalningar uppkom vid en salthalt som låg mellan 0% och 5%. Stenen av typen Valar var mer känslig än stenarna Botvide och Uddvide.

### 2.3 Frostnedbrytning av natursten, försöksmetodik, lägesrapport till Riksantikvarieämbetet december 1992, Lubica Wessman.

I rapporten beskrivs de olika försöksmetoder som används eller planeras att användas i samband med det experimentella arbetet i detta projekt:

- \* kritisk vattenmättnadsgrad utifrån fuktisolerade flercykelförsök
- \* registrering av längdändring under frysning
- \* samtidig registrering av volymändring och isbildning
- \* frysning i olika salthalter
- \* Studier med DSC (Differential Scanning Calorimeter)
- \* Studier av porstruktur
- \* Kapillaritet (vattenuppsugning)
- \* Ångdiffusion
- \* Sorptionsisotermer (jämviktsfuktkurvor)

### 3. Aktuella försök

Nedan redovisas sådana resultat som framkommit och ännu ej publicerats.

#### 3.1 Studier av längdändring under frysning

##### 3.1.1 Metod

Den i referens 3 beskrivna dilatometern användes i dessa försök. Med hjälp av dilatometern och en dator kan längdändringen hos sex provkroppar samtidigt registreras med täta tidsintervall under frysning. Graniten och kalkstenen som använts i försöken är *Bohus röd Bratteby* från Hunnebostrand och *Öland flammig* från Gillberga.

Provkroppar (2 x 2 x 15 cm) av olika stensorter innehållande olika mycket vatten placerades under ett dygn i dilatometern, som var placerad i ett frysskåp. Temperaturen i frysskåpet varierade under dygnet enligt temperaturkurvan i figur 1.

Begreppet *vattenmättat prov* innebär att provet placeras i en behållare ur vilken luft sugs med en vacuum pump i minst tre timmar. Luft sugs därvid ur porsystemet. Därefter täcks provet med vatten och pumpen får gå i ytterligare minst en timme. När atmosfärstryck släpps på pressas vatten in i porsystemet. Trycket i behållaren var i de nedan beskrivna försöken ca 5 mbar. Efter förbättring av vacuumutrustningen går trycket nu ner till < 1 mbar. Mängden vatten i ett prov S uttrycks som en andel av 100%-ig vattenmättnad. Då S=1 är provet helt vattenmättat.

##### 3.1.2 Resultat

Ingen rörelse utöver den rent termiska registreras ens hos helt vattenmättad kalksten och granit. Se figur 2. Ingen isbildning kan iakttagas i form av en rörelse trots att proverna innehåller 1,7 respektive 0,6 volym% vatten.

Hos gotländska sandstenar kan man däremot se en tydlig rörelse vid isbildning. Rörelsens utseende skiljer sig markant om provet innehåller mycket eller litet vatten. Se figurena 3.1 - 3.6, som visar längden hos sandsten av typen Uddvide som funktion av den omgivande luftens temperatur. Längden före frysning sätts alltid till 0. De olika diagrammen visar resultatet från

prover med olika vattenmättnad. Den kraftigare expansionen vid frysning som syns i figurerna 3.3 - 3.6 kan ses som en indikation på att provet skadats. Dess vatteninnehåll har alltså överstigit det kritiska värde som kallas *den kritiska vattenmättnadsgraden*,  $S_{krit}$  (Fagerlund, G. 1972).

Den kritiska vattenmättnadsgraden för sandsten av typen Uddvide är enligt denna metod 0,79 - 0,83. Detta värde är högre än vad som uppmättes i den tidigare undersökningen; Fagerlund & Wessman 1992. För sandstenarna Botvide och Valar återstår att göra motsvarande försök noggrannare. ( $S_{krit}$  för dessa stenar ligger inom området 0,7 - 1,0 respektive 0,5 - 1,0.)

### 3.2 Förändring av dynamisk E-modul vid frysning

Före och efter det att stenproverna utsattes för en fryscykel i dilatometern mättes deras egenfrekvens. Ur egenfrekvensen beräknas E-modulen, som beskriver provernas hållfasthet. Om ett prov skadas vid frysning minskar E-modulen. Skadorna och därmed minskningen i E-modul blir normalt större om antalet nollpunktspassager (fryscykler) är större samtidigt som den kritiska vattenmättnadsgraden överskridits. I samtliga fall visade sig en fryscykel vara för lite för att en minskning i dynamisk E-modul skulle kunna iakttas.

### 3.3 Porositet och densitet

De torra proverna vägs i luft och de vattenmättade proverna vägs i luft och vatten. Ur dessa vikter kan porositeten och densiteten beräknas. En resultattabell från sådana beräkningar för fyra olika öländska kalkstenar samt för graniten *Bohus röd Bratteby* från Hunnebostrand presenteras nedan.

Tabell 1. Porositet och densitet.

Stensort	Förekomst	Porositet		Skrym-		Kompakt-	Antal
		(%)		densitet	densitet		
		m1)	s2)	m	s	(kg/m <sup>3</sup> )	prover
Öland G1	Gillberga	3,40	0,04	2628	0,9	2720	4
Öland G2	Gillberga	1,8	0,2	2666	4	2714	4
Öland B1	Horns Udde	3,64	0,07	2629	2	2728	4
Öland flammig	Gillberga	1,7	0,1	2709	5	2757	10
Bohus röd bratteby	Hunnebo- strand	0,62	0,04	2653	7	2669	11

1) Medelvärde

2) Standardavvikelse

### 3.4 Kapillärsugningsförsök på öländska kalkstenar

Kapillärsugningsförsök har utförts på fyra olika öländska kalkstenar. För varje sten har kapillärsugningen utförts i två olika riktningar, dels parallellt och dels vinkelrät skiktningens riktning. Två prover har använts för varje sten i varje riktning. Resultatet visas i figurerna 4.1 - 4.4.

### 3.5 Sorptionsisotermer för gotländska sandstenar

Sandstenspartiklar (upp till ca 1 cm i diameter) får ställa sig i jämvikt med olika relativa fuktigheter. Materialets fukttinhåll vid jämvikt som funktion av omgivningens relativa fuktighet ger en så kallad sorptionsisoterm. Om materialet är fuktigt från början erhålles en desorptionsisoterm, om det är torrt från början erhålles en absorptionsisoterm. Desorptionsisotermen brukar ligga förskjuten mot högre fukthalter relativt absorptionsisotermen. Detta framgår emellertid inte med särskilt stor tydlighet i sorptionsisotermerna för gotländska sandstenar, som visas i figurerna 5.1 - 5.3. För var och en av de tre stensorterna vägdes två skålar med stenpartiklar för desorption och två för absorption för varje relativ fuktighet (8 st). Varje enskild punkt i diagrammet nedan är alltså ett medelvärde av två värden. (Problem med droppande kondens uppstod vid höga relativa fuktigheter.) Ur sorptionsisotermen kan en porstorleksfördelning beräknas med den s. k. BET - metoden.

### 3.6 Ångdiffusionsförsök med den s. k. koppmetoden

Koppmetoden är ett klassiskt sätt att mäta ånggenomsläppligheten hos ett material. En platta av det material man vill undersöka sätts som lock på en kopp i vilken den relativa fuktigheten skiljer sig från omgivningens. Koppen vägs med jämna mellanrum och då viktändringen är konstant kan ånggenomsläppligheten beräknas. En detaljerad beskrivning av den här använda metoden finns i Göran Hedenblad, 1991.

För-försök har gjorts på gotländska sandstenar. Den relativa fuktigheten i omgivningen var 50% och i koppen 100% (rent vatten). Tjockleken på plattorna varierade mellan 8 och 15 mm. Kopparna vägdes en gång i veckan under sammanlagt 7 veckor. Ånggenomsläppligheten varierade inte nämnvärt med tiden, varför värdena i tabell 2 är medelvärden från samtliga vägningar utom den första, dvs antalet prover gånger 6 st vägningar.

Tabell 2. Ånggenomsläpplighet (fuktdiffusionstal, medelvärde inom RH-området 50 - 100 %).

Stensort	Ånggenomsläpplighet (fuktdiffusionstal) (g/(m*h*Pa))		Antal prover
	m <sup>1)</sup>	s <sup>2)</sup>	
Botvide	6,7*10 <sup>-5</sup>	0,6*10 <sup>-5</sup>	3
Uddvide	7,8*10 <sup>-5</sup>	0,9*10 <sup>-5</sup>	2
Valar	4,7*10 <sup>-5</sup>	0,7*10 <sup>-5</sup>	6

1) Medelvärde

2) Standardavvikelse

### 3.7 Porositetsmätningar med kvicksilverporosimetri

Porositeten kan mätas med kvicksilverporosimetri. Resultatet från en mätning med kvicksilverporosimetri på sandstenen Botvide visas i figur 6. Ett alternativ eller komplement till kvicksilverporosimetri är kvävesorption. Liksom med vattenångsorption beräknas en porstorleksfördelning med BET - metoden. Såväl kvävesorption som kvicksilverporosimetri är dyra - ca 1000 :- per prov och metod - varför bara begränsade undersökningar kan göras.

### 3.8 DSC (Differential Scanning Calorimetry)

Med DSC studeras framför allt vid vilken temperatur is bildas och smälter i t ex ett poröst material. Det finns också möjlighet att kvantifiera den bildade ismängden. Man arbetar med mycket små materialfragment (endast några mm<sup>3</sup> stora). Massan hos vattnet i ett så litet sandstensprov är endast några tiondels mg. Eftersom man vid kvantifiering av den bildade ismängden måste känna denna massa blir det problem med noggrannheten i samband med vägningen av provet. Den analysväg som det finns tillgång till väger med en noggrannhet på 0,1 mg.

Då isbildning studeras har det visat sig att kraftig underkyllning uppstår. Rent vatten i en slät aluminiumbehållare fryser t ex vid ca -17 °C (figur 7.1). Om något inert material, t ex aluminiumoxid, tillsätts behållaren med vatten sker frysningsen vid ca -6 °C (figur 7.2), vilket är ungefär den temperatur vid vilken vatten i en kapillärmättad, porös sandsten fryser (figur 7.3). (Sandstenen i detta fall är av typen Botvide.) Det kan på grund av dessa underkyllningsfenomen vara mer lämpligt att studera smältning. Även smältemperaturen är ungefär densamma för vattnet i en sandsten som för vatten blandat med inert material (figurerna 7.4 och 7.5). Smältningen börjar först vid någon plusgrad. Anledningen till detta kan vara att temperaturen stiger relativt snabbt (5 °C /minut), och smältprocessen har därför inte hunnit börja förrän omgivande temperatur är ca 1 °C.

Figur 7.6 visar rent vatten som smälter. Temperaturen stiger långsammare än i ovanstående fall (1 °C/minut). Smältningen börjar vid 0 °C. Eftersom vattnets massa i det här fallet är relativt stor (44,6 mg) stämmer det med hjälp av integrering framräknade värdet (333 kJ/kg) på smältvärmets relativt bra med det med finner i litteraturen (334 kJ/kg (Mörtstedt & Hellsten, Data & diagram, 1987) samt 333 kJ/kg (Ekblom, MaFyKe, tabeller och formler 1980)).

Tätare stenar som graniter och öländsk kalksten är svåra att studera på DSC, eftersom vatteninnehållet i dessa är så litet att instrumentets upplösning nätt och jämt räcker till. (Se bilaga 1.)

## 4. Kommande försök

### 4.1 Studier av längdändring under frysnings

Dilatometern (se avsnitt 3.1) har visat sig vara ett utmärkt instrument för studier av frostbeständighet hos porösa stenar som sandsten. Inom den närmaste framtiden kommer noggrannare  $S_{krit}$ -värden hos de gotländska sandstenarna av typerna Botvide och Valar att tas fram.  $S_{krit}$ -värden för konsoliderade sandstenar kommer att tas fram och jämföras med värdena för de obehandlade stenarna. För detta ändamål krävs att reproducerbarheten och standardavvikelsen för metoden i fråga är känd. Flera körningar av samma slag måste därför



göras. Inverkan på  $S_{krit}$ -värdet då sandstenarna innehåller 2%-ig  $Na_2SO_4$ -lösning i stället för vatten kommer också att studeras. Anledningen till att saltet  $Na_2SO_4$  väljs är att detta salt återfinns på stenfasader i bl a Stockholm. (*Konsveringstekniska studier, Air Pollution and the Swedish Heritage Progress 1988 - 1991, RAA* och *Konsveringstekniska studier, Stone weathering, Air Pollution Effects Evidensed by Chemical Analysis, RAA*) Koncentrationen 2 vikts% väljs till en början eftersom den misstänks ligga nära den pessimala (*Verbeck & Klieger 1957*). Så småningom kommer även andra ämnens och koncentrationers inverkan att studeras.

Hur utseendet på fryscykeln påverkar längdändringen kan också studeras i dilatometern. Teperaturen i den frys som dilatometern är placerad i kan styras efter egna önskemål. En fråga som kan utredas är t ex om någon längdändring sker då teperaturen hålls stilla vid en viss temperatur. Svaret på sådana frågor säger en del om frysmekanismen i stenarna.

#### 4.2 Kalorimeterstudier

DSCn:s reproducerbarhet och känslighet för olika temperatursändringshastigheter måste klargöras bättre. Därefter kan isbildningen i sandsten som innehåller saltlösning i stället för vatten studeras.

Ett instrument med kalorimeterfunktion kommer att färdigställas under våren. Med detta instrument kan isbildning och volymförändring hos en provkropp mätas samtidigt.

#### 4.3 Studier av täta stenar

För att komma vidare med frysförsök av tätare stenar måste försöksmetoderna vidareutvecklas eller kompletteras. Det är t ex möjligt att täta stenar expanderar märkbart om porsystemet innehåller någon saltlösning i stället för rent vatten. Det är också möjligt att en minskning av E-modulen inträffar om de utsätts för flera fryscyklar. Det är emellertid inte förvånade att t ex graniter som är relativt nybrutna och aldrig utsatts för atmosfärisk påverkan är beständiga mot frost. Graniter har ju tills relativt nyligen bevarats i stort sett utan skador i århundraden och årtusenden. Det är därför av största vikt att utveckla metoder för studier av vittrade stenar.

#### 4.4 Strukturella- och fuktmekaniska studier

Metoderna för strukturella och fuktmekaniska studier är i princip väl utvecklade och beprövade. Metoderna för strukturstudier är vägning i luft och vatten, fuktsorptionsisotermer, kvicksilverporosimetri och kvävesorption. En metod som ej nämnts tidigare i denna rapport, med som kommer att användas, är studier av tunnslip och planslip i mikroskop. Därvid erhålles en bild av porstrukturen i relativt stor skala (porer större än ca 30  $\mu m$  för tunnslip och ca 10  $\mu m$  för planslip).

Metoderna för fuktmekaniska studier är kapillärsugningsförsök och ångtransportförsök med koppmetoden. För- försök med koppmetoden kommer att göras på granit under våren. De slutliga försöken, med olika relativa fuktigheter i kopparna, kommer att påbörjas under våren och sommaren för en sandsten (Valar) och en granit.

Metoderna för fuktmekaniska och strukturella studier är ofta mycket tidskrävande, arbetskrävande eller dyra. Det är därför viktigt att man tänker igenom i vilken prioritetsordning olika material skall studeras. Till en början är det tänkt att en porös sten (gotländsk sandsten), en tät sten (en granit) och en halvtät sten (en öländsk kalksten) skall studeras.

## Litteratur

Fagerlund G. & Wessman L., Frostnedbrytning av natursten, Lägesrapport mars 1992, Avdelningen för byggnadsmaterial, LTH, Lund.

Wessman L., Saltfrostnedbrytning av gotländsk sandsten, Preliminära försök, Avdelningen för byggnadsmaterial, LTH, Lund 1992.

Wessman L., Frostnedbrytning av natursten, Försöksmetodik, Lägesrapport till Riksantikvarieämbetet, december 1992, Avdelningen för byggnadsmaterial, LTH, Lund.

Fagerlund G., Kritiska vattenmättnadsgrader i samband med frysning av porösa och spröda material, rapport 34, Institutionen för byggnadsteknik, LTH, Lund 1972.

Betonghandbok, Material, Svensk Byggtjänst, Andra upplagan, Stockholm 1982.

Elfving P. och Rydberg M., Testmetoder för sten samt studier av några konserveringsmedel för sten med hjälp av dessa testmetoder, Report OOK 92:05, Institutionen för oorganisk kemi, CTH och Göteborgs universitet, Göteborg.

Hedenblad G. & Roszak W., Fuktransportkoefficienter för några byggnadsmaterial, preliminär rapport, Avdelningen för byggnadsmaterial, LTH, Lund, januari 1991.

Mörtstedt S.-E. & Hellsten G., Data & diagram, Energi- och kemitekniska tabeller, sjätte upplagan 1987.

Ekbohm, E., MaFyKe, Tabeller och formler, första upplagan 1980.

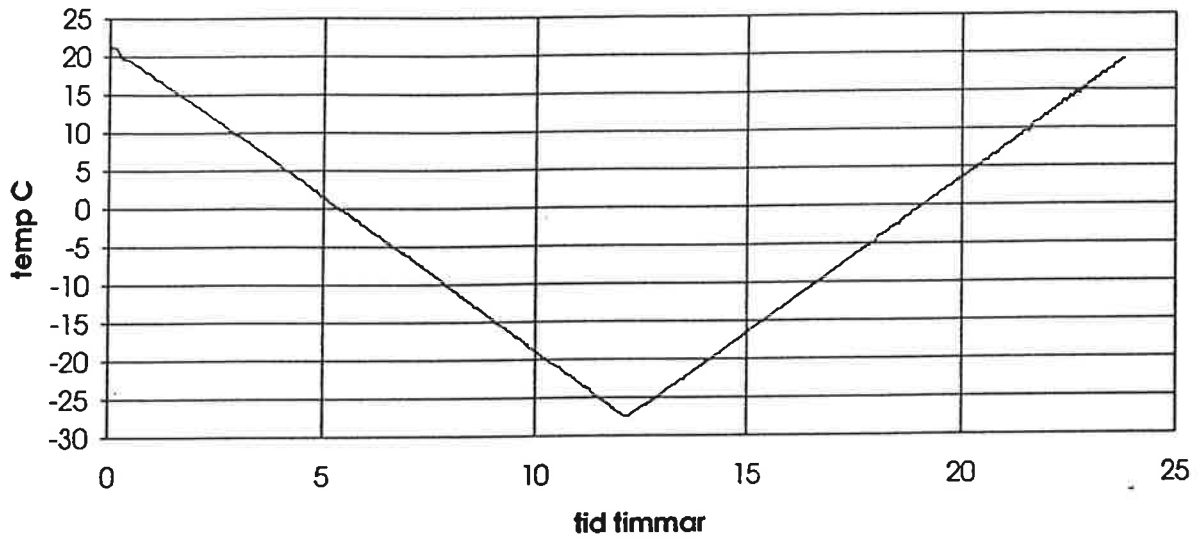
Gullman J. (editor), Konserveringstekniska studier, Air Pollution and the Swedish Heritage Progress 1988 - 1991, RAÄ, Stockholm.

Nord A.G. & Tronner K., Konserveringstekniska studier, Stone weathering, Air Pollution Effects Evidenced by Chemical Analysis, RAÄ, Stockholm 1991.

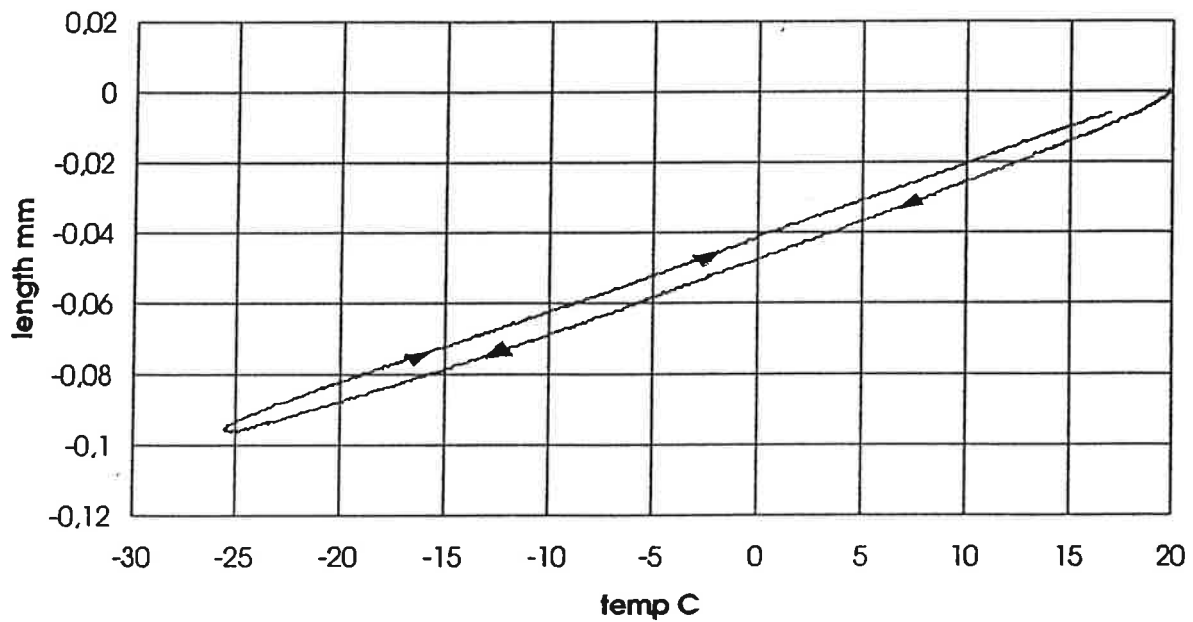
Verbeck G.J. & Klieger P., Studies of "salt" Scaling of Concrete, Highway Research Board, Bulletin 150, 1957.

DSC 7, Differential Scanning Calorimeter, informationsbroschyr från Perkin-Elmer, 1989.

## Figurer

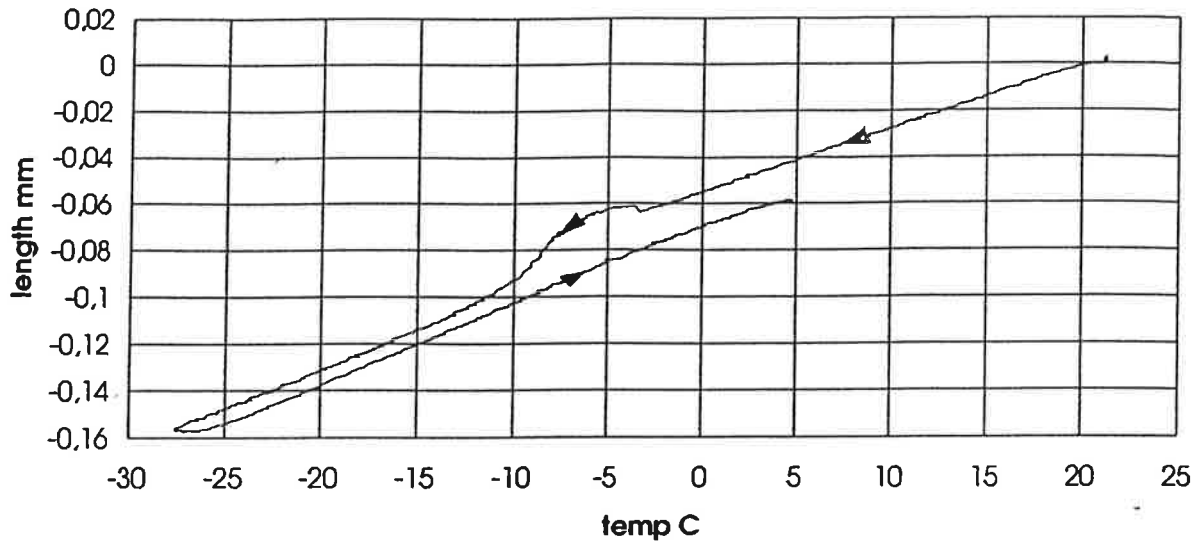


Figur 1. Temperaturkurva vid försök med dilatometer.

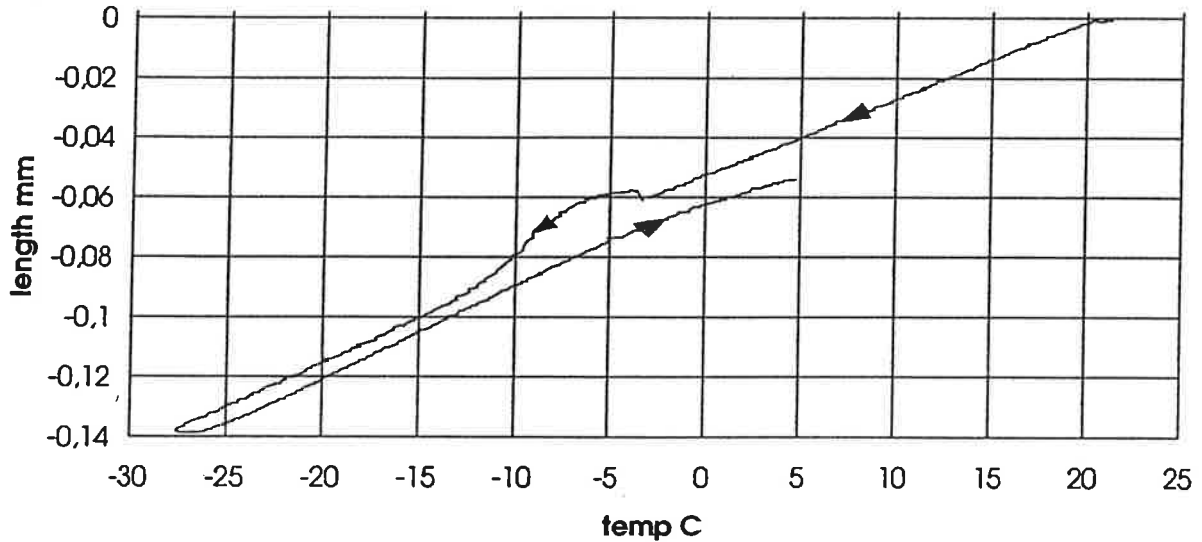


Figur 2. En vattenmättad granits längd som funktion av temperaturen vid försök med dilatometer. Endast termisk rörelse och ingen isbildning kan iaktas. Temperaturen och längden registrerades varannan minut. Motsvarande diagram för kalksten ser ut på liknande sätt.

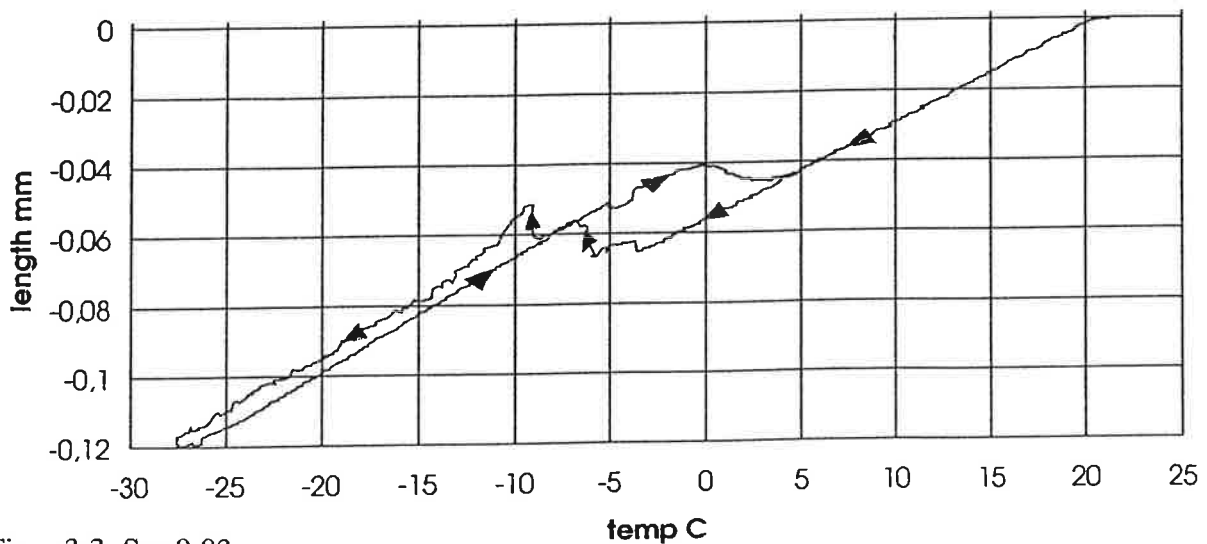
Figur 3.1 - 3.6. Längd som funktion av temperaturen hos sandsten av typen Uddvide vid försök med dilatometer. Temperaturen och längden registrerades var annan minut. S betecknar vattenmättnadsgraden.



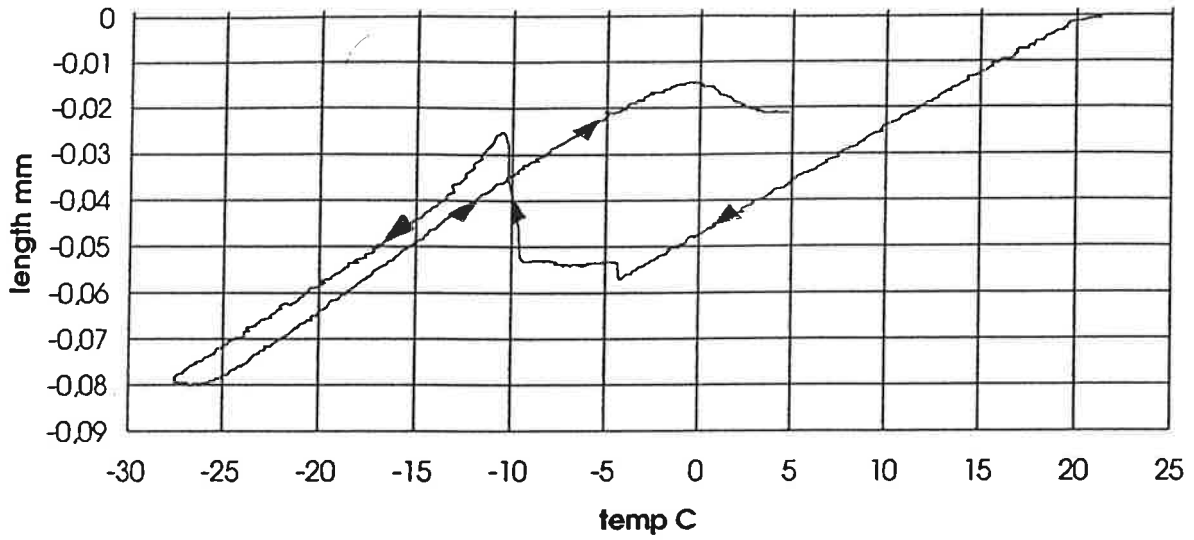
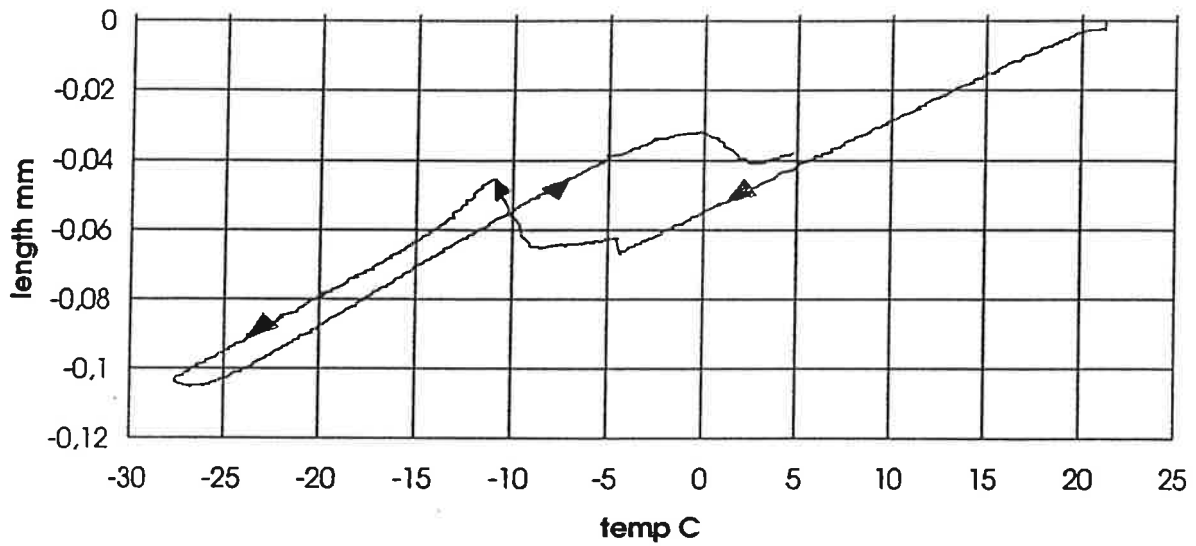
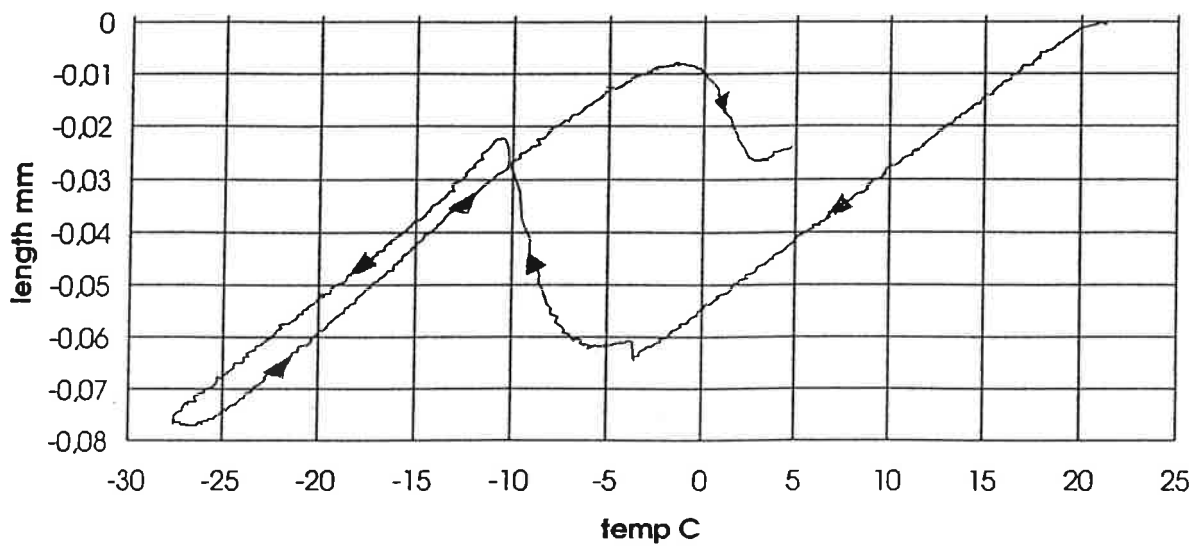
Figur 3.1. S = 0,70.

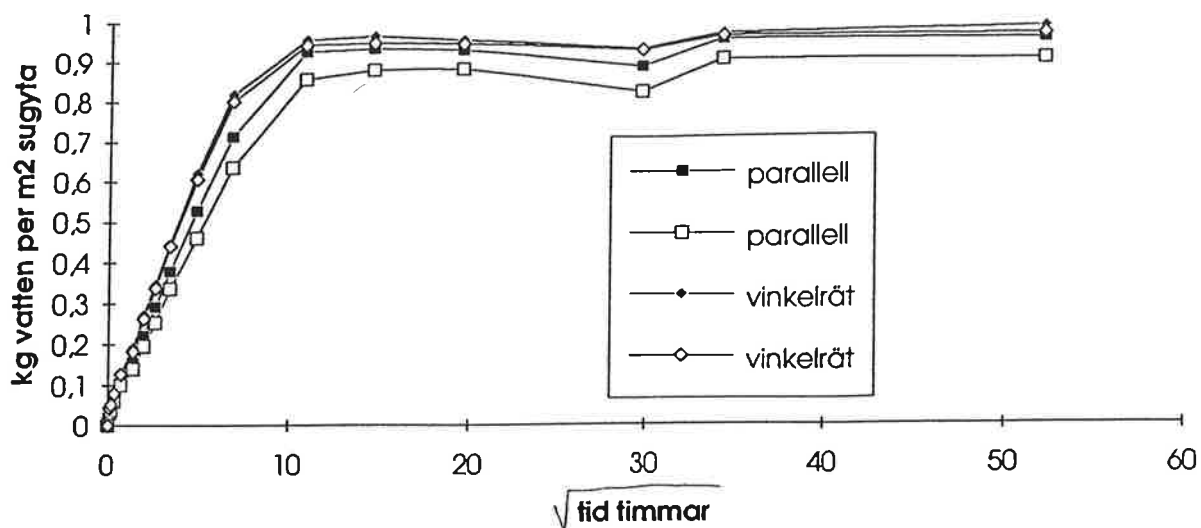


Figur 3.2. S = 0,79.

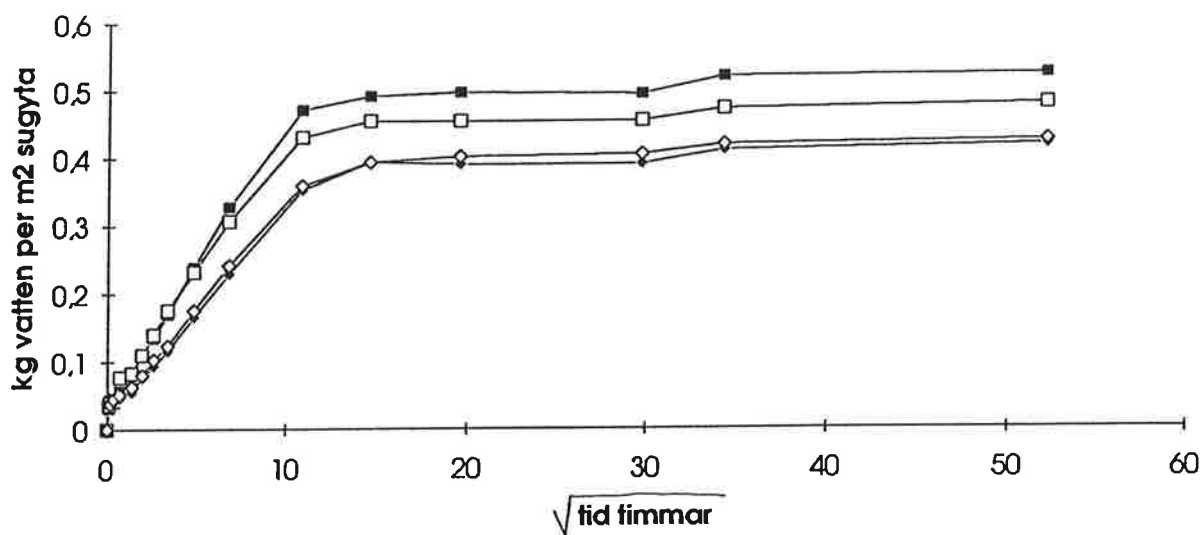


Figur 3.3. S = 0,83.

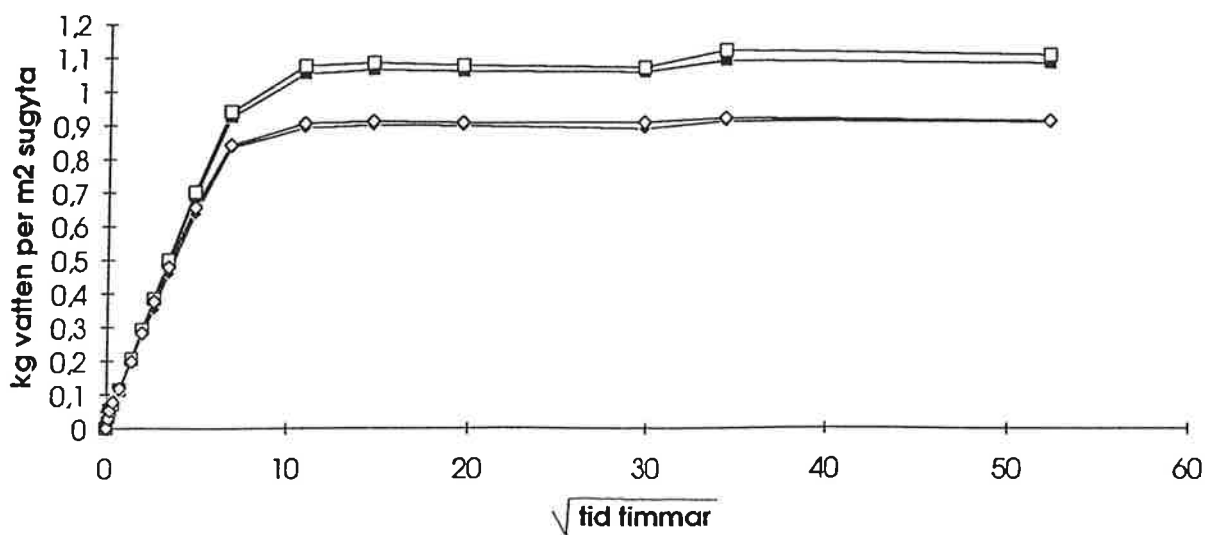
Figur 3.4.  $S = 0,88$ .Figur 3.5.  $S = 0,93$ .Figur 3.6.  $S = 1,00$ .



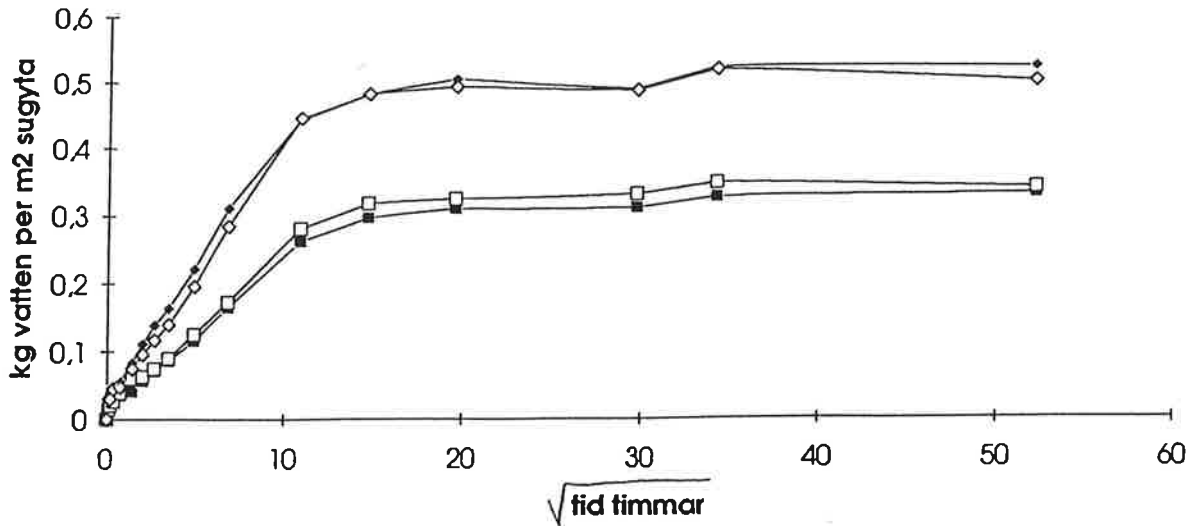
Figur 4.1. Resultat från kapillärsugningsförsök. Stensort: Öland G1. Teckenförklaringen (parallell och vinkelrät) även figurerna 4.2 -4.4.



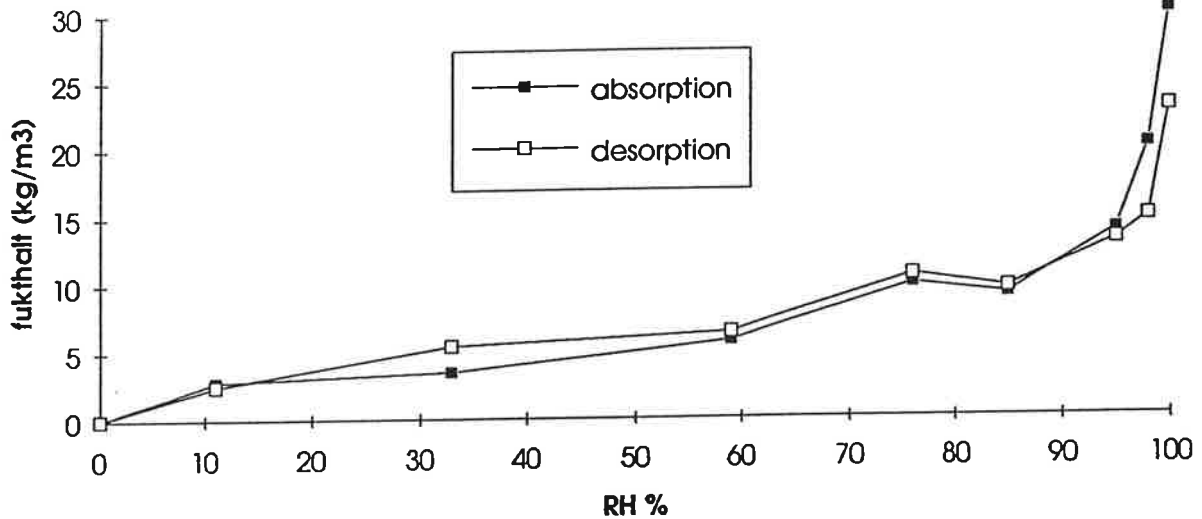
Figur 4.2. Resultat från kapillärsugningsförsök. Stensort: Öland G2. Se teckenförklaring i figur 4.1.



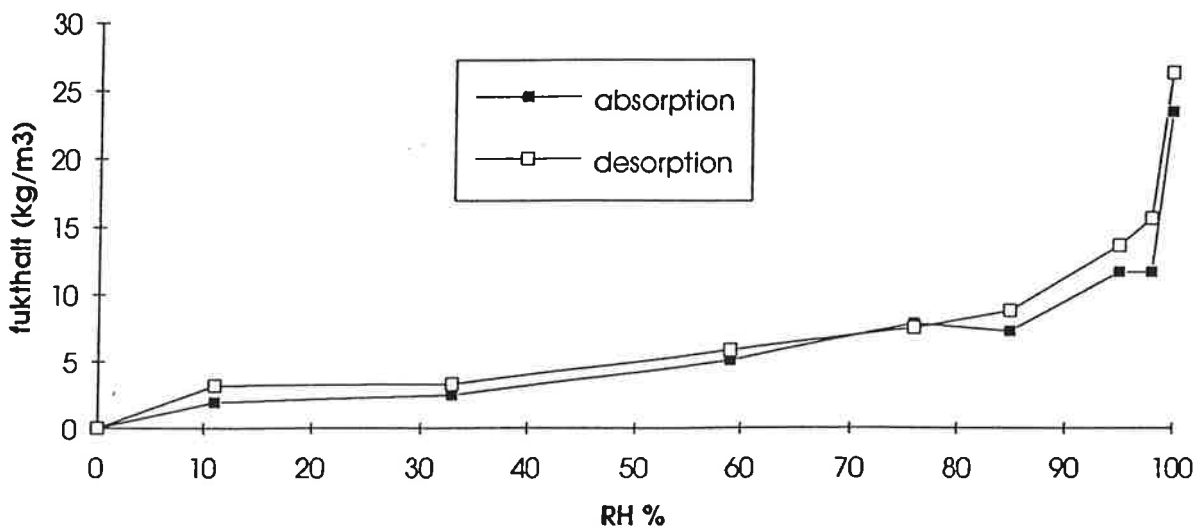
Figur 4.3. Resultat från kapillärsugningsförsök. Stensort: Öland B1. Se teckenförklaring i figur 4.1.



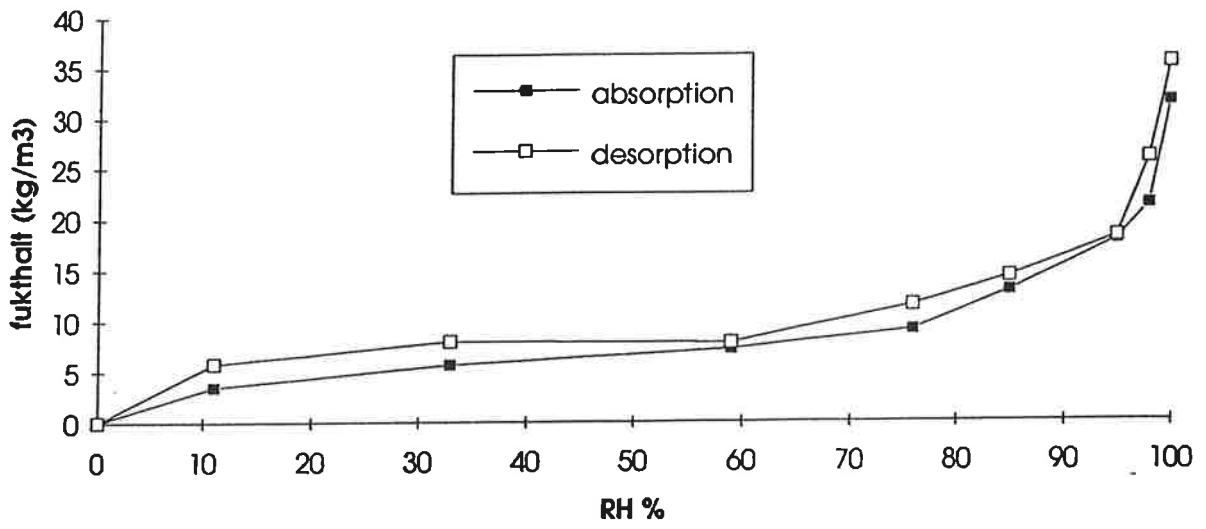
Figur 4.4. Resultat från kapillärsugningsförsök. Stensort: Öland flammig. Se teckenförklaring i figur 4.1.



Figur 5.1. Sorptionsisoterm för gotländsk sandsten av typen Botvide. Varje enskild punkt i diagrammet nedan är ett medelvärde av två värden.



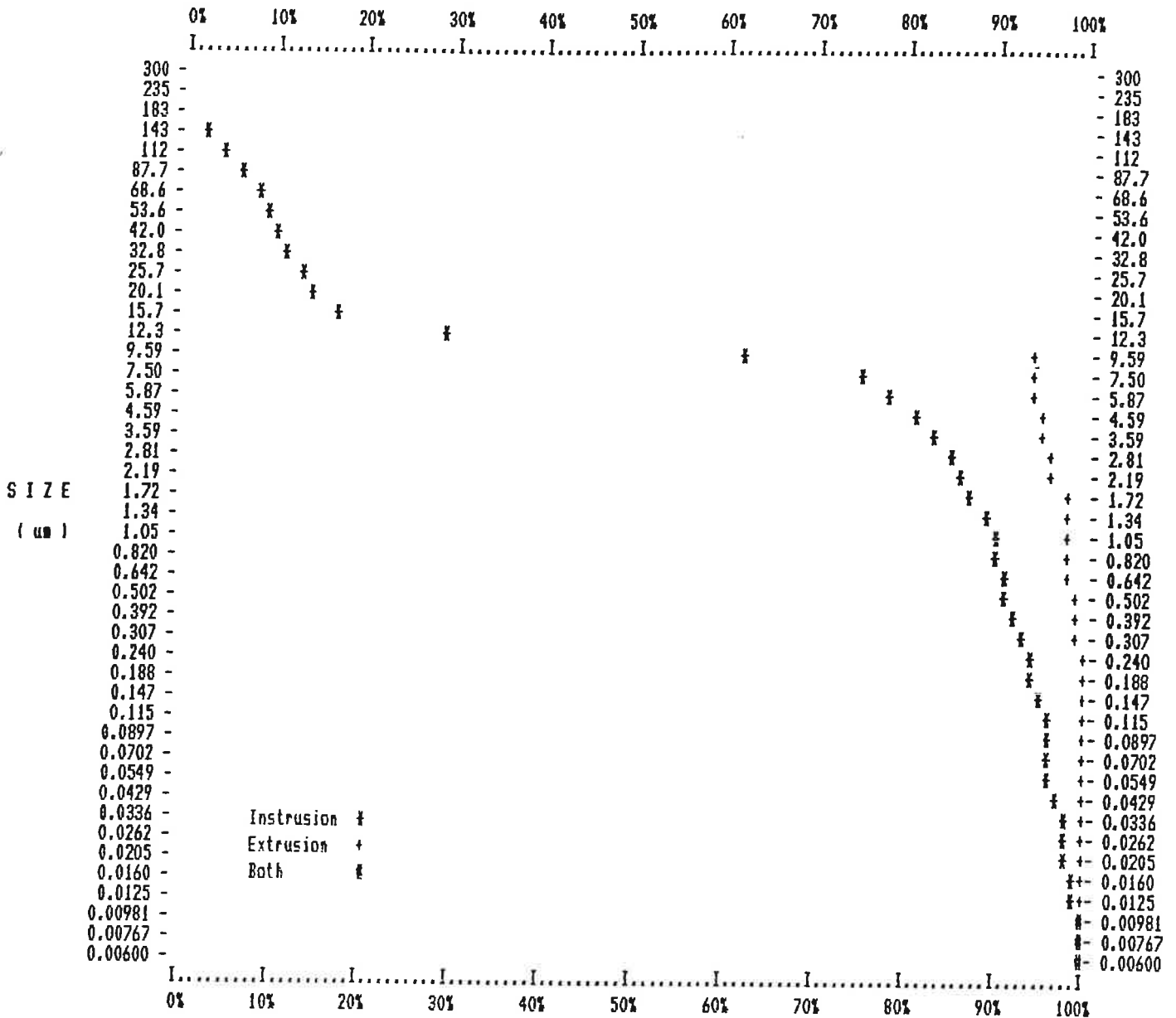
Figur 5.2. Sorptionsisoterm för gotländsk sandsten av typen Uddvide. Varje enskild punkt i diagrammet nedan är ett medelvärde av två värden.



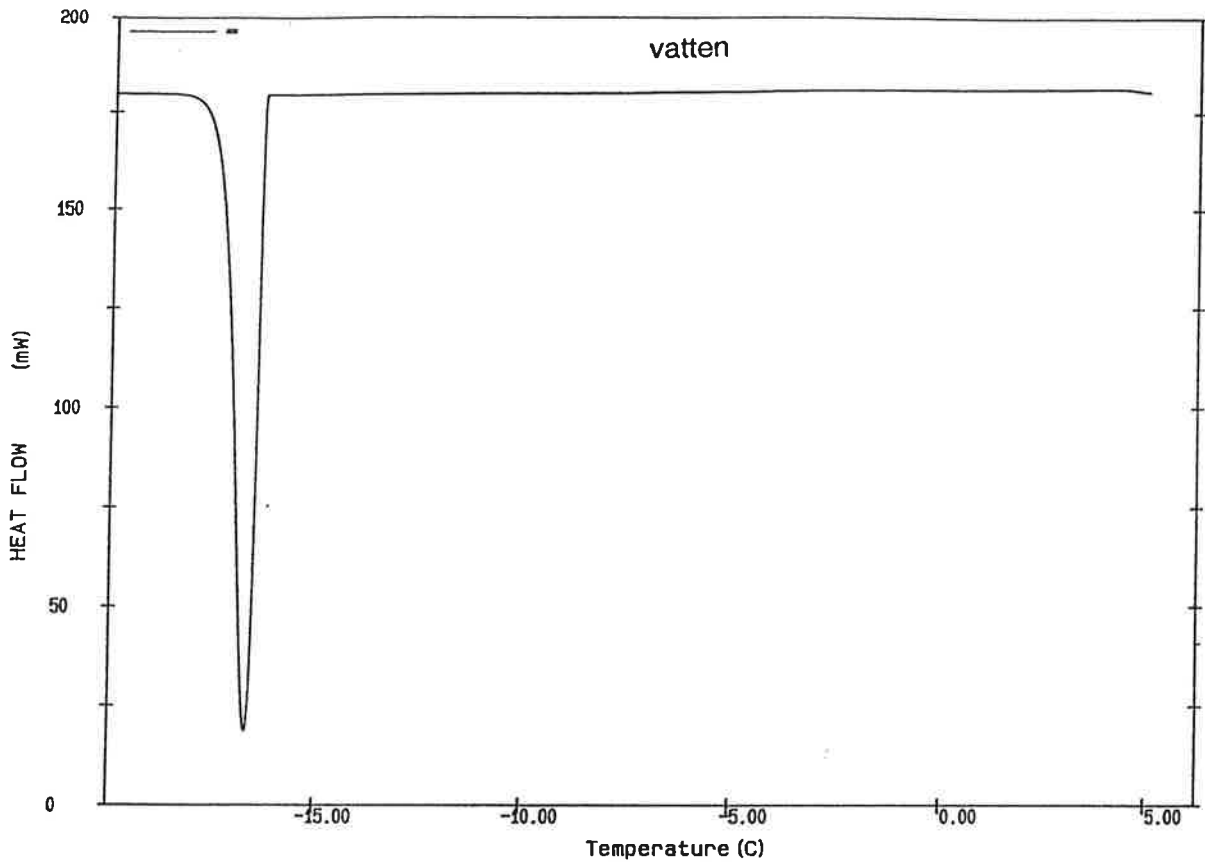
Figur 5.3. Sorptionsisoterm för gotländsk sandsten av typen Valar. Varje enskild punkt i diagrammet nedan är ett medelvärde av två värden.



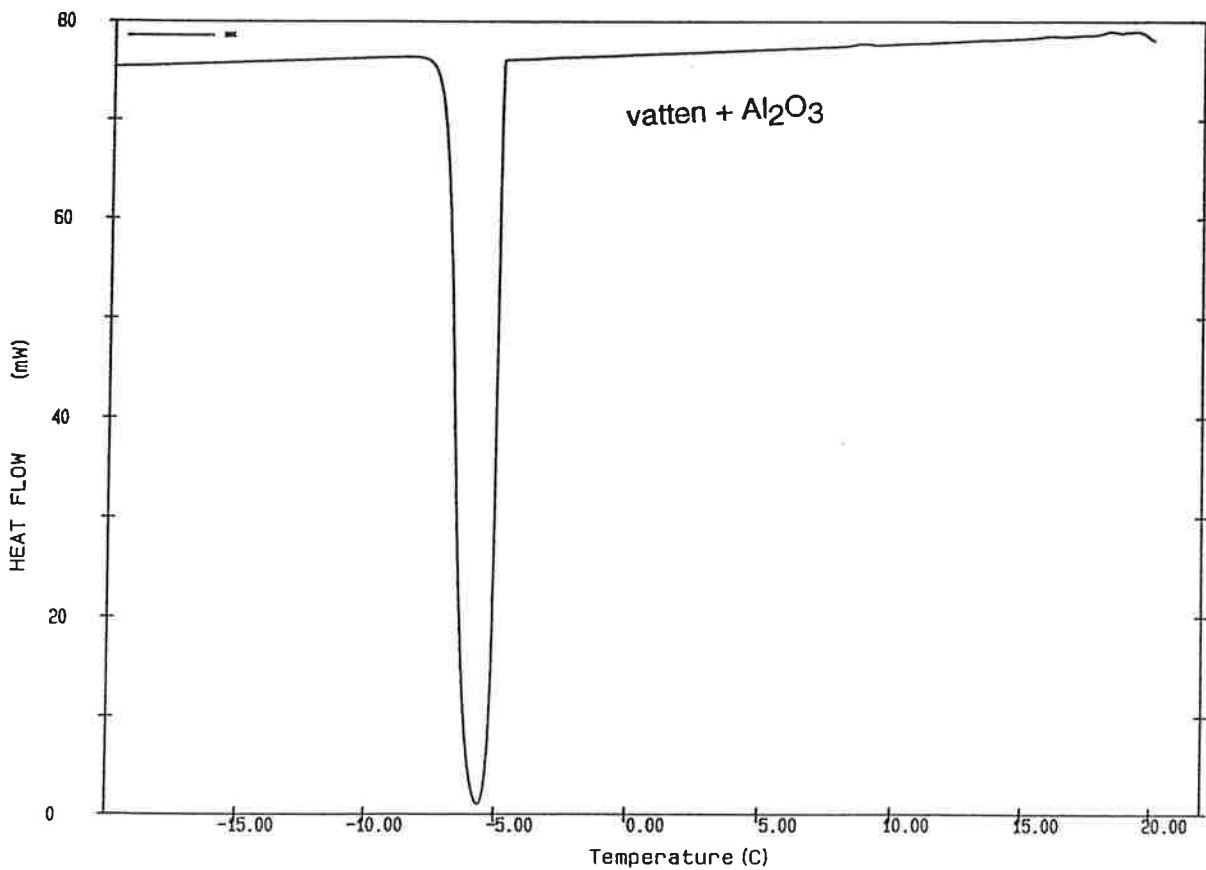
CUMULATIVE PORE VOLUME PER GRAM % vs. PORE DIAMETER (micrometers)  
 Maximum Intrusion = 0.1224 cc/g



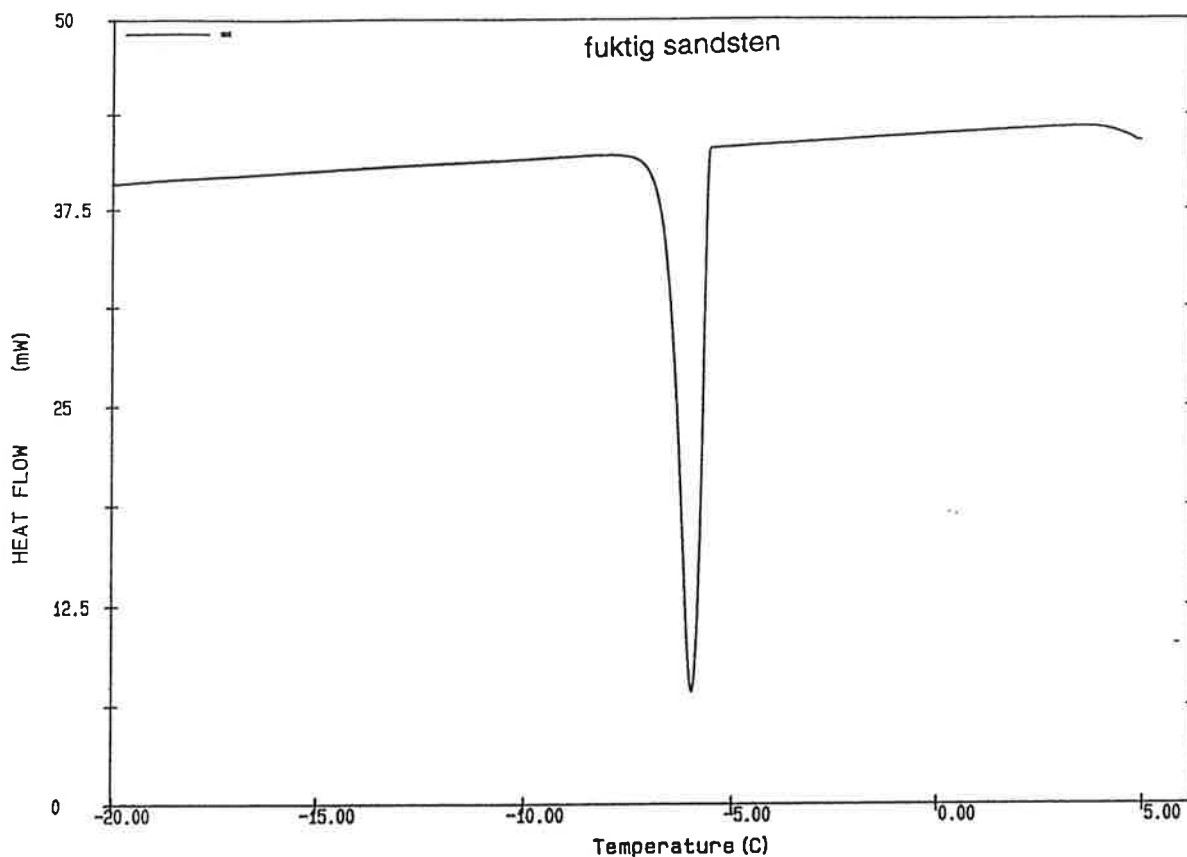
Figur 6. Porstorleksfördelning mätt med kvicksilverporosimetri hos gotländsk sandsten av typen Botvide uttryckt som summaporositet.



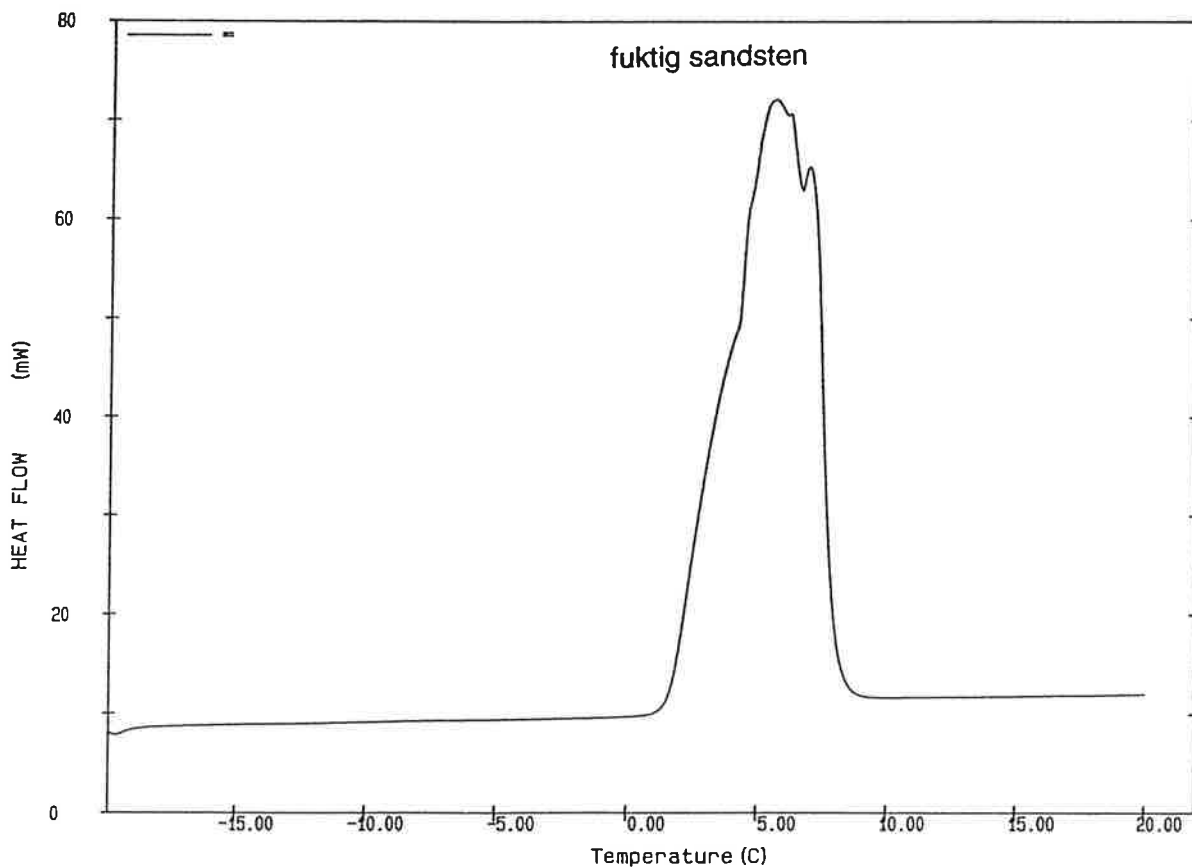
Figur 7.1. DSC-studie av frysning av destillerat vatten. Temperatursänkingshastigheten var 5°C/minut.



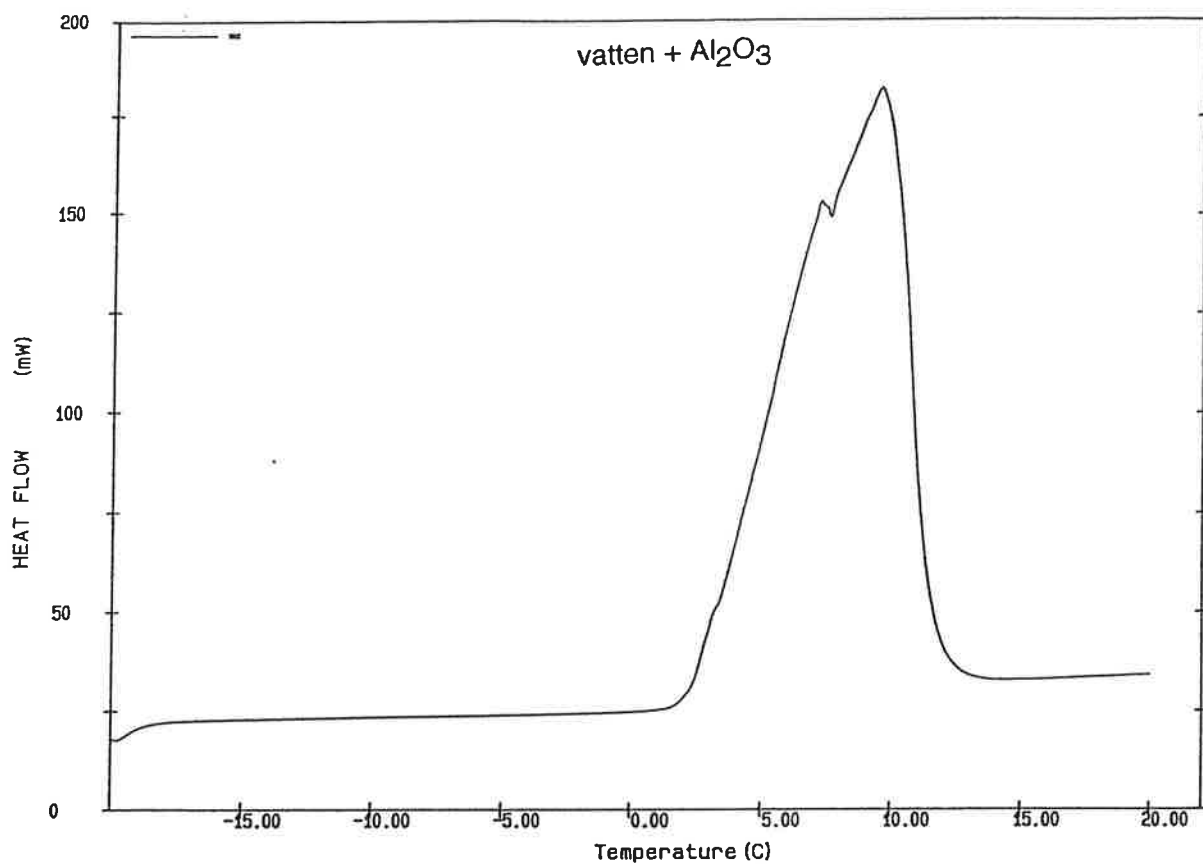
Figur 7.2. DSC-studie av frysning av destillerat vatten och aluminiumoxid. Temperatursänkingshastigheten var 5°C/minut.



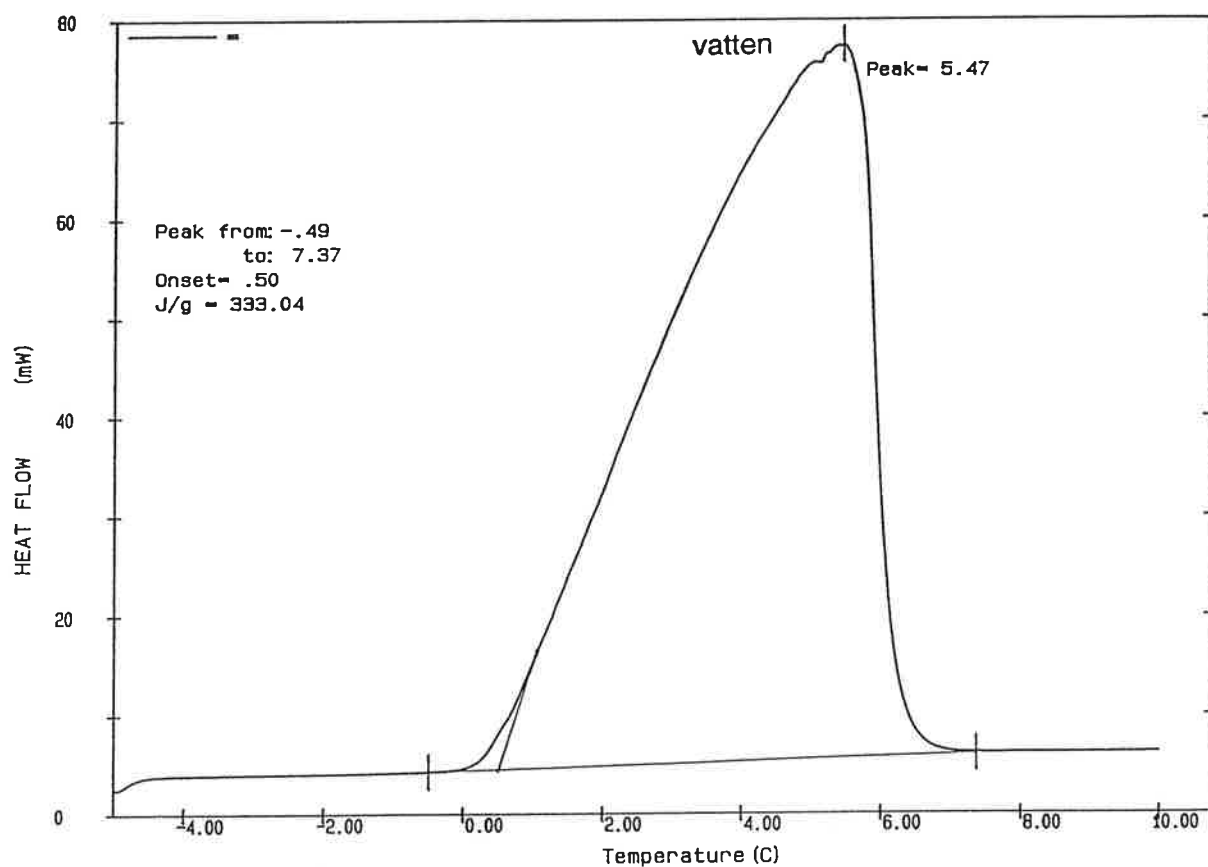
Figur 7.3. DSC-studie av frysning av kapillärmättad gotländsk sandsten av typen Botvide. Temperatursänkningshastigheten var 5°C/minut.



Figur 7.4. DSC-studie av smältning av kapillärmättad gotländsk sandsten av typen Botvide. Temperaturökningshastigheten var 5°C/minut.



Figur 7.5. DSC-studie av smältning av destillerat vatten och aluminiumoxid. Temperaturökningshastigheten var 5°C/minut.



Figur 7.6. DSC-studie av destillerat vatten. Temperaturökningshastigheten var 1°C/minut.

**Beräkningar rörande DSCns känslighet i samband med fasomvandlingar av vatten i porösa material.**

Beteckningar

w	det porösa, vattenmättade materialets vatteninnehåll, g vatten /g vattenmättat material
m	det porösa, vattenmättade materialets massa i DSCn, g
H	vattnets smältvärme, 333 J/g
b	Den av DSC registrerade toppens bas, °C
h	Det maximala registrerade värmeflödet, dvs den av DSC registrerade toppens höjd, W
T	Temperaturscanningshastighet, °C/s

En DSC registrerar värmeflödet vid t ex en fasomvandling som funktion av temperaturen. Temperaturen är i sin tur en funktion av tiden (temperaturscanningshastigheten). Genom att beräkna arean under en topp och dividera med provets massa erhålles den energi som upptas/avges per gram material vid fasomvandlingen. Det minsta värmeflöde som en DSC kan registrera är 0,01 mW (DSC 7 Differential Scanning Calorimeter, informationsbroshyr från Perkin-Elmer, 1989). Vid beräkning av arean under toppen approximeras denna till en triangel med basen b och höjden h.

Följande samband gäller:

$$b * h / (2T) = H * m * w$$

Rimliga värden för en tät sten som t ex granit är

$$w = 2 \text{ mg/g}$$

$$m = 10 \text{ mg}$$

$$H = 334 \text{ J/g}$$

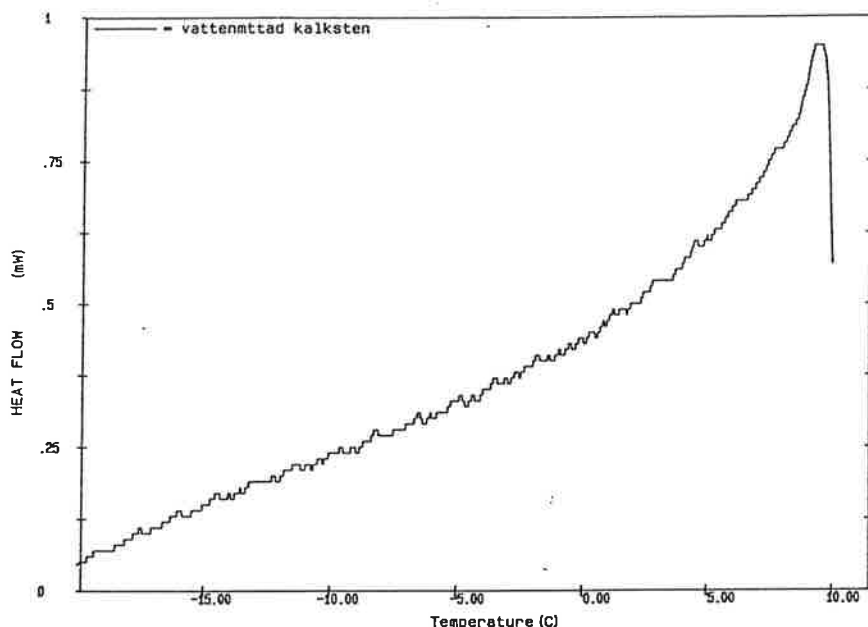
$$b = 5 \text{ °C}$$

$$T = 5 \text{ °C/min}$$

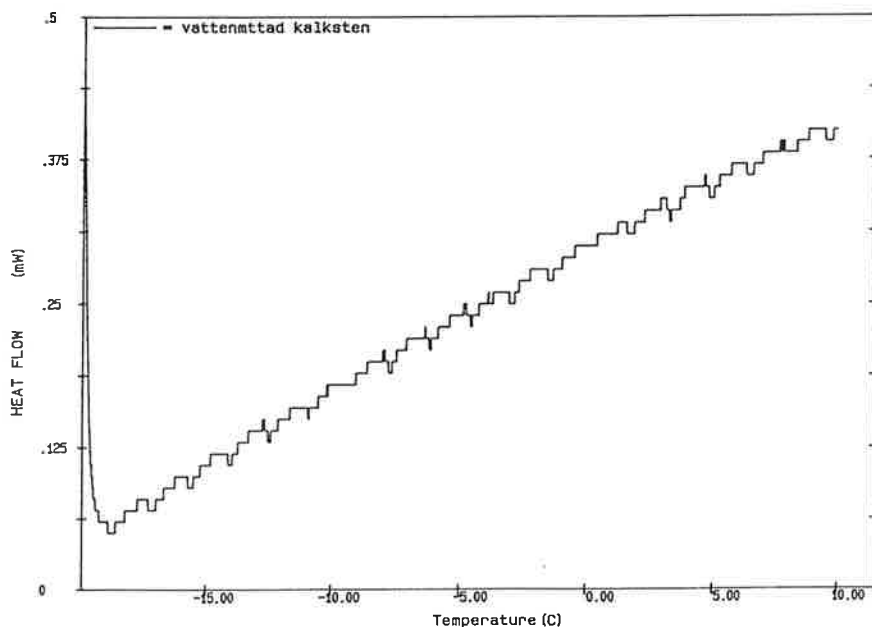
Detta ger att  $h = 0,2 \text{ mW}$ , vilket är 20 ggr det minsta värmeflöde som en DSC kan registrera. För att ett så litet värmeflöde ska kunna registreras ställs mycket höga krav på att baslinjen är stabil. Om vi i stället antar att  $w = 6,5 \text{ mg/g}$  (kalksten),  $m = 20 \text{ mg}$ ,  $H = 334 \text{ J/g}$ ,  $b = 5 \text{ °C}$  och  $T = 10 \text{ °C/min}$  så blir  $h = 2,9 \text{ mW}$ , vilket registreras lättare. Högre scanninghastigheter kan

emellertid ge bredare toppar, varför höjden  $h$  förmodligen inte påverkas så gynnsamt som det kan verka av höga scanninghastigheter.

I figurena b1 och b2 visas resultatet från en DSC - studie av vattenmättad öländsk, flammig kalksten. I detta fall var  $w = 6,5 \text{ mg/g}$ ,  $m = 10,3 \text{ mg}$ ,  $H = 334 \text{ J/g}$  och  $T = 1 \text{ }^\circ\text{C/min}$ . Om vi antar att  $b = 5 \text{ }^\circ\text{C}$  så skulle  $h$  bli  $0,15 \text{ mW}$ . En antydning till en sådan topp borde vara synlig med den baslinjestabilitet som råder, om toppen inte är alltför bred. Anledningen till att så inte är fallet kan vara att provbiten i fråga inte är representativ för ett större prov. Provet är en flisa som lossnat i samband med tillsågning av större provkroppar. Det är möjligt att denna flisa är relativt kompakt. Ett mer representativt prov kan erhållas om det sågas ut.



Figur b1. Resultat från en DSC - studie av vattenmättad öländsk, flammig kalksten. Temperaturscanningshastigheten är  $-1,0 \text{ }^\circ\text{C/ minut}$ .



Figur b2. Resultat från en DSC - studie av vattenmättad öländsk, flammig kalksten. Temperaturscanningshastigheten är  $+1,0 \text{ }^\circ\text{C/ minut}$ .