



LUND UNIVERSITY

Saltfrostnedbrytning av gotländsk sandsten : preliminära försök

Wessman, Lubica

1993

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Wessman, L. (1993). *Saltfrostnedbrytning av gotländsk sandsten : preliminära försök*. (Rapport TVBM (Intern 7000-rapport); Vol. 7038). 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

SALTFROSTNEDBRYTNING AV GOTLÄNDSK SANDSTEN

PRELIMINÄRA FÖRSÖK

Lubica Wessman

Rapport TVBM-7038

Lund, 1993

Förord

Arbetet som redovisas i denna rapport är utfört på Avdelningen för byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola. Det ingår som en del i ett större projekt - Frostnedbrytning av natursten - som finansieras av Riksantikvarieämbetet. Projektet ingår i forskarstudier som skall leda till doktorsexamen.Handledare är professor Göran Fagerlund.

Innehåll

Sammanfattning	3
Beteckningar	4
1 Inledning	5
2 Utförande	5
2.1 Allmänt	5
2.2 Schematisk beskrivning av försöksgenomförandet	8
3 Resultat och diskussion	8
3.1 Avskalningar	8
3.2 Förändring av dynamisk E-modul	10
3.3 Mängden uppsugen lösning	14
3.4 Mängden inlagrat salt	16
Referenser	18
Bilaga 1 Dynamisk E-modul	
Bilaga 2 Fryscyklar	
Bilaga 3 Resultat-tabell	
Bilaga 4 Fotografier	

Sammanfattning

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 saltfrysförsök på gotländsk sandsten. Tre olika sorters gotländska sandstenar utsattes för fryscykler samtidigt som de var nedsänkta i lösningar med olika NaCl-koncentration. Resultaten visar tydligt att maximal skada i form av ytavskalningar och i viss mån även E-modulförlust uppkommer vid en salthalt som ligger mellan 0 % och 5 %. Stenen av typen Valar är mer känslig än stenarna Botvide och Uddvide.

För att se om några inre skador uppkommit mättes den dynamiska E-modulen före och efter frysning. Resultaten från dessa mätningar är svårtolkade, vilket delvis kan förklaras med otillfredsställande mätutrustning.

Beteckningar

Q	vikt av provkropp
Q _f	vikt av avflagnat material
f	egenfrekvens
E	dynamisk E-modul

index

o	före frysning
n	efter frysning
d	torr
w	våt

1 Inledning

Det är sedan tidigare känt att då betong fryser i svaga saltlösningar uppstår en maximal skada vid en koncentration av 2 - 3 % (Verbeck & Klieger 1957). Detta har visat sig gälla för flera olika salter och även för svaga alkohollösningar. Några vedertagna teorier om varför detta sker finns ännu inte. För att se om kombinationen av salt och frost har en liknande effekt på natursten gjordes saltfrys försök på gotländsk sandsten. Stenarna har tidigare undersökts med den så kallade kritiska vattenmättnadsgradsmetoden (Fagerlund & Wessman 1992).

2 Genomförande

2.1 Allmänt

Tre olika typer av gotländsk kalkbunden sandsten studerades. De tre sorterna benämns:

1: Botvide

2: Uddvide

3: Valar

Stenarnas porositet och skrymdensitet visas i tabell 1.

Tabell 1. Skrymdensitet och porositet hos provade stenar (Fagerlund & Wessman 1992)

Stentyp	porositet %	skrymdensitet kg/m ²
Botvide	21,6	2079
Uddvide	22,1	2073
Valar	17,5	2199

Ur större stenblock, som levererats från Slite stenhuggeri, sågades provkroppar á 3 x 3 x 12 cm. En provkropp för varje stensort och för varje saltkoncentration användes i försöken.

Två likartade frysförsök utfördes vid olika tillfällen. Nedan benämns dessa försök 1 och försök 2. Försöksvariabler vid de två försökstillfällena redovisas i tabell 2. Det använda saltet var natriumklorid.

Tabell 2: Försöksvariabler

	försök 1	försök 2
Saltkoncentration	0 %, 2,5 %, 5 %, 10 %	0 %, 2 %, 4 %, 6 %, 8 %, 10 %
Torkning före frysning	95°C, 4 dygn	105°C, 4 dygn
Tid i saltlösning före frysning	4 dygn	10 dygn
Fryscykel	Se bilaga 2	Se bilaga 2
Antal fryscykler	20	7
Mätning av dynamisk E-modul på våta prover 1)	ja	ja
Mätning av dynamisk E-modul på torra prover 1)	nej	ja
Torkning efter frysning	95°C, 4 dygn	105°C, 4 dygn

1) E-modulen beräknas ur egenfrekvensen vid transversell böjsvängning. Beträffande formel för beräkning se bilaga 1. Inga korrektioner gjordes för förändringar.

Provkropparna fick först torka i fyra dygn i 95 respektive 105°C varefter de vägdes. I försök 2 mättes sedan den dynamiska E-modulen på de torra provkropparna före saltvattenlagring och frysning. Förändringen i

dynamisk E-modul är ett mått på skador som uppkommit vid frysningen. Detta förklaras närmare i bilaga 1.

Efter torkning placerades provkropparna på högkant i enliters plastbehållare med de ungefärliga måtten 8 x 8 x 14 cm. Natriumkloridlösningar med olika koncentrationer hölls i bägarna tills provkropparna var helt täckta av vätskan, vilket motsvarar ca 850 ml. För att lösningen skulle sugas in kapillärt i proverna lagrades dessa i behållarna under 4 respektive 10 dygn innan första fryscykeln.

Provkropparna vägdes och den dynamiska E-modulen hos de våta provkropparna mättes innan frysningen påbörjades. Plastbehållarna innehållande saltlösning och provkroppar utsattes därefter för ett antal fryscykler. Under frysningen registrerades temperaturen i den omgivande luften och i några provkroppar placerade i saltlösningar med olika koncentration. Fryscyklernas utseende framgår av bilaga 2. I försök 1 ändrades fryscyklerna något under pågående försök.

Efter avslutad frysning vägdes provkropparna och den dynamiska E-modulen hos de våta provkropparna bestämdes. Allt material som satt löst kvar på provkropparna och som kunde lossas med fingrarna hade dessförinnan avlägsnats och tillförts det övriga avflagnade materialet. Den omgivande saltlösningen filtrerades genom filterpapper som först torkats och vägts. På så sätt kunde allt material som flagnat av under frysningen fångas upp. Det avflagnade materialet sköljdes med destillerat vatten för att i görligaste mån få bort en del av saltet. Provkropparna och filterpappren med det avflagnade materialet fick torka i 95°C respektive 105°C i fyra dygn varefter allt vägdes. Vid försök 2 mättes den dynamiska E-modulen även på de torra provkropparna.

2.2 Schematisk beskrivning av försöksgenomförandet

1. Provkropparna torkas i ca 100°C under 4 dygn.
2. Provkropparna vägs.
3. Dynamiska E-modulen mäts på de torra provkropparna (försök 2).
4. Provkropparna placeras i bågare med saltlösning och lagras i 4 respektive 10 dygn.
5. De våta provkropparna vägs och den dynamiska E-modulen mäts.
6. Provkropparna placerade i bågarna med saltlösning utsätts för 20 respektive 7 fryscyklar.
7. De tinade provkropparna vägs och den dynamiska E-modulen mäts.
8. Saltlösningarna med allt avflagnat stenmaterial filtreras genom filter som torkats och vägts varvid det avflagnade materialet samlas upp.
9. Provkropparna och det avflagnade materialet torkas.
10. Provkropparna och det avflagnade materialet vägs.
11. Dynamiska E-modulen mäts på de torra provkropparna (försök 2).

3 Resultat och diskussion

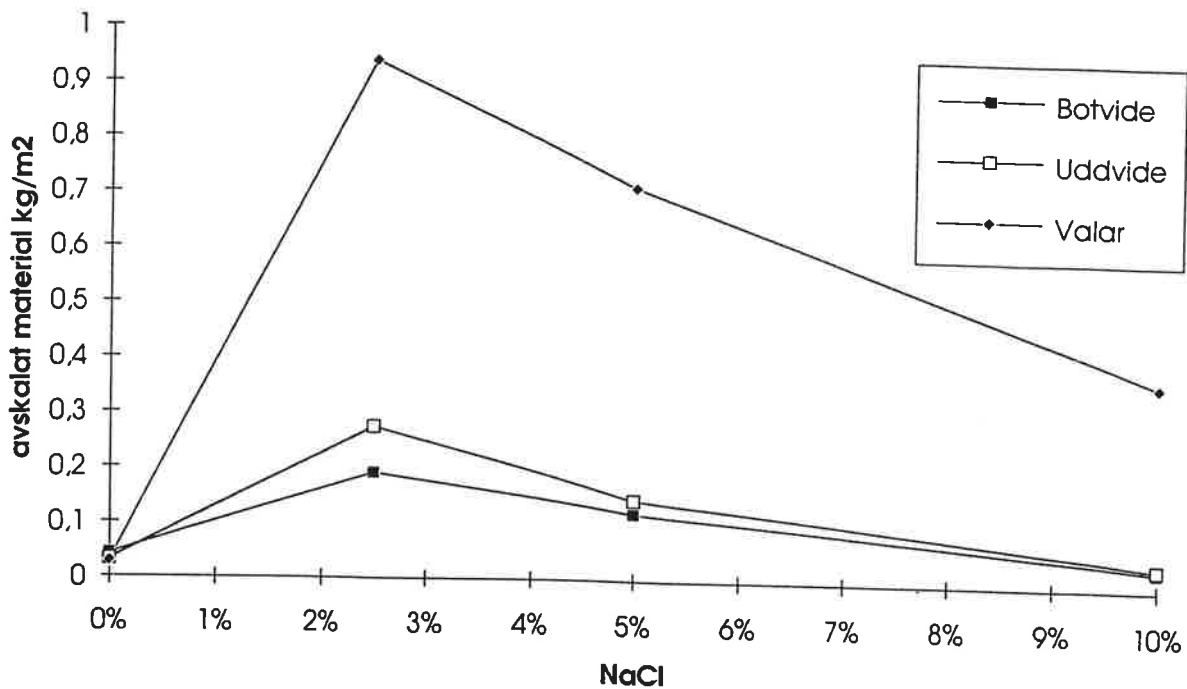
Alla uppmätta och beräknade värden presenteras i resultattabellen i bilaga 3. Resultaten kommenteras nedan.

3.1 Avskalningar

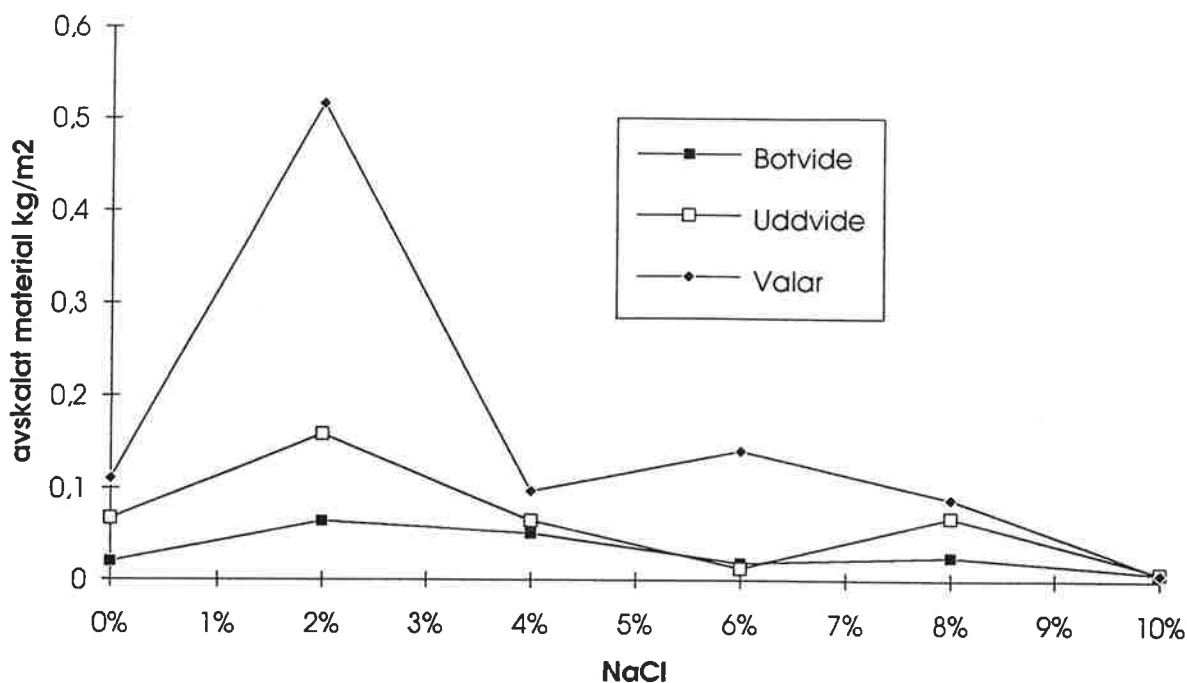
Se figurerna 1 och 2. Det framgår tydligt av bägge försöken att en maximal avskalning uppkommer vid en salthalt mellan 0 % och 5 % (försök 1) respektive 0 % och 4 % (försök 2). Avskalningen i rent vatten är däremot relativt liten för alla prover. Detta stämmer väl med de försök som tidigare gjorts på betong. Det bör emellertid observeras att i det aktuella försöket har torra prover

fått suga in saltlösning under flera dygn före frysningen. I försök med betong har materialet normalt varit vattenlagrat före provningen, dvs saltet har endast trängt in i betongen genom diffusion. Det kan noteras att maximal acceptabel avskalning för betong är ca $0,5 \text{ kg/m}^2$ efter 56 cykler.

Sandstenen av typen Valar är mer känslig för saltfrostnedbrytning än stenarna Uddvide och Botvide. Skillnaden mellan Uddvide och Botvide är inte lika stor, men Uddvide är något mera känslig.



Figur 1. Mängd avskalat material efter 20 st fryscyklrer som funktion av saltkoncentrationen. Resultat från försök 1.



Figur 2. Mängd avskalad material efter 7 st fryscyklar som funktion av saltkoncentrationen. Resultat från försök 2.

Avskalningarna var störst upptill, vilket syns på fotografierna i bilaga 4. Detta kan bero på att vätskeytan endast var ett par mm över provbitarna. Värmeledningen ovanifrån blev därmed bättre än värmeledningen underifrån, varför fryshastigheten blir högre i provets överyta. En annan förklaring är att en ojämn temperatur över saltlösningen gör att koncentrationsgradienter uppstår i denna redan vid första frysningen. Dessa gradienter kvarstår sedan. I tidigare försök (Fagerlund 1991) har avskalningarna varit störst nertill på provkropparna. Vätskeytan var i detta fall ca 3,5 cm över provkropparna.

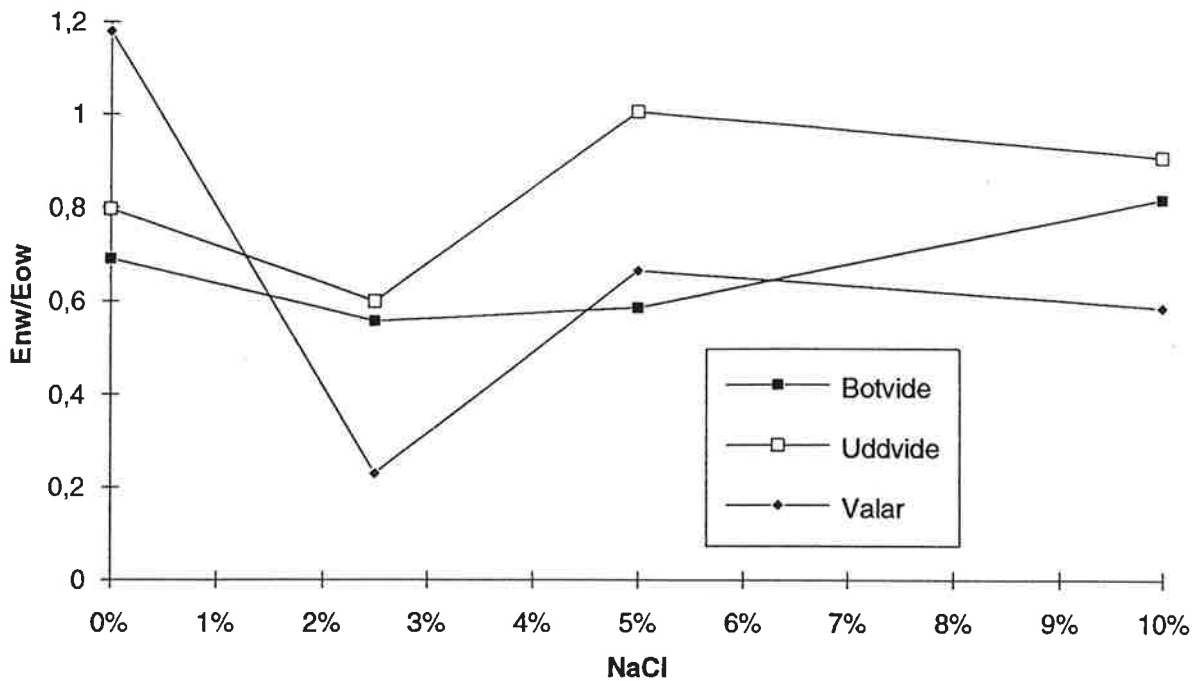
3.2 Förändring av dynamisk E-modul

När det gäller förändringen av den dynamiska E-modulen som mått på frysskador är resultatet inte lika tydligt

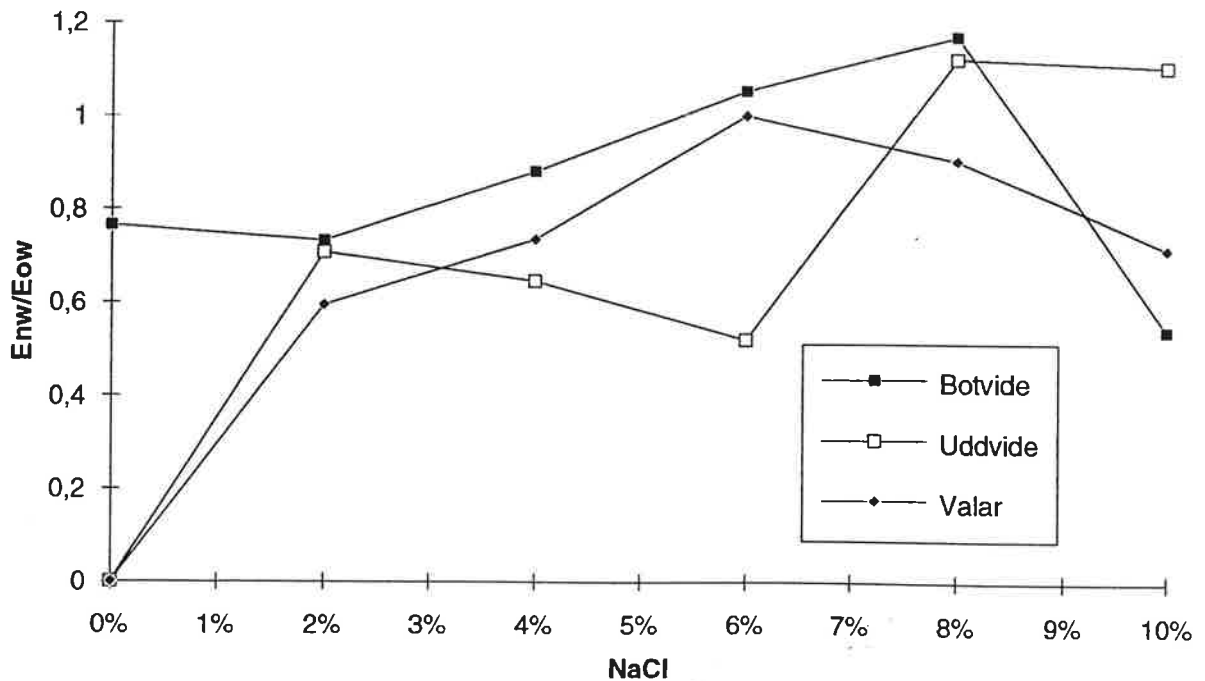
som i fallet med ytavskalningar. Detta kan delvis förklaras med otillfredsställande mätutrustning. Egenfrekvensvärdet var nämligen i flera fall inte distinkt. Det är t ex inte sannolikt att E-modulen är större efter frysning än före, vilket ser ut att vara fallet för vissa prover i figurerna 3 och 5. Det måste observeras att ingen hänsyn har tagits till eventuella förändringar i tvärsnittsmått vid beräkning av dynamisk E-modul, dvs i själva verket torde den verkliga E-modulen efter frysning ha varit något högre. (Se ekvation i bilaga 1.)

Vid försök 1 (figur 3) kan man se ett minimum för kvoten E_n/E_o vid 2,5 % salt, dvs skadan är störst vid 2,5 % salt. E-modulen såväl före som efter frysningen mättes på våta provkroppar. Sandstenen av typen Valar har tagit störst skada, medan skillnaden mellan stenarna Uddvide och Botvide är liten. Resultaten stämmer väl överens med skadorna i form av ytavskalningar.

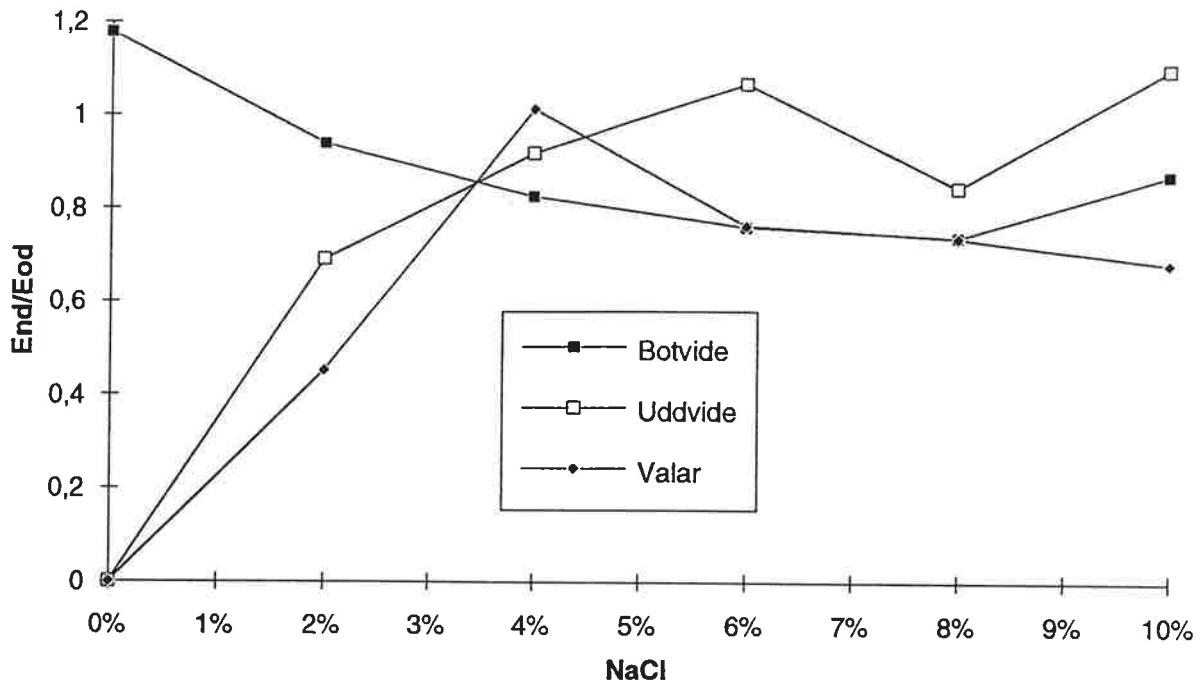
Vid försök 2 (figurerna 4-6) gick stensorterna Uddvide och Valar i två delar vid frysning i rent vatten. Den dynamiska E-modulen sattes därvid till noll, vilket emellertid kan diskuteras, eftersom de två bitar som bildades kan ha en avsevärd E-modul. I figurerna 4 och 5 visas den relativa dynamiska E-modulen för de olika sandstenarna mätta i vått respektive torrt tillstånd som funktion av saltkoncentrationen vid frystesten. Resultatet är ganska svårtolkat. Det förefaller som om mätningar på våta prover ger resultat som i stort sett är omvända mot mätningar på torra prover (?). Följdaktligen, om man tar medelvärden av E-modulförändringen för våta respektive torra prover får man en rätt liten effekt av salthalten. I figur 6 visas medelvärdet av E-modulförändringen vid mätning i torrt respektive vått tillstånd.



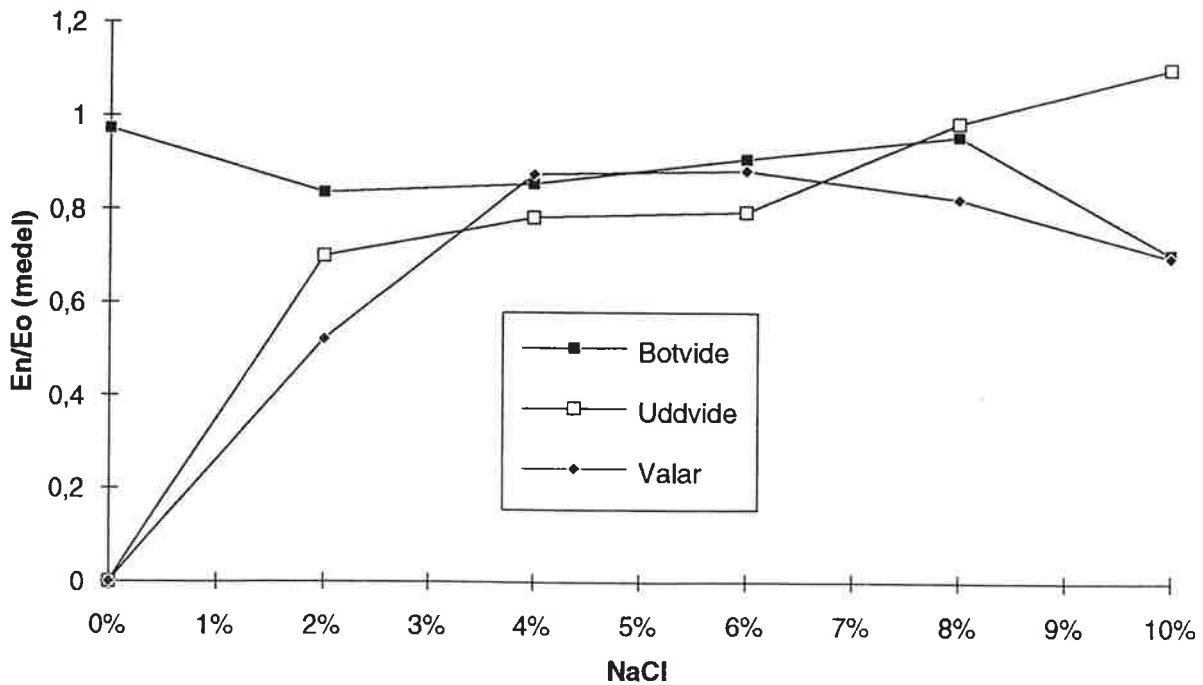
Figur 3. Förändring i dynamisk E-modul som funktion av saltkoncentrationen. Resultat från försök 1. E-modulen är mätt på våta provkroppar.



Figur 4. Förändring i dynamisk E-modul som funktion av saltkoncentrationen. Resultat från försök 2. E-modulen är mätt på våta provkroppar.



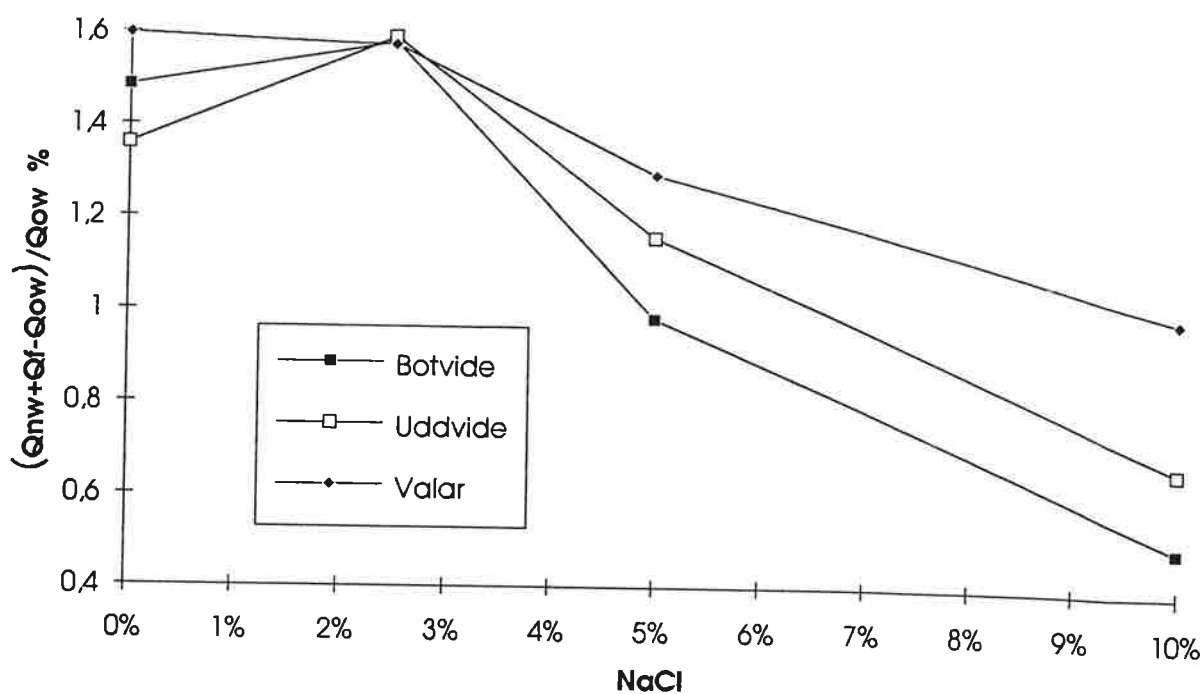
Figur 5. Förändring i dynamisk E-modul som funktion av saltkoncentrationen. Resultat från försök 2. E-modulen är mätt på torra provkroppar.



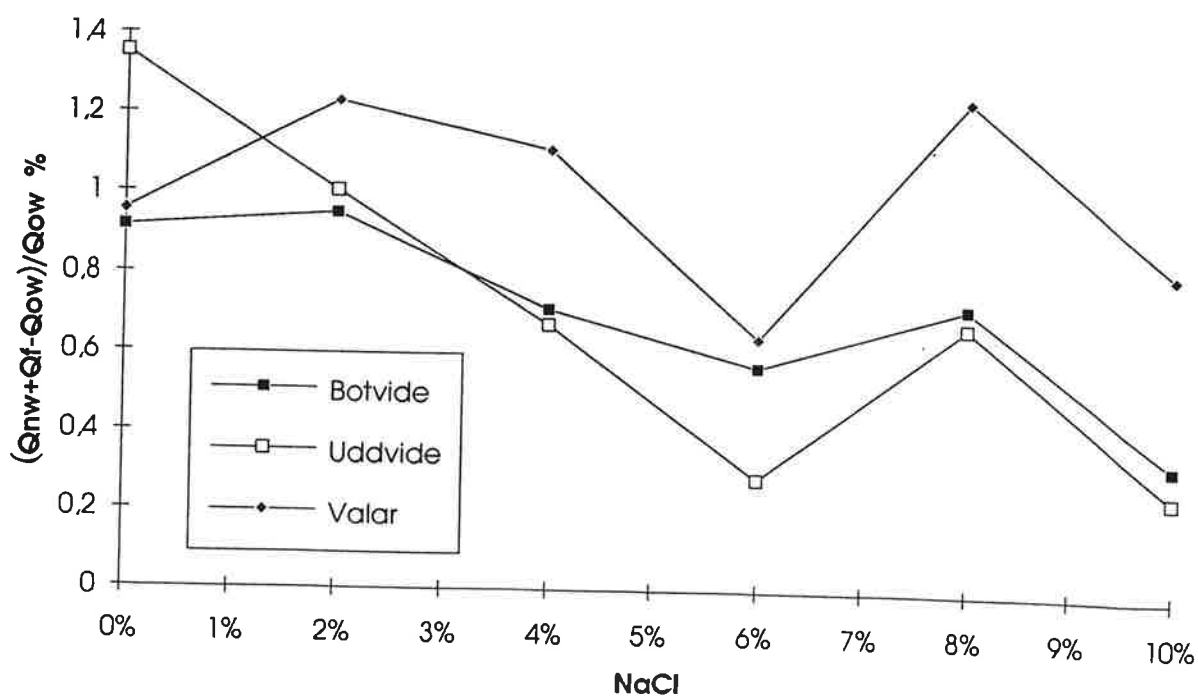
Figur 6. Medelvärdet på E-modulförändringen vid mätning på torra respektive våta provkroppar. Resultat från försök 2.

3.3 Mängden uppsugen lösning

I figurerna 7 och 8 visas mängden vatten eller saltlösning som sugits upp av stenbitarna under den tid de utsatts för fryscyklar. Värdena har inte kompenserats för fukten i de avflagnade fragmenten. Den verkliga insugningen är således något större. Uppsugningen av vatten är störst för försök 1. Detta beror sannolikt på att stenbitarna i försök 1 befunnit sig längre tid i flytande lösning och alltså haft längre tid på sig att suga vatten eller saltlösning. Figur 7, som visar resultatet från försök 1, visar att bortsett från salthalten 2 à 2,5 % är mängden uppsugen saltlösning mindre ju högre NaCl-koncentrationen är. En förklaring till detta kan vara att viskositeten ökar med saltkoncentrationen. Denna effekt är dock rätt liten. En annan orsak kan vara att de inre skadorna t ex volymökningen hos provkroppen minskar med ökande salthalt. Det finns därför mindre rum för inlagring av lösning. En tredje möjlig orsak är osmotiska effekter, t ex att salthalten inne i provet, på grund av att jontransporten i provet sker långsammare än vattentransporten, är lägre än salthalten i omgivande lösning. Tendensen till minskande vattenuppsugning med ökande saltkoncentration i omgivande lösning syns även i figur 8, men är inte lika tydlig. En ökning av insugningen har enligt figur 8 skett vid 8 % salt. I försök 1 användes inte denna salthalt.



Figur 7. Mängd uppsugen saltlösning under frystesten som funktion av saltkoncentrationen. Resultat från försök 1.



Figur 8. Mängd uppsugen saltlösning under frystesten som funktion av saltkoncentrationen. Resultat från försök 2.

3.4 Mängden inlagrat salt

Skillnaden mellan provbitarnas torra vikt före placering i saltlösning och efter frysning visar hur mycket salt som inlagrats. Denna skillnad visas som funktion av salthalten i figurerna 9 och 10. Som väntat inlagras mer salt ju högre saltoncentration omgivande lösning haft. Provbitarna i försök 1 (figur 9) har inlagrat mer salt än provbitarna i försök 2 (figur 10), vilket troligen beror på att de sugit upp mer saltlösning. De negativa värdena i figurerna kan antingen bero på ett vägfel eller på att torkningen var något mer fullständig före frysningen. Vikterna har kompenserats för det avflagnade materialet. De uppmätta viktändringarna överensstämmer relativt väl med de teoretiskt möjliga. Den maximalt möjliga viktökningen Q_{\max} fås ur förutsättningen av att inget salt fanns i porerna innan frysningen började och att vattnet i porerna hade samma salthalt som den omgivande lösningen när frysningen avslutades. Då fås

$$Q_{\max} = c \cdot V \cdot P \cdot S \cdot 1000$$

där

- c = saltkoncentrationen i lösningen (kg/kg)
- V = provets volym (m^3)
- P = provets porositet (m^3/m^3)
- S = vattenmättnadsgraden under frysningen (m^3/m^3)

Exempel: Uddvide sandsten

$$c = 0,10$$

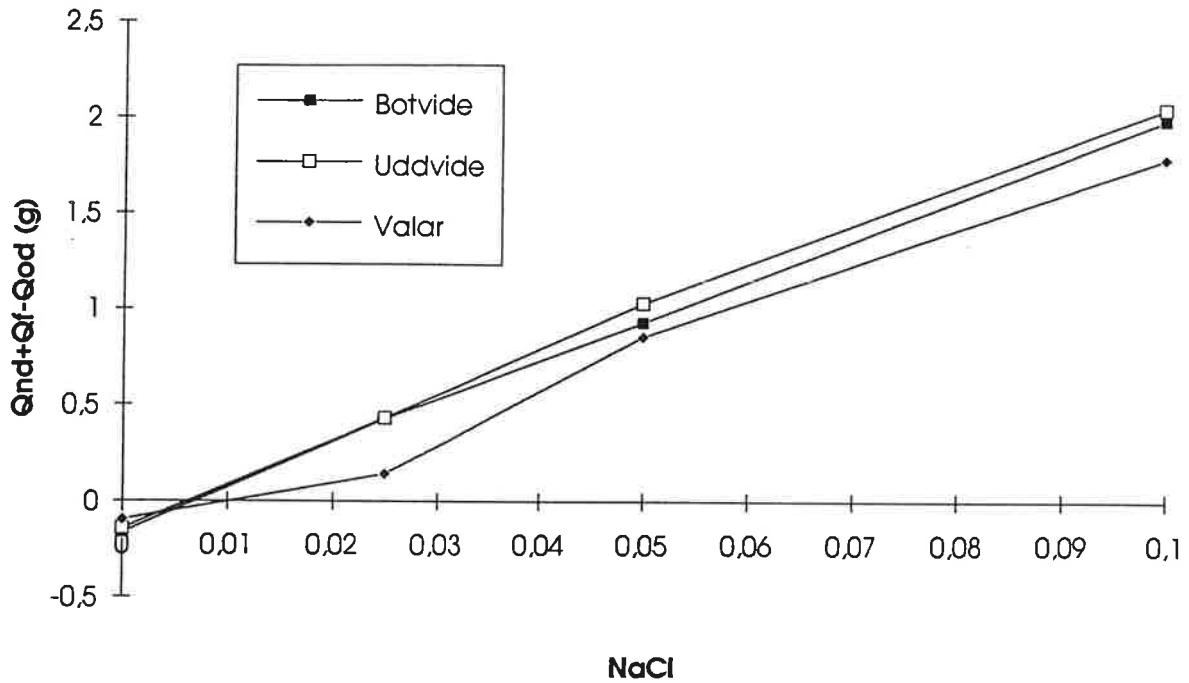
$$V = 1,08 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$P = 0,22 \text{ (Tabell 1)}$$

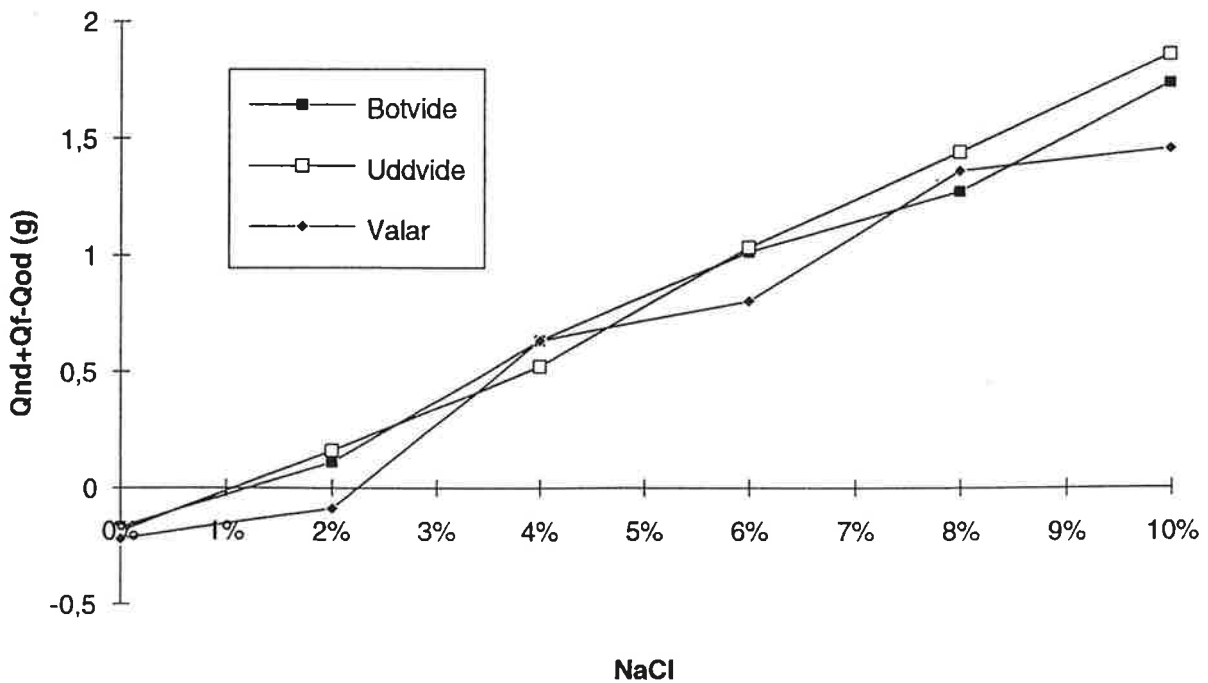
$$S = 0,70 \text{ (se Fagerlund & Wessman 1992)}$$

$$\text{Dvs } Q_{\max} = 0,0017 \text{ kg.}$$

Den uppmätta viktökningen är 0,002 kg. Detta visar att saltkoncentrationen inne i provet varit (minst) lika hög som saltkoncentrationen i omgivande lösning.



Figur 9. Mängd inlagrat salt i gram som funktion av saltkoncentrationen. Resultat från försök 1.



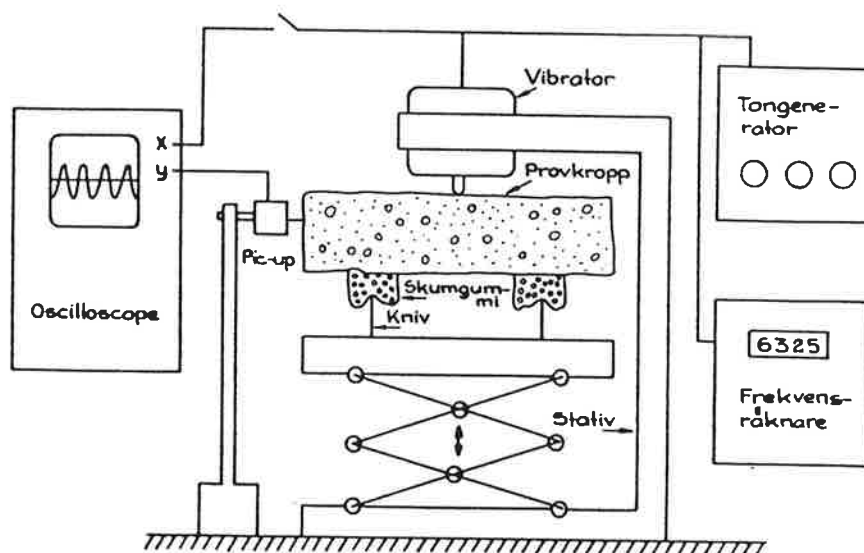
Figur 10. Mängd inlagrat salt i gram som funktion av saltkoncentrationen. Resultat från försök 2.

Referenser

1. Verbeck, G.J och Klieger, P. Studies of "Salt" Scaling of Concrete. Highway research board. Bulletin 150. 1957.
2. Fagerlund, G och Setzer, M. Freeze-thaw and De-icing Resistance of Concrete. RILEM Committee TC-117 FDC. Research seminar held in Lund, June 17, 1991.
3. Fagerlund, G. Kritiska vattenmättnadsgrader i samband med frysning av porösa och spröda material. Institutionen för byggnadsteknik, Lunds tekniska högskola. Rapport 34, 1972.
4. Pickett, G. Equations for Computing Elastic Constants from Flexural and Torsional Resonant Frequencies of Vibration of Prisms and Cylinders. Proc ASTM Vol 45, 1945
5. Fagerlund, G och Wessman L. Frostnedbrytning av natursten. Lägesrapport Mars 1992. Avdelning Byggnadsmaterial LTH. Rapport TVBM-3047, Lund, 1992.

Dynamisk E-modul

Förändringen i dynamisk E-modul har visat sig vara en bra metod att mäta inre skador pga frysning. Mätningen går till så att en provkropp sätts i transversell svängning med hjälp av en vibrator. På provkroppen monteras en sensor av något slag, t ex en grammofon-pic-up eller en accelerometer. Sensorns utslag avläses på ett oscilloskop. Se figuren nedan.



Apparatur för bestämning av dynamisk E-modul (Göran Fagerlund 1972). I försöken som beskrivs i denna rapport användes en accelerometer i stället för pic-up.

Vibratorns frekvens ökas succesivt tills kroppens egenfrekvens f uppnås. Detta avläses som ett maximalt utslag på oscilloscopet. Den dynamiska E-modulen E beräknas utifrån egenfrekvensen f enligt formeln nedan.

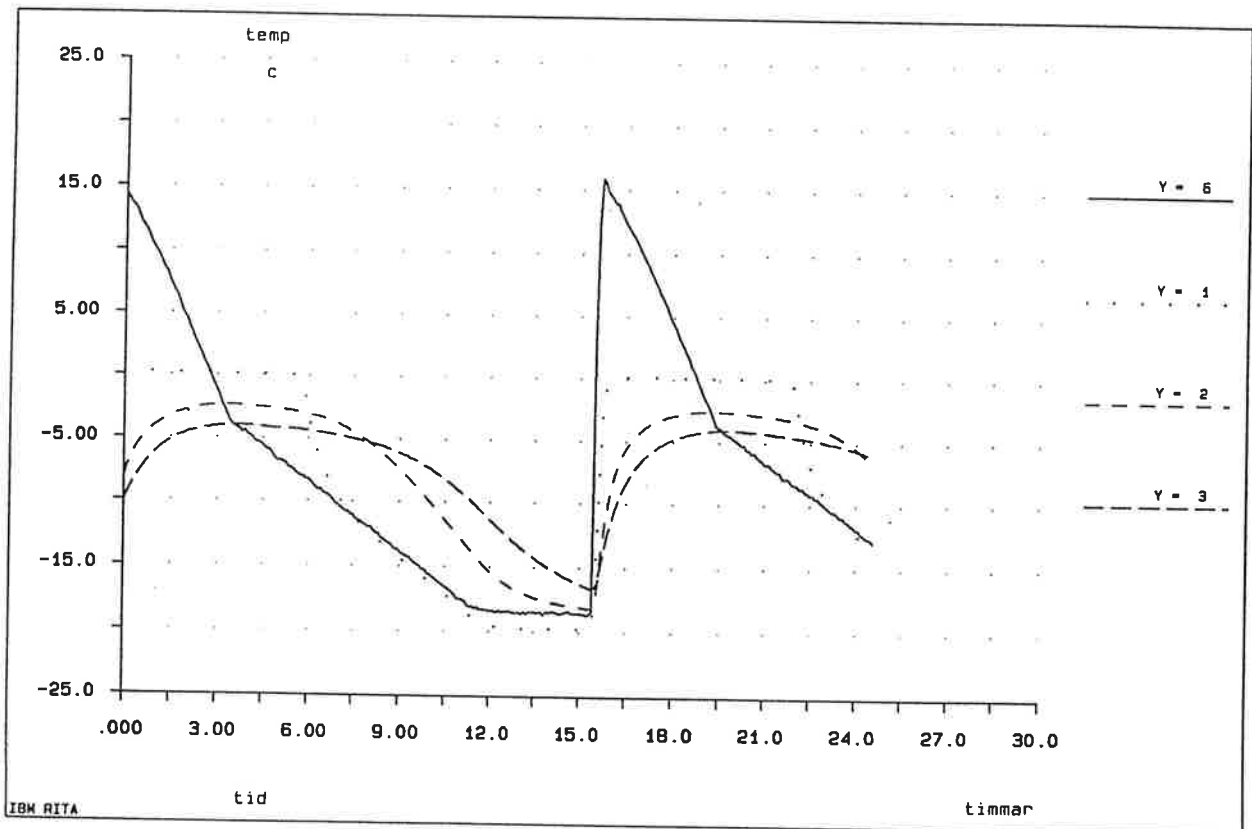
$$E = (f^2 * m * l^3 * T) / (I * C^2)$$

E	dynamisk E-modul
f	egenfrekvens
m	massa
l	längd
T	korrektionsfaktor som beror på provkroppens form och Poisson's tal. För en provkropp med dimensionerna 30 x 30 x 120 mm är $T = 1,38$ då Poisson's tal = 0,17 (Picket 1945).
I	ytttröghetsmomentet. För en rektangel är $I = (b \cdot h^3)/12$. I detta fall är $b = h = 30$ mm.
C	en konstant som beror på sättet för svängning. Vid grundtonen är $C = 3,56$ (Fagerlund 1972).

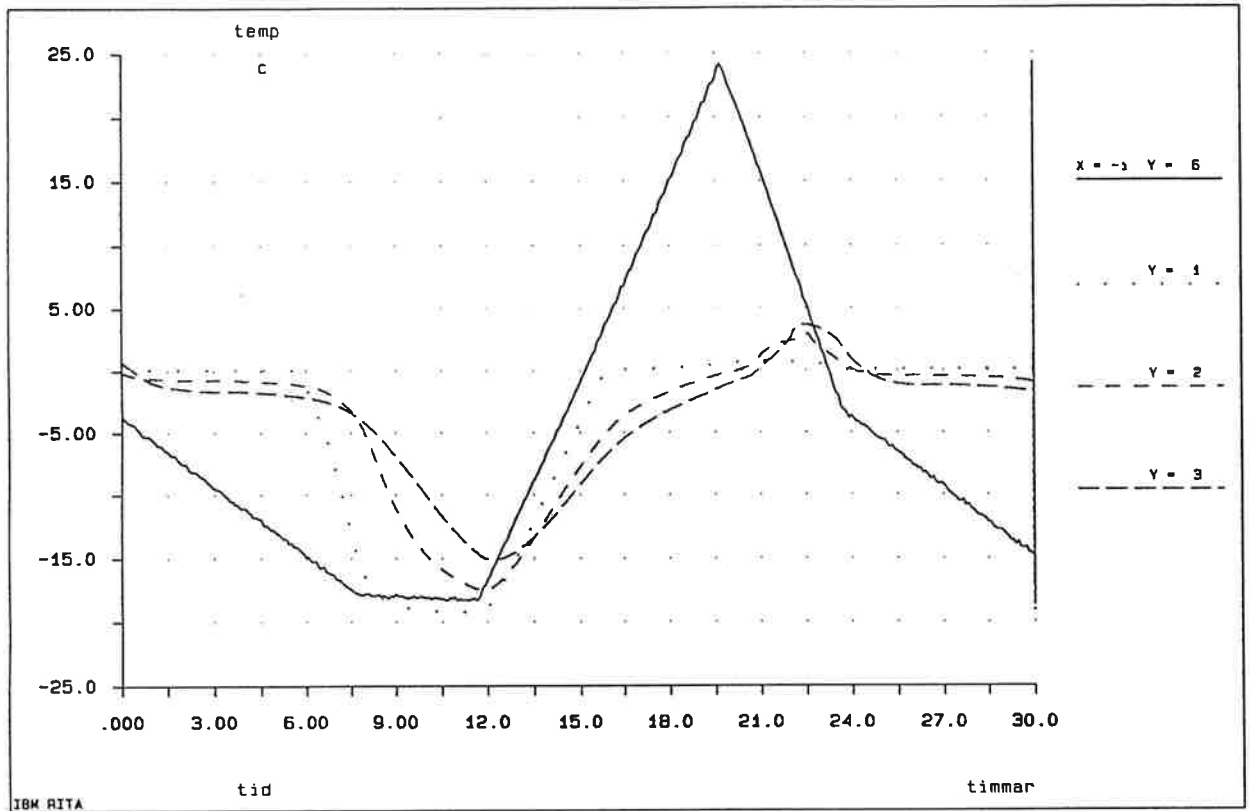
I denna undersökning har ingen hänsyn tagits till dimensionsförändringar som beror på ytavskalningar vid beräkning av den dynamiska E-modulen. En ytavskalning av 0,5 mm runt hela provkroppen minskar E-modulen med ca 12%. Ytavskalningarna var i flertalet fall betydligt mindre än så.

Fryszykler försök 1

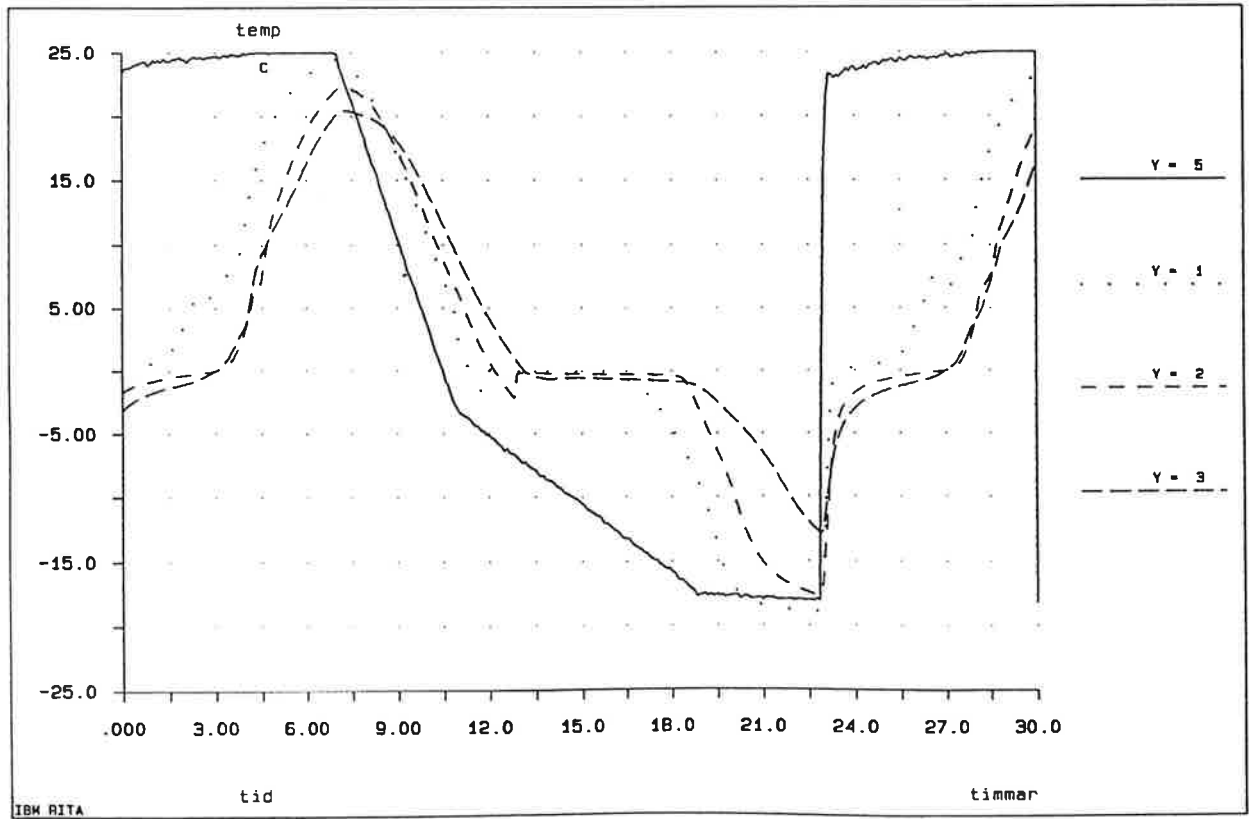
<u>kanal</u>	<u>stensort</u>	<u>NaCl</u>	<u>temperatur- registre- ringsdjup</u>
y=5 och y=6	lufttemperatur		
y=1	Valar	0%	3,1 cm
y=2	Botvide	2,5%	3,3 cm
y=3	Uddvide	5%	2,8 cm



Cykel 1 till 3. Observera att proverna inte hinner tina upp innan en ny nedfrysning sker.



Cykel 3 till 10.

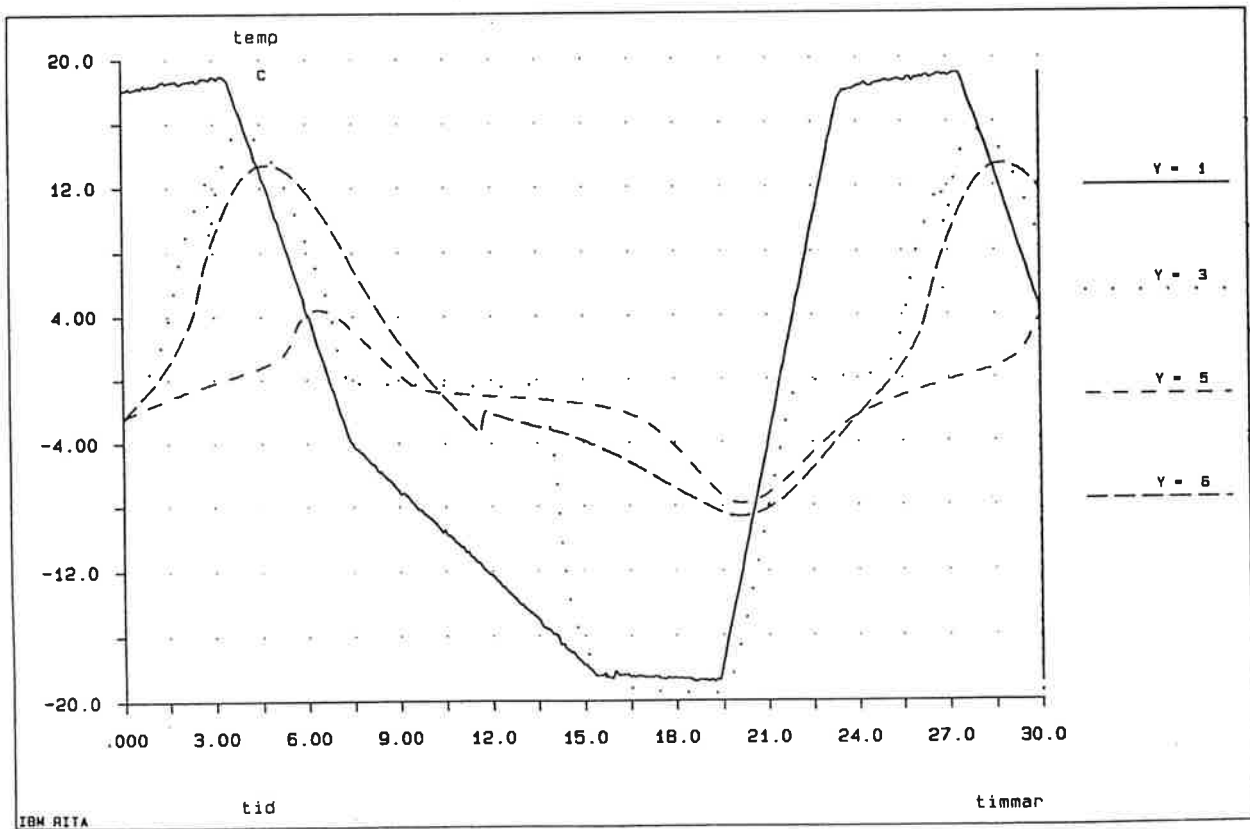


Cykel 11 till 20.

Fryszykel försök 2

<u>kanal</u>	<u>stensort</u>	<u>NaCl</u>	<u>temperatur- registre- ringsdjup</u>
y=1	lufttemperatur		
y=3	Botvide	0%	1,4 cm
y=5	Uddvide	6%	1,1 cm
y=6	Valar	10%	0,9

Provkropparna utsattes för nedanstående 24-timmars
fryszykel 7 gånger.



Saltfrys försök 1		FÖRE FRYSNING		EFTER FRYSNING			egen-	
sten	salthalt	torr vikt, Q _{od}	våt vikt, Q _{ow}	egenfrekvens/Hz f _{ow}	våt vikt, Q _{nw}	torr vikt, Q _{nd}	torr vikt "av- flagnat", Q _f	egen- frekvens/Hz f _{nw}
Botvide	0%	231,10	248,40	2577	251,40	230,25	0,69	2127
	2,50%	230,85	248,36	2710	249,20	228,19	3,09	2018
	5%	231,07	248,81	3430	249,30	230,04	1,95	2619
	10%	232,06	250,32	2765	251,00	233,48	0,56	2491
Uddvide	0%	231,03	247,56	2410	250,40	230,36	0,52	2139
	2,50%	231,91	249,78	2452	249,30	227,88	4,46	1898
	5%	230,94	249,56	2245	250,10	229,62	2,35	2246
	10%	226,68	244,59	2435	245,60	228,10	0,62	2311
Valar	0%	247,78	262,17	2986	265,90	247,22	0,46	3220
	2,50%	244,53	258,34	4161	247,20	229,46	15,21	2038
	5%	240,30	254,42	4322	246,20	229,64	11,51	3578
	10%	236,87	251,56	3941	248,10	232,70	5,96	3030
BERÄKNAT			inlagrad	uppsugen				
		total vikt	saltmängd	lösning				
sten	salthalt	Q _{nd} +Q _f	Q _{nd} +Q _f -Q _{od}	Q _{nw} +Q _f -Q _{ow}	E _o /GPa	E _n /GPa	E _n /E _o	
Botvide	0%	230,94	-0,16	3,69	4,60	3,17	0,69	
	2,50%	231,28	0,43	3,93	5,08	2,83	0,56	
	5%	232,00	0,93	2,44	8,16	4,77	0,58	
	10%	234,05	1,99	1,24	5,33	4,34	0,81	
Uddvide	0%	230,88	-0,14	3,37	4,01	3,19	0,80	
	2,50%	232,34	0,43	3,98	4,19	2,50	0,60	
	5%	231,97	1,03	2,89	3,51	3,52	1,00	
	10%	228,73	2,05	1,63	4,04	3,66	0,90	
Valar	0%	247,68	-0,10	4,19	6,52	7,69	1,18	
	2,50%	244,67	0,14	4,07	12,47	2,86	0,23	
	5%	241,15	0,86	3,29	13,25	8,79	0,66	
	10%	238,66	1,79	2,50	10,89	6,35	0,58	

Resultattabell. Alla vikter i tabellen är angivna i gram.
Beteckningar enligt sidan 4.

Saltfrys försök 2		FÖRE FRYSNING				EFTER FRYSNING				
sten	salthalt	torr vikt , Qod	våt vikt , Qow	egenfrekvens/Hz		våt vikt, Qnw	torr vikt, Qnd	torr vikt "av- flagnat", Qf	egenfrekvens/Hz	
				fod	fow				fnd	fnw
Botvide	0%	230,57	249,47	3375	3544	251,43	230,08	0,32	3667	3089
	2%	230,40	248,58	3529	3722	249,90	229,47	1,04	3431	3177
	4%	236,81	255,94	4336	3388	256,94	236,62	0,82	3945	3172
	6%	229,37	247,66	4357	2940	248,77	230,08	0,30	3792	3015
	8%	232,04	249,58	4244	3113	250,98	232,90	0,41	3643	3364
	10%	232,15	251,18	4254	3473	251,89	233,76	0,13	3958	2552
Uddvide	0%	233,98	253,45	4098	3531	255,79	232,71	1,09	0	0
	2%	232,91	252,37	4053	2846	252,34	230,50	2,57	3392	2395
	4%	230,31	249,91	4180	3208	250,54	229,78	1,05	4012	2574
	6%	231,86	251,49	4121	3315	252,00	232,68	0,21	4252	2394
	8%	233,01	251,59	4280	2955	252,18	233,34	1,11	3935	3131
	10%	232,46	251,81	3661	2867	252,31	234,18	0,14	3827	3015
Valar	0%	241,12	256,43	5574	4159	257,09	239,11	1,79	0	0
	2%	235,14	251,03	5758	4041	245,76	226,69	8,36	3941	3148
	4%	240,91	257,13	5843	4298	258,42	239,97	1,57	5898	3677
	6%	238,45	253,29	5553	3761	252,64	236,97	2,28	4865	3774
	8%	240,46	255,71	5813	3819	257,47	240,39	1,43	4996	3624
	10%	237,55	251,78	5601	4226	253,73	238,89	0,12	4612	3565

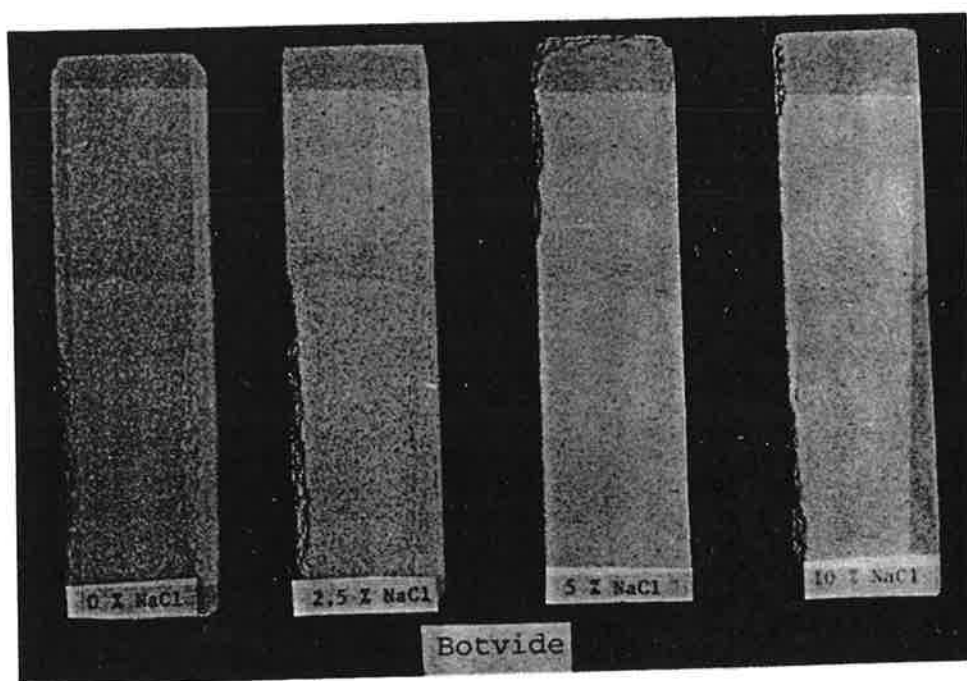
Tabellen fortsätter på nästa sida.

BERÄKNAT		inlagrad	uppsugen							
	total torr vikt	saltmängd	lösning							
salthalt	Qnd+Qf	Qnd+Qf-Qod	Qnw+Qf-Qow	Eod/Gpa	End/GPa	End/Eod	Eow/GPa	Enw/GPa	Enw/Eow	En/Eo(medel)
0%	230,40	-0,17	2,28	7,32	8,62	1,18	8,73	6,69	0,77	0,97
2%	230,51	0,11	2,36	8,00	7,53	0,94	9,60	7,03	0,73	0,84
4%	237,44	0,63	1,82	12,41	10,27	0,83	8,19	7,21	0,88	0,85
6%	230,38	1,01	1,41	12,14	9,22	0,76	5,97	6,30	1,06	0,91
8%	233,31	1,27	1,81	11,65	8,62	0,74	6,74	7,92	1,17	0,96
10%	233,89	1,74	0,84	11,71	10,21	0,87	8,45	4,57	0,54	0,71
0%	233,80	-0,18	3,43	10,95	0,00	0,00	8,81	0,00	0,00	0,00
2%	233,07	0,16	2,54	10,66	7,39	0,69	5,70	4,03	0,71	0,70
4%	230,83	0,52	1,68	11,22	10,31	0,92	7,17	4,63	0,65	0,78
6%	232,89	1,03	0,72	10,98	11,73	1,07	7,70	4,03	0,52	0,80
8%	234,45	1,44	1,70	11,90	10,07	0,85	6,12	6,89	1,13	0,99
10%	234,32	1,86	0,64	8,68	9,56	1,10	5,77	6,39	1,11	1,10
0%	240,90	-0,22	2,45	20,88	0,00	0,00	12,36	0,00	0,00	0,00
2%	235,05	-0,09	3,09	21,73	9,81	0,45	11,43	6,79	0,59	0,52
4%	241,54	0,63	2,86	22,93	23,27	1,01	13,24	9,74	0,74	0,88
6%	239,25	0,80	1,63	20,50	15,63	0,76	9,99	10,03	1,00	0,88
8%	241,82	1,36	3,19	22,65	16,73	0,74	10,40	9,43	0,91	0,82
10%	239,01	1,46	2,07	20,77	14,16	0,68	12,53	8,99	0,72	0,70

Tabellen är en fortsättning från föregående sida.

Skador på gotländska sandstenar efter frysning i
saltlösningar med olika koncentration.

Under frysningen stod stenarna i behållare med nedre delen på fotografierna nedåt. (Sandstenen Valar frusen i 2,5 % NaCl-lösning gick i två delar vid hantering efter frysningen.) Endast stenarna från försök 1 har fotograferats. Skadorna på stenarna från försök 2 var av samma slag men inte lika tydliga.



Skador på gotländska sandstenar efter frysning i
saltlösningar med olika koncentration.

