



Svensk Djupstabilisering  
Swedish Deep Stabilization Research Centre

## Rapport 2

# Kalktypens inverkan på stabiliserings- resultatet.

Förstudie

Helen Åhnberg  
Håkan Pihl

## **Svensk Djupstabilisering**

Svensk Djupstabilisering (SD) är ett centrum för forskning och utveckling inom djupstabilisering med kalk-cementpelare. Verksamheten syftar till att initiera och bedriva en branschsamordnad forsknings- och utvecklingsverksamhet, som ger säkerhetsmässiga, funktionsmässiga och ekonomiska vinster som tillgodoser svenska intressen hos samhället och industrin. Verksamheten baseras på en FoU-plan för åren 1996-2000. Medlemmar är myndigheter, kalk- och cementleverantörer, entreprenörer, konsulter, forskningsinstitut och högskolor.

Verksamheten finansieras av medlemmarna samt genom anslag från Byggforskningsrådet, Svenska byggbranschens utvecklingsfond och Kommunikationsforskningsberedningen.

Svensk Djupstabilisering har sitt säte vid Statens geotekniska institut (SGI) och leds av en styrgrupp med representanter för medlemmarna.

Ytterligare upplysningar om verksamheten lämnas av SD:s projektledare Göran Holm, tel: 013-20 18 61, 070-521 09 39, fax: 013-20 19 13, e-mail: holm@geotek.se

## **Swedish Deep Stabilization Research Centre**

The Swedish Deep Stabilization Research Centre coordinates research and development activities in deep stabilization of soft soils with lime-cement columns. A joint research programme based on the needs stated by the authorities and the industry is being conducted during the period 1996 - 2000. Members of the Centre include authorities, lime and cement manufactures, contractors, consultants, research institutes and universities.

The work of the Swedish Deep Stabilization Research Centre is financed by its members and by research grants.

The Swedish Deep Stabilization Research Centre is located at the Swedish Geotechnical Institute and has a Steering Committee with representatives chosen from among its members.

Further information on the Swedish Deep Stabilization Research Centre can be obtained from the Project Manager, Mr G Holm, tel: +46 13 20 18 61, fax: +46 13 20 19 13 or e-mail: holm@geotek.se



**Svensk Djupe Stabilisering**  
Swedish Deep Stabilization Research Centre

## **Rapport 2**

# Kalktypens inverkan på stabiliseringsresultatet

FÖRSTUDIE

Helen Åhnberg  
Håkan Pihl

Linköping 1997

<b>Rapport</b>	Svensk Djupstabilisering c/o Statens geotekniska institut 581 93 Linköping
Beställning	Tel: 013-20 18 62 Fax: 013-20 19 13 E-post: <a href="mailto:sussyl@geotek.se">sussyl@geotek.se</a>
ISSN	1402-2036
ISRN	SD-R--97/2--SE
Upplaga	400
Tryckeri	Roland Offset AB, Linköping, nov 1997

# Förord

Inom Svensk Djupstabilisering (SD) kommer omfattande forskning att bedrivas om olika egenskaper hos stabiliserad jord. I SD:s delprojekt 2.1 ”Parametrar som påverkar stabiliserad jords egenskaper” kommer undersökningar att utföras både i laboratorium och i fält om hur egenskaperna påverkas av en mängd olika faktorer. Som en förstudie till kommande projekt inom ämnesområdet har Partek Nordkalk AB på uppdrag av Svenska Kalkföreningen initierat och i samarbete med Statens geotekniska institut (SGI) utfört undersökningar rörande kalktypens inverkan på stabiliseringsresultatet.

Rapporten är kommer att vara underlag för uppläggning av fortsatta försök om stabiliserad jords egenskaper.

Linköping februari 1997

*Helen Åhnberg*, SGI      *Håkan Pihl*, Partek Nordkalk AB

*Leif Pettersson*, ordf i Svensk Djupstabilisering



# Innehåll

<b>Förord</b>	
<b>Summary</b> .....	6
<b>Sammanfattning</b> .....	8
<b>1. Inledning</b> .....	10
<b>2. Undersökningar</b> .....	12
<b>3. Kalktyper</b> .....	14
<b>4. Jordar</b> .....	17
<b>5. Provning av stabiliserad jord</b> .....	19
5.1 Provningsmetod	
5.1.1 Provberedning	
5.1.2 Provningsprogram	
5.2 Resultat	
5.2.1 Densitet och vattenkvot	
5.2.2 Hållfasthet enligt enaxliga tryckförsök	
5.3 Bedömning av inverkan på stabiliseringsresultatet	
5.3.1 Provningsmetod	
5.3.2 Typ av jord	
5.3.3 Typ av kalk	
<b>6. Slutsatser och rekommendationer</b> .....	30
<b>Referenser</b> .....	32
<b>Bilagor</b> .....	33

# Summary

**P**reliminary investigations of the influence of the type of quicklime on stabilisation results have been conducted as a pilot study by Svensk Djupstabilisering (the Swedish Deep Stabilisation Research Centre). The investigations were performed in the laboratory and comprised tests on eight types of lime in two different clays.

**The pilot study shows** that the type of lime used can be of major importance for the stabilisation result even when the differences in properties such as degree of calcination, grain size, CaO content, etc. are relatively small.

**Seven types of lime** were obtained from different locations in Sweden and one type from Poland. The Swedish types came from Köping, Rättvik, Boda and Landskrona. They were of varying coarseness and degree of calcination. Analysis of various properties of the lime did not reveal any significant differences between them. One of the types of lime showed somewhat poorer reactivity than the others. This lime had been handled in a different way compared to the other types prior to the tests in this study.

**The way in which the lime is handled** is very important for the stabilisation result. This applies both in the laboratory and the field. Investigations were made of the effects of storing lime with varying degrees of exposure to air in the laboratory. After only one week, lime stored in open containers showed a decrease in reactivity (measured as slaking heat) of approximately 33% compared with storage in a closed container. After seven weeks, the measured slaking heat was less than 10% compared with lime stored in a closed container. Effects of incorrect handling were also seen in the results of the tests with one of the types of lime which had been excessively exposed to air during delivery from a workplace in the field.

**The tested soils** consisted of a clay from Mellösa, north of Stockholm, and another from Tuve, north of Gothenburg. The clays displayed similar geotechnical properties, grain size and chemical composition. The clay from Tuve was



salter and had a somewhat larger specific surface. Higher contents of potassium and sodium ions were also observed in this clay.

**Pure lime** in a quantity of 90 kg/m<sup>3</sup> were generally used in the project. A few comparative tests were also performed with lime-cement.

**The tests were performed** as double tests after 28 and 91 days. The strength of the mixes was determined by unconfined compression test. Determinations of water content and density were performed mainly to obtain an indication of more pronounced differences between the specimens.

**In the case of differences between the types of lime**, there are numerous factors exerting an influence both independently and interactively. Comparisons of various properties of the lime and observed values of shear strength revealed no certain relationships, but showed indications of a number of possibly influential factors. An estimate of the magnitude of the influence was made, regardless of the dispersion in the results. This indicated major influence from the content of calcium oxide. The content of active CaO is reflected in turn by other properties such as reactivity and CO<sub>2</sub> content of the lime. Other factors considered to be highly influential were specific surface and silicate content.

**Large differences in final strength** were observed for the two clays. The shear strength of stabilised Tuve clay was on average about 10 times higher than that of stabilised Mellösa clay. The results from the tests on stabilised clay from Mellösa showed relatively clear differences in strength between the various types of lime. Differences in effect between the different types of lime were also observed for the stabilised clay from Tuve. However, the differences between the types of lime used were relatively small. The lime that was handled incorrectly before delivery to the laboratory produced a clearly inferior result compared to the other types. The type of clay that was stabilised influenced the result not only regarding the level of strength achieved and the variation, but also the types of lime that produced the best result. The three types of lime producing the best result in the clay from Tuve were less effective in the clay from Mellösa.

# Sammanfattning

**S**om en förstudie inom Svensk Djupstabilisering har orienterande undersökningar utförts om kalktypens inverkan på stabiliseringseffekten i olika leror. Undersökningarna, som utförts i laboratorium, har omfattat provning av åtta olika typer av kalk i två olika leror.

**Förstudien visar** att typen av kalk som används kan ha stor betydelse för stabiliseringsresultatet även då skillnaderna i egenskaper som bränningsgrad, kornstorlek, CaO-halt m m är relativt små.

**Sju av kalktyperna** kom från olika platser i Sverige och en kalk kom från Polen. De svenska kalktyperna kom från Köping, Rättvik, Boda och Landskrona. Kalktyperna var av varierande grovlek och bränningsgrad. Utförda analyser av olika egenskaper hos kalken visade inte på några större skillnader mellan de olika kalktyperna. En av kalktyperna särskilde sig något från övriga och uppvisade sämre reaktivitet. Denna kalk hade hanterats annorlunda än övriga kalktyper före provningarna i denna studie.

**Hanteringen av kalk** är mycket viktig för stabiliseringsresultatet. Detta gäller i laboratoriet såväl som i fält. Undersökningar utfördes av effekter av lagring av kalk med olika tillgång till luft på laboratoriet. Lagring av kalk i behållare utan lock medförde redan efter en vecka att reaktiviteten i form av uppmätt släckningsvärme minskade med ca en tredjedel jämfört med vad som erhöles vid lagring med lock. Efter sju veckor var uppmätt släckningsvärme mindre än 10 % av den som erhöles från kalk som lagrats med lock. Effekter av felaktig hantering visade sig också i resultaten av försöken med en av kalktyperna som i samband med leverans från en arbetsplats i fält kommit i alltför stor kontakt med luft.

**Jordarna som provades** var lera från Mellösa, norr om Stockholm, och från Tuve, norr om Göteborg. Lerorna hade likartade geotekniska egenskaper och skillnaderna var inte heller så stora vad gäller kornstorlek och kemiskt innehåll. Tuveleran var saltare och hade en något högre specifik yta. Det kunde också noteras ett betydligt högre innehåll av kalium- och natriumjoner i Tuveleran.

**Inblandningar med ren kalk** utfördes huvudsakligen i en mängd motsvarande 90 kg/m<sup>3</sup>. Några jämförande försök utfördes också med kalk-cement.

**Provningar utfördes efter** 28 och 91 dygn i form av dubbelprovning. Hållfastheten hos blandningarna undersöktes genom enaxliga tryckförsök. Bestämning av vattenkvot och densitet utfördes främst för att få en indikation på eventuella mer markanta skillnader mellan provkroppar.

**När det gäller skillnader mellan olika kalktyper** finns det en mängd olika faktorer som kan inverka, både enskilt och i samverkan med varandra. Utförda jämförelser mellan olika egenskaper hos kalken och uppmätta värden på skjuvhållfasthet visade inte på några säkra samband, men gav dock indikationer på en rad faktorer som kan inverka. En uppskattning av storleken på inverkan, oberoende av spridningen i resultat visade på stor inverkan av halten av CaO-aktiv. Halten CaO-aktiv återspeglas i sin tur i andra egenskaper som släckningsreaktivitet och halt CO<sub>2</sub> hos kalken. Andra faktorer som kan ha relativt stor inverkan var BET-yta och silikatinnehåll.

**Stora skillnader i uppnådd hållfasthetsnivå** kunde noteras för de två lerorna. Skjuvhållfastheten hos stabiliserad Tuvelera var i medeltal ca 10 gånger högre än den hos stabiliserad Mellösälara. Resultaten från provningarna av stabiliserad Mellösälara visade att markanta skillnader i hållfasthet uppnåddes med de olika kalktyperna. Även för den stabiliserade Tuveleran kunde skillnader i effekt noteras mellan de olika kalktyperna. Skillnaderna var dock relativt små mellan de använda kalktyperna. Den kalk som hanterats felaktigt före leverans till laboratoriet, gav klart sämre resultat än övriga. Typen av lera som stabiliserades inverkade på resultatet inte bara beträffande vilken hållfasthetsnivå som uppnåddes och hur stor variationen var, utan också vilka kalktyper som gav bäst resultat. De tre kalktyper som gav bäst effekt i Tuveleran gav sämre effekt i Mellösälaran.

# I. Inledning

Syftet med detta projekt har varit att visa i vilken utsträckning typen av kalk kan inverka på stabiliseringseffekten i olika leror. Vidare har eftersträvat att få en indikation på vilka egenskaper hos kalken som har stor betydelse för resultaten. Beroende på utfallet av försöken skulle eventuella behov av förändringar av dagens kravspecifikationer för kalk- och kalk-cementpelarförstärkningar kunna belysas.

I Sverige har osläckt kalk använts som stabiliseringsmedel under drygt tjugo års tid för djupstabilisering av jord, främst olika typer av lös lera. Kravspecifikationer för kalken utarbetades ursprungligen i enlighet med erfarenheter från användning av kalk vid ytstabilisering (Assarsson, 1977, Hellman & Holm, 1978). De idag normalt använda kravspecifikationerna för stabiliseringsmedel (Carlsten & Ekström, 1996) skiljer sig inte nämnvärt från de tidigare använda. Något modifierade krav gäller dock för cement som stabiliseringsmedel.

För kalk som används för djupstabilisering i Sverige, anges normalt följande krav

- osläckt kalk
- CaO-halt > 80 %
- hårdbränd
- kornstorlek 0-0,2 mm
- flytbarhet > 70

De första åren användes nästan uteslutande kalk från en och samma leverantör, nämligen Köping. Denna kalk visade sig fungera bra både hållfasthetsmässigt i jorden och produktionstekniskt vid tillverkning av pelare. Idag, när kalk levereras från flera producenter inom landet och även till viss grad importerats för djupstabiliseringsändamål, har det blivit angeläget att öka kunskapen om stabiliseringseffekt hos olika typer av kalk.

I Svensk Djupstabiliserings projektplan för delprojekt 2.1 "Parametrar som påverkar stabiliserad jords egenskaper" anges att undersökningar bör utföras både i laboratorium och i fält av hur dessa egenskaper påverkas av en mängd olika faktorer. Som en förstudie inom Svensk Djupstabilisering har nu orienterande undersökningar utförts om kalktypens inverkan på stabiliseringsresultatet. Undersökningarna som utförts i laboratorium har omfattat stabilisering med åtta olika typer av kalk.

## 2. Undersökningar

Undersökningarna har omfattat stabilisering med åtta olika kalktyper i två olika typer av svensk lera. Stabiliseringseffekten i de olika blandningarna har mätts genom hållfasthetsprovning vid två tidpunkter efter inblandning. Undersökningarnas olika delar visas i *Figur 1*.



**Figur 1. Försöksuppläggning.**

**Figure 1. Plan of the tests.**

Inledningsvis utfördes undersökningar av de olika kalktypernas egenskaper respektive jordarnas egenskaper. På varje typ av kalk utfördes följande analyser:

- Kornstorleksfördelning
- Specifik yta
- Släckningsreaktivitet
- Glödningsförlust
- Kemisk analys
- Tungmetallinnehåll

Lerorna analyserades med avseende på

- Geotekniska basparametrar, dvs benämning, vattenkvot, flytgräns, skjuvhållfasthet, sensitivitet
- Organisk halt, sulfidhalt, salthalt, pH, karbonathalt, jonutbyteskapacitet, lerhalt, specifik yta

I projektet utfördes bestämning av vattenkvot, sulfidhalt, salthalt och jonbyteska-

pacitet. Övriga uppgifter om lerorna togs från tidigare undersökningar av Åhnberg m fl (1995).

Inblandning utfördes med en mängd kalk motsvarande ca 90 kg/m<sup>3</sup>. Hållfasthetsprovning i form av enaxliga tryckförsök utfördes 28 och 91 dygn efter inblandning.

Ett begränsat antal inblandningar och provningar utfördes med kalk-cement för att få en uppfattning om hur stor inverkan kalktypen har för resultatet jämfört med cementen. Typen av kalk som användes för blandningarna med kalk-cement valdes på basis av resultaten av 28 dygns-provningar av ren kalk och lera. Dels valdes kalktyper som givit låg respektive hög hållfasthet för att se om skillnaden blir proportionellt lika stor också tillsammans med cement, dels kalktyper som givit ungefär lika hög hållfasthet för att se om skillnaden blir liten också för blandningar kalk-cement.

### 3. Kalktyper

Kalk togs från följande platser

<i>Kalktyp</i>	<i>Leverantör</i>	<i>Benämning</i>
Köping, 4 typer	Nordkalk	K1 - K4
Rättvik och Boda, 2 typer	Svenska Mineral	K5, K6
Landskrona, 1 typ	Nordkalk	K7
Polen, 1 typ	genom LC Markteknik	K8

Från Köping togs kalk med olika bränningsgrad, hårdbränd respektive lösbränd kalk, och olika kornstorlek, finmald respektive grovmald. Dessa kalktyper benämndes K1-hf, K2-hg, K3-lf och K4-lg i undersökningarna <sup>1)</sup>. Från Rättvik och Boda togs finmald kalk med olika bränningsgrad, hårdbränd respektive lösbränd kalk, i undersökningarna benämnda K5-hf och K6-lf.

Bränningsgrad hos kalk CaO är ett uttryck för hur väl koldioxiden CO<sub>2</sub> drivits ur kalkstenen, dvs kalciumkarbonaten CaCO<sub>3</sub> (SS 13 40 11). En kalk med låg restkoldioxidhalt säges vara hårdbränd och på omvänt sätt har en lösbränd kalk högre restkoldioxidhalt. Samtidigt innefattar begreppen hård- respektive lösbränd kalk ett mått på kalkens reaktivitet. Ju hårdare kalken bränns desto högre blir dess specifika vikt och i motsvarande grad sjunker porositeten. Detta leder till att reaktiviteten sjunker. Kalkens reaktivitet mäts oftast som släckningsreaktivitet, vilken mäts i försök där 150 gram osläckt kalk blandas i 600 ml vatten i ett Dewar kärl (SS 13 40 03). Vid försöket mäter man släckningsprocessens reaktionsvärme som funktion av tiden. Ju snabbare och högre värmeutveckling desto reaktivare kalk.

Begreppen hård- och lösbränd kalk är relativa. Det finns ingen etablerad definition för de numeriska gränserna för dessa uttryck.

---

<sup>1)</sup> Tilläggsbenämningarna *h*, *l*, *g* och *f* för kalkerna står för hård- och lösbränd samt *fin*- och grovmald kalk, jämför Tabell 4 och 5.



Den för stabiliseringsreaktioner intressanta andelen kalk är den som förekommer som kalciumoxid. Denna kallas CaO-aktiv. Kalcium bundet i karbonat- eller silikatform är i regel inte tillgänglig för de kemiska reaktionerna.

Släckningskurvorna för de olika kalktyperna visade på maximal värmeutveckling ( $dT_{\max}$ ) av 49 - 59 °C. Störst och snabbast värmeutveckling gav den lösbrända kalken K6 medan kalk K8 uppvisade minst värmereaktion, troligtvis beroende på en felaktig hantering av kalken före provning, jämför sid 27 och *Figur 8*. Samtliga släckningskurvor visas i Bilaga 1.

De olika kalktyperna var mellangraderade med värden på  $d_{50}$  mellan 0,005 och 0,019 mm. Kornfördelningskurvor (SS-ISO 2591-1) för de olika kalktyperna visas i Bilaga 2.

Karakteristiska egenskaper hos de olika kalktyperna framgår av *Tabell 1*. Några stora skillnader i egenskaper mellan de olika kalktyperna kan inte noteras. Den enda kalken som avviker mer märkbart från de övriga är K8, där uppmätta

**Tabell 1. Kalkegenskaper. / Table 1. Lime properties.**

	<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>	<b>K4</b>	<b>K5</b>	<b>K6</b>	<b>K7</b>	<b>K8</b>
	<i>hårdbr.</i>	<i>hårdbr.</i>	<i>lösbr.</i>	<i>lösbränd</i>	<i>hårdbr.</i>	<i>lösbr.</i>		
	<i>finmald</i>	<i>grovmald</i>	<i>finmald</i>	<i>grovmald</i>	<i>finmald</i>	<i>finmald</i>		
<b>CaO-total %</b>	93,8	94,0	92,7	92,4	95,5	95,3	93,4	93,1
<b>CaO-aktiv %</b>	91,8	91	90,3	89,1	93,8	93,4	90,9	88
<b>SiO<sub>2</sub> %</b>	1,71	1,8	1,4	1,48	1,69	1,37	1,38	1,24
<b>TiO<sub>2</sub> %</b>	0,043	0,035	0,036	0,039	0,029	0,018	0,035	0,021
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b>	0,93	0,98	0,75	0,78	0,57	0,49	0,76	0,4
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b>	0,4	0,43	0,39	0,4	0,25	0,24	0,3	0,57
<b>MgO %</b>	1,85	1,95	1,63	1,67	0,78	0,73	1,67	1,05
<b>K<sub>2</sub>O %</b>	0,04	0,04	0,22	0,23	0,05	0,13	0,17	0,02
<b>Na<sub>2</sub>O %</b>	0,01	<0,01	0,02	0,02	<0,01	<0,01	0,02	0,01
<b>MnO %</b>	0,047	0,054	0,081	0,094	0,164	0,173	0,027	0,031
<b>P %</b>	0,008	0,009	0,007	0,007	0,014	0,009	<0,005	0,013
<b>S %</b>	0,02	0,02	0,09	0,09	0,02	0,05	0,05	0,06
<b>CO<sub>2</sub> %</b>	0,52	0,48	1,7	1,7	0,24	0,44	1,3	3,05
<b>Cl- %</b>	<0,01	<0,01	0,06	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
<b>fukt %</b>	0,19	0,21	0,15	0,12	0,07	0,08	0,12	0,2
<b>glödgr.förl %</b>	0,73	0,65	2	2	0,24	0,6	1,4	3,5
<b>BET-yta m<sup>2</sup>/g</b>	1,68	1,45	1,46	1,36	1,4	1,55	1,36	0,91
<b>BET Ca(OH)<sub>2</sub></b>	33,4	33,1	28,4	27,7	37,1	34,7	31,6	28,2
<b>d<sub>50</sub> mm</b>	0,014	0,019	0,010	0,010	0,005	0,005	0,008	0,019
<b>dT-max °C</b>	54,3	53,2	52,9	52,3	57,2	59,4	54,3	49,4

värden är de lägsta eller högsta i över hälften av de olika analyserna. Den lägre halten av CaO-aktiv liksom högre halt CO<sub>2</sub> och glödningsförlust hos kalken K8 ger antydning om att provet hanterats felaktigt. I Bilaga 3 visas samtliga analysresultat med också uppmätt tungmetallinnehåll. Uppmätt innehåll av tungmetaller i de olika kalktyperna ligger väl under de gränsvärden som anges för t ex avfalls-  
slam för användning inom åkerbruk (SNV/LRV/VAV, 1995).

## 4. Jordar

Två typer av lera användes för försöken. Lerorna, som hade likartade geotekniska egenskaper, togs från följande platser

- Västkustlera (salt) från Tuve.
- Mälardalslera från Lilla Mellösa.

Leran från Tuve hade samma densitet som leran från Mellösa, men var något mer plastisk och hade en något högre hållfasthet. Lerornas geotekniska egenskaper framgår av *Tabell 2*.

**Tabell 2. Försöksjordarnas geotekniska egenskaper.**

**Table 2. Geotechnical properties of the test soils.**

	<b>densitet</b> <b>(<math>t/m^3</math>)</b>	<b>w<sub>p</sub></b> <b>(%)</b>	<b>w<sub>N</sub></b> <b>(%)</b>	<b>w<sub>L</sub></b> <b>(%)</b>	<b><math>\tau_{fi}</math></b> <b>(kPa)</b>	<b>S<sub>t</sub></b>
<b>Mellösa</b>	1,55	25	78	70	15	18
<b>Tuve</b>	1,55	28	87	80	20	12

Ett antal undersökningar utfördes också beträffande lerornas uppbyggnad och olika kemiska egenskaper, se *Tabell 3*. Några större skillnader mellan de två lerorna föreligger inte. Den specifika ytan och salthalten hos leran från Tuve är högre än den från Mellösa, men i övrigt är skillnaderna mellan lerornas halt av organiskt material, sulfid och karbonat låga i absoluta tal. Uppmätt värde på aktivitetstalet  $a_c$  och på katjonutbyteskapaciteten är något högre hos leran från Tuve. Aktivitetstalet, som är ett mått på hur plasticitetsindex ökar med ökande lerhalt, ger en indikation på typen av dominerande lermineral, i de här fallen illit. Innehållet utbytbart natrium, kalium och magnesium är betydligt högre i Tuve-leran, medan det omvända gäller för kalcium.

**Tabell 3a. Försöksjordarnas uppbyggnad och kemiska egenskaper.**

**Table 3 a. Composition and chemical properties of the test soils.**

	organisk halt (%)	klorid- halt	sulfid- halt (%)	karbonat- halt (%)	pH  (%)	lerhalt  (%)	BET-yta  (m <sup>2</sup> /kg)	a <sub>c</sub>
<b>Mellösa</b>	1,3	0,7	0,1	3	7,4	65	29600	0,7
<b>Tuve</b>	1,5	1	0,05	1	7,7	70	43700	0,75

**b. Försöksjordarnas joninnehåll.**

**b. Ion content of the test soils.**

	jonbytes- kapacitet (cmol+/kg)	Na (utbytbar) (cmol+/kg)	K (utbytbar) (cmol+/kg)	Ca (utbytbar) (cmol+/kg)	Mg (utbytbar) (cmol+/kg)
<b>Mellösa</b>	14,2	6,70	1,23	8,98	4,11
<b>Tuve</b>	15,5	21,8	6,65	3,63	7,90

# 5. Provning av stabiliserad jord

## 5.1 PROVNINGSMETODER

### 5.1.1 Provberedning

Kalken skickades från respektive leverantör ca 1 vecka innan inblandningsförsöken påbörjades. Kalken förvarades i väl förslutna behållare i laboratorium. Vid användning av kalk från öppnad förpackning för tillverkning av prover med kalkcement, skrapades övre skiktet bort, då det stått orört en månad.

Provtillverkning utfördes av en och samma person. Inblandning och packning av provkroppar utfördes i enlighet med SGF:s förslag till laboratorieanvisningar (Carlsten & Ekström, 1995). Stabiliserade prover lagrades i ett gemensamt utrymme i rumstemperatur.

### 5.1.2 Provningsprogram

Provningarnas omfattning och provbeteckningar för de olika blandningarna med kalk och lera visas i *Tabell 4*. Vid varje provningstillfälle utfördes hållfasthets-

**Tabell 4. Provning med olika typer av kalk.**

**Table 4. Tests with different types of lime.**

Kalk	Brännings- grad	Korn- storlek	Blandning Mellösa	Blandning Tuve	Provn.tillfälle (dygn)
K1	hårdbränd	finmald	M-K1hf	T-K1hf	28,91 <sup>*)</sup>
K2		grovmald	M-K2hg	T-K2hg	28,91
K3	lösbränd	finmald	M-K3lf	T-K3lf	28,91
K4		grovmald	M-K4lg	T-K4lg	28,91
K5	hårdbränd	finmald	M-K5hf	T-K5hf	28,91 <sup>*)</sup>
K6	lösbränd	finmald	M-K6lf	T-K6lf	28,91
K7			M-K7	T-K7	28,91
K8			M-K8	T-K8	28,91

<sup>\*)</sup> Provning av blandning Mellösa vid 94 dygn istället för 91 dygn.

provning i form av enaxliga tryckförsök samt bestämning av densitet och vattenkvot hos proverna. Provningarna utfördes som dubbelprovningar, dvs två provkroppar av varje typ provades vid varje provningstillfälle. Provningarna utfördes vid 28 dygn och 91 dygn, utom i två fall där provning utfördes vid 94 dygn istället för 91 dygn. Enstaka kompletterande provningar utfördes för blandningar som visade stor spridning i resultat.

Undersökningarna av kalktypens inverkan vid användning av kalk tillsammans med cement omfattade totalt fyra blandningar, se *Tabell 5*. Använd typ av cement var Std P och blandningsförhållandet kalk:cement var 50:50.

**Tabell 5. Jämförande provning med kalk-cement.**

**Table 5. Comparative test with lime-cement.**

Kalk	Cement	Bränningsgrad	Kornstorlek	Blandning Mellösa	Blandning Tuve	Provn.tillfälle (dygn)
K7	Std P			KC-MK7		28
K8	Std P			KC-MK8		28
K4	Std P	lösbränd	grovmald		KC-TK4lg	28
K6	Std P	lösbränd	finmald		KC-TK6lf	28

## 5.2 RESULTAT

### 5.2.1 Densitet och vattenkvot

Bestämning av densitet och vattenkvot utfördes främst för att kunna värdera jämnheten i inblandning och packning av proverna. Vid avvikelser i hållfasthetsvärden kunde jämförelser göras med vattenkvot och densitet för att se om provet avvek markant från övriga.

Stabiliseringen av Mellösaleran gav endast mindre skillnader i densitet och vattenkvot, utom för proverna med Landskronakalk där vattenkvoten genomgående var ca 6 % lägre och densiteten någon tiondel högre än för övriga kalker. En möjlig förklaring till detta är att av misstag en något högre mängd kalk tillsatts än vad som var avsett.

Proverna med Tuvelera visade inte några värden som tydde på avvikelser i inblandning och packning. Däremot fanns vissa skillnader i vattenkvot beroende på skillnader i de lerprover som användes till olika blandningar. För att få likvärdiga

blandningar utan att behöva bearbeta allt jordmaterial på en gång före inblandning i de olika omgångarna, utfördes hopblandning och homogenisering av lera från samtliga provtagningsnivåer för ett borrhål i taget. Det visade sig dock att värdet på vattenkvoten hos lerblandningarna varierade upp till 10 % mellan de olika borrhålen. En möjlig förklaring kan vara att provtagningarna kommit att utföras något högre eller lägre än avsett. Motsvarande variation i vattenkvot i Mellösa var som mest 2 %.

I Bilaga 4 visas resultat av samtliga bestämningar av vattenkvoter och densiteter hos provkropparna.

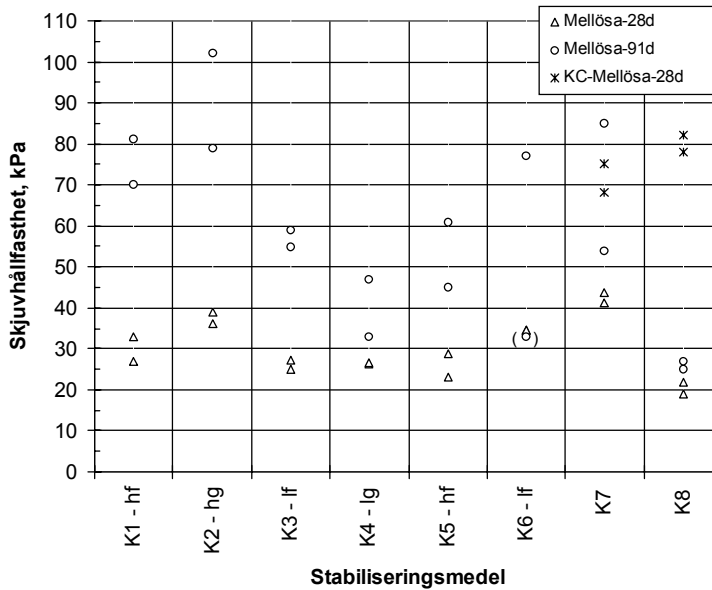
### **5.2.2 Hållfasthet enligt enaxliga tryckförsök**

Vid de enaxliga tryckförsöken utvärderades värden på skjuvhållfastheten enligt normalt vis för kohesionära material som halva värdet av den maximala tryckspänningen.

Hållfasthetsprovningen visade stora skillnader i uppnådd stabiliseringseffekt för de två typerna av lera. För den stabiliserade Mellösaleran uppmättes värden på skjuvhållfastheten av i medeltal 30 kPa respektive 60 kPa vid de två provnings-tillfällena, medan uppmätt skjuvhållfasthet var ca 10 gånger högre i proverna med stabiliserad Tuvelera, 350 kPa respektive 600 kPa

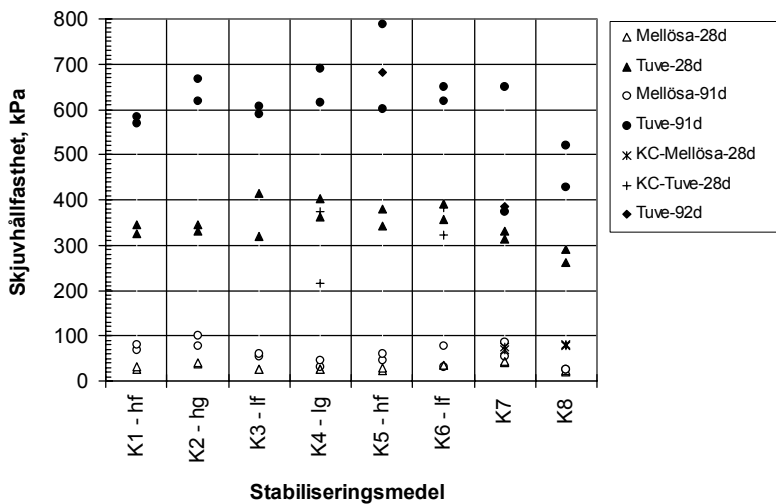
Uppmätt skjuvhållfasthet varierade också betydligt beroende på använd typ av kalk. I *Figur 2* visas resultaten av enaxliga tryckförsök 28 dygn och 91 dygn efter inblandning i Mellösaleran med de olika kalktyperna. Skjuvhållfastheten varierade mellan ca 20 och 45 kPa vid 28-dygnsprovningen och mellan 25 och 100 kPa vid 91-dygnsprovningen. Kalken K8 gav lägst hållfasthet vid båda provningstillfällena medan K7 och K2-hg gav högst värden vid 28 respektive 91 dygn. Resultaten för kalken K7 bedöms dock inte vara helt representativa utan visar troligtvis för höga värden med hänsyn till de uppmätta avvikelserna i vattenkvot/densitet för dessa prover, jämför avsnitt 5.2.1.

De utförda dubbelprovningarna visade i vissa fall på avsevärd spridning i resultat för samma blandning, framförallt vid 91-dygnsprovningen. Jämförelser mellan medelvärden för de olika blandningarna vid 28 respektive 91 dygn ger dock en relativt samstämmig bild av vilka kalktyper som ger bättre eller sämre stabiliseringseffekt. En sådan jämförelse kan också ge indikation på att något eller några försök givit orimligt låga värden, vilket i detta fall gäller en av 91-dygnsprovningarna av K6-lf och till viss grad troligtvis också K4-lg.



**Figur 2. Uppmätt skjuvhållfasthet hos de olika blandningarna med stabiliserad Mellösa-lera.**

**Figure 2. Observed shear strength in the various mixes with stabilised clay from Mellösa.**



**Figur 3. Uppmätt skjuvhållfasthet hos de olika blandningarna med stabiliserad Tuve-lera. Värderna med Mellösa-lera som jämförelse.**

**Figure 3. Observed shear strength in the various mixes with stabilised clay from Tuve. Shear strength from Mellösa as comparison.**



Betydande skillnader i stabiliseringseffekt kunde också konstateras för de olika blandningarna med Tuvelera, se *Figur 3*. Kalken K8 gav också här genomgående lägst hållfasthetsvärden. Utvärderingen av de övriga kalkernas stabiliseringseffekt försvårades av spridningen i resultat för dubbelprovningarna samt av att vattenkvoten hos blandningarna varierade. Resultaten ger dock bedömningen att kalkerna K3 - K6 gav bäst effekt efter 28 dygn och att samma kalktyper plus K2 visade bäst effekt efter 91 dygn.

Användningen av cement i kombination med kalk i Tuveleran gav ungefär samma hållfasthet som ren kalk 28 dygn efter inblandning, se *Figur 3*. Resultaten av provningarna indikerade en något lägre hållfasthet hos blandningen med K4-lg och cement än den med K6-lf. Spridningen i resultat var dock relativt stor och kompletterande provning en dryg vecka efter 28-dygnsprovningen visade att det lägre värdet för K4-lg blandningen var orimligt lågt. Blandningar med kalk-cement i Mellösaleran gav värden på skjuvhållfastheten som var två till fyra gånger högre än de med ren kalk. Trots att kalken K8 gav sämst resultat vid ren kalkinblandning, gav den tillsammans med cement en något högre skjuvhållfasthet än motsvarande provning med kalk K7. Några jämförelse med kalktypens inverkan vid tillsats av cement jämfört med hos ren kalkstabiliserad lera kan inte göras då blandningen med enbart K7-kalk bedöms ha givit alltför höga värden.

### **5.3 BEDÖMNING AV INVERKANDE FAKTORER PÅ STABILISERINGSRESULTATET**

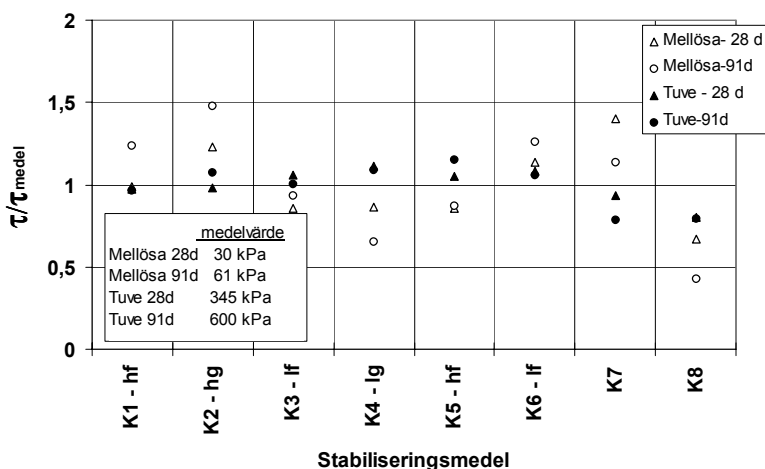
#### **5.3.1 Provningsmetod**

Metoden för inblandning och underökning har inverkan på spridningen i resultat. För att minska påverkan av olika störande faktorer eftersträvades i så stor utsträckning som möjligt konstanta förhållanden vid provberedning av de olika blandningarna. Svårigheten att skapa likvärdiga prover medför dock alltid en viss spridning i resultat vid provningarna. För att minska inverkan av spridningen utfördes dubbelprovningar av samtliga provtyper och samma operatör användes vid provtillverkning. I några fall, då avvikelserna i resultat blev mycket stora, utfördes kompletterande provning av extra provkroppar.

Trots dessa åtgärder att minska inverkan av provningsmetod kvarstår osäkerheter i utvärdering av vissa delar av resultaten.

### 5.3.2 Typ av jord

Typen av jord inverkar inte bara genom att olika hållfasthetsnivåer uppnås, utan också för att typerna av kalk som ger bättre eller sämre stabiliseringseffekt varierar. Detta framgår av *Figur 4* som visar uppnådda skjuvhållfastheter normaliserat mot medelskjuvhållfastheten vid aktuellt provningstillfälle för de två stabiliserade jordarna. Kalktyperna K3-lf och K4-lg samt K5-hf ger bättre effekt än övriga i Tuveleran men sämre i Mellösaleran.

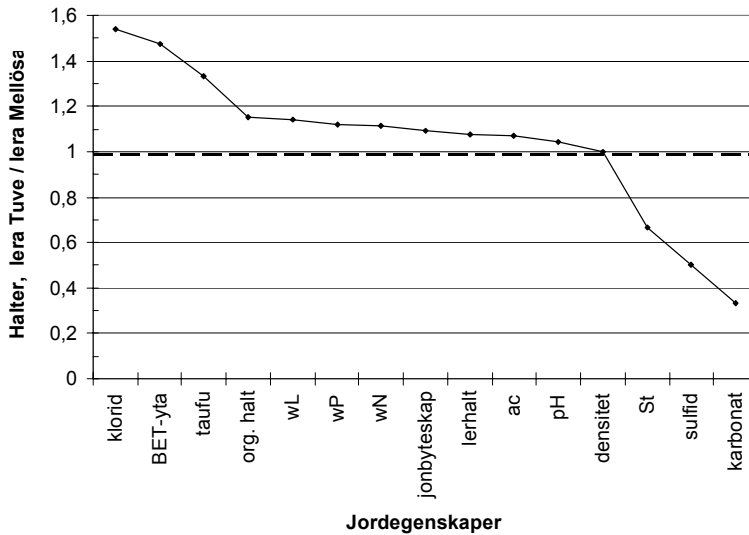


Figur 4. Normaliserad skjuvhållfasthet hos de olika blandningarna.

Figure 4. Normalised shear strength of the various mixes.

I absoluta tal förefaller skillnaderna i egenskaper mellan de olika lerorna vara relativt små. Skillnader finns, men för flera av parametrarna är dessa mycket små. I *Figur 5* visas kvoten mellan uppmätta värden för olika egenskaper hos de två lerorna. Största skillnader uppmättes i salthalt, BET-yta och odränerad skjuvhållfasthet som samtliga var högre hos Tuveleran samt i karbonathalt, sulfidhalt och sensitivitet som var lägre i Tuveleran än i Mellösaleran. Kompletterande undersökning utfördes av lerornas olika utbytbara joner för att se eventuella i skillnader för olika typer av ämnen. Undersökningarna visade på stora skillnader i framförallt K- och Na-joninnehåll. Dessa joner fanns i fem respektive tre gånger så stor mängd i Tuveleran jämfört med Mellösaleran. Innehållet av Mg- och Ca-joner var två gånger så stor respektive hälften så stor som i Mellösaleran.

Då förstudien endast omfattade försök med två jordar är det inte möjligt att analysera vilka egenskaper hos leran som kan ha störst betydelse för stabiliseringseffekten.



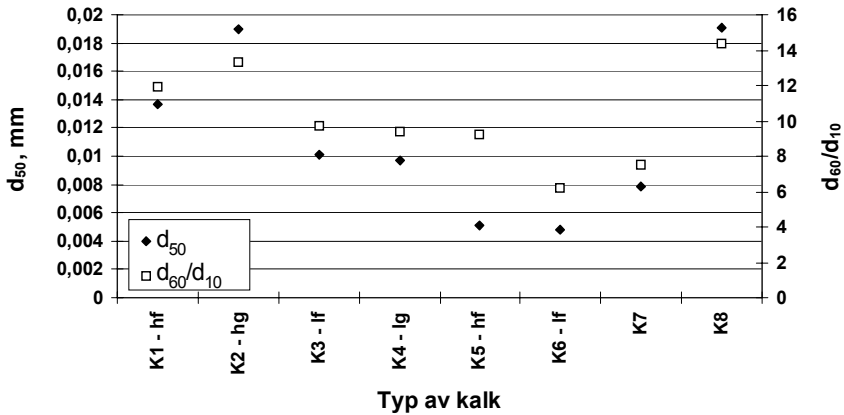
**Figur 5. Kvoten mellan uppmätta värden vid olika analyser av de två lerorna.**

**Figure 5. Ratio between observed values in different analyses of the two clays.**

### 5.3.3 Typ av kalk

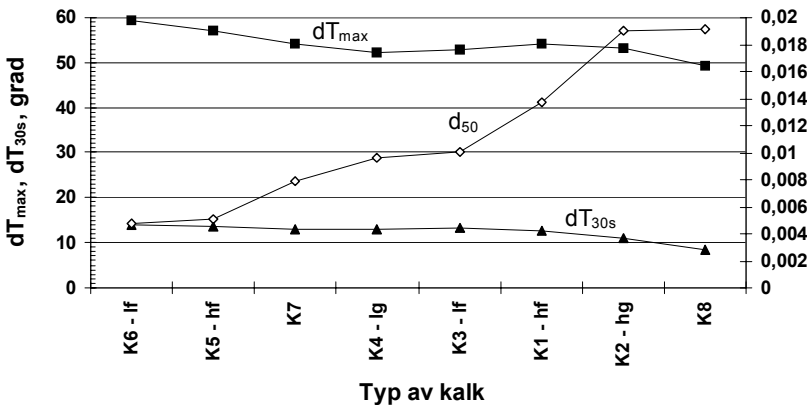
De olika kalktyper som användes i projektet valdes med tanke på att belysa dels inverkan av kornstorlek och bränningsgrad hos kalken, dels i vilken utsträckning eventuella skillnader i kemiskt innehåll påverkar stabiliseringsresultaten. Då det för kalk finns ett antal faktorer som kan inverka på stabiliseringseffekten, både enskilt och i samverkan med andra, går det emellertid inte att i denna begränsade studie visa vilka som har störst betydelse för resultatet. Analysen försvarades dessutom av att benämningar som finkornig/grovkorning eller hårdbränd/lösbränd inte följde någon gemensam norm för klassificering utan mer var ett relativt begrepp för kalk från en och samma plats. I ett fall, lösbränd kalk K3-lf och K4-lg, var skillnaden i ursprunglig kornstorleksfördelning i det närmaste obefintlig mellan grovmald och finmald. I *Figur 6* visas variationen i kornstorlek uttryckt i  $d_{50}$ , dvs den storlek av partiklar som på kornfördelningskurvan motsvarar passerande viktsmängd 50 %, samt i graderingen  $d_{60}/d_{10}$ , jämför Bilaga 2.

Släckningsförloppet hos kalken påverkades förutom av CaO-halt också av kornstorleken och bränningsgraden. I försöken kunde ett samband ses mellan släckningshastighet  $dT_{30s}$  och dessa faktorer. En finmald kalk gav ett snabbare släckningsförlopp än en grövre kalk och en lösbränd kalk gav snabbare och i fallet K6-lf högre värmeutveckling än en hårdbränd kalk, se *Figur 7*.



Figur 6. Kornstorlek  $d_{50}$  samt graderingstal  $d_{60}/d_{10}$  hos de olika kalktyperna.

Figure 6. Grain size  $d_{50}$  and uniformity coefficient  $d_{60}/d_{10}$  of the various types of lime.

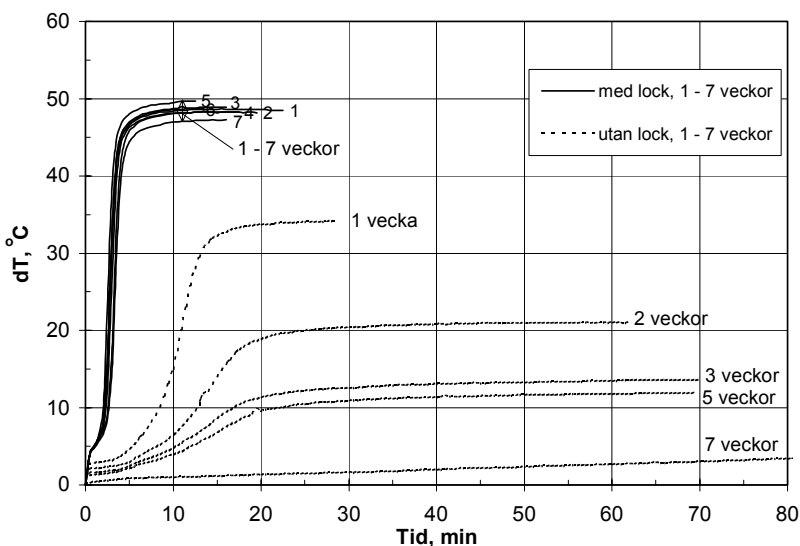


Figur 7. Uppmätt släckningsförlopp uttryckt i  $dT_{30s}$  och  $dT_{max}$  samt kornstorlek  $d_{50}$  hos de olika kalktyperna.

Figure 7. Observed slaking sequence expressed in  $dT_{30s}$  and  $dT_{max}$ , and grain size of the various types of lime.

Fler faktorer än kornstorlek och bränningsgrad inverkar på förloppet, däribland förvaringssätt och ålder hos kalken. Kalken K8, som hämtades från en arbetsplats i Sverige, hade troligtvis påverkats av kontakt med luft i betydligt högre grad än övriga kalktyper som levererades direkt från fabriken. Den hade lägre halt CaO-aktiv, högre glödningsförlust och  $CO_2$ -halt samt lägre  $dT_{max}$  än övriga kalktyper. Senare undersökningar av prover tagna direkt från levererade behållare med motsvarande kalk har visat på värden i samma storleksordning

som övriga kalktyper, se bilaga 6. En riktigt utförd provtagning är av yttersta vikt för att få representativa prover (SS 13 40 12). Om osläckt kalk förvaras i kontakt med luft leder detta till att kalken tar upp fukt från luften och släcks till en viss grad, dvs övergår till kalciumhydroxid  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Denna reaktion åtföljs av karbonatisering, vilket innebär att kalken tar upp koldioxid från luften och återgår till kalciumkarbonat. Dessa förlopp leder till sänkt reaktivitet hos kalken. För att få en uppfattning om hur stor inverkan kontakt med luft och förvaringssätt kan ha på släckningsförloppet, utfördes ett antal extra försök med kalk som förvarades i halvfyllda burkar med respektive utan lock under viss tid. Resultaten visade att en betydande försämring av reaktiviteten har skett redan efter 1 veckas förvaring, se *Figur 8*. Försöken illustrerar vikten av att förvaring av kalk i laboratorium såväl som i fält, sker i tättslutande behållare med så liten kontakt med luft som möjligt.



**Figur 8. Exempel på uppmätt släckningsförlopp för kalk förvarad i halvfyllda behållare med respektive utan lock.**

**Figure 8. Example of observed slaking sequence for lime stored in half-full containers with and without a lid respectively.**

Övriga egenskapers variation för de olika kalktyperna visas i diagramform i Bilaga 5.

För att få en indikation på vilka egenskaper som påverkade stabiliseringsresultaten studerades de direkta sambanden mellan enskilda analyserade egenskaper hos kalken och uppmätta värden på skjuvhållfasthet efter 28 respektive 91 dygn

för de två jordarna. Några dominerande direkta samband kunde inte med säkerhet fastställas, men analysen gav ändå indikation på egenskaper som påverkade stabiliseringen positivt respektive egenskaper som hade negativ inverkan. Dessutom fanns ett antal faktorer som inte visade på någon inverkan eller som hade för stor spridning i resultat för att kunna värderas.

Då ett flertal faktorer troligtvis samverkar med varandra kan analysen ha givit felaktiga indikationer för några av egenskaperna, men den gav en bild av omfattningen av egenskaper som inverkar och skillnader mellan olika jordar. En indelning av egenskaperna i grupper efter typ av inverkan på stabiliseringsresultatet och graden av osäkerhet i uppmätt samband visas i *Tabell 6*. Uppdelningen är baserad på uppskattat medelvärde på tillförlitlighet hos sambanden för 28 och 91-dygnsvärdena i respektive jord. Graderna av tillförlitlighet varierade något med tiden, men inte så mycket att grupperingen i positiv inverkan, ingen/osäker inverkan

**Tabell 6. Inverkande egenskaper hos kalken.**

**Table 6. Influential properties of the lime.**



Typ av inverkan	Mellösalera	Tuvelera	Uppmåtsamband
<b>Positiv inverkan</b>	BET-spec yta	MnO	mindre spridning ↑ ↓ större spridning
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BET-spec yta	
	CaO-aktiv	dT-max	
	dT-max	CaO-aktiv	
	BET Ca(OH) <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	
	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	
	MgO	Cl- BET Ca(OH) <sub>2</sub>	
<b>Liten inverkan alt. osäker inverkan</b>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	liten inverkan / stor spridning
	MnO	Na <sub>2</sub> O	
	fukt	TiO <sub>2</sub>	
	K <sub>2</sub> O	S	
	d <sub>50</sub>	MgO	
	Na <sub>2</sub> O	P	
<b>Negativ inverkan</b>	Cl-	fukt	större spridning ↑ ↓ mindre spridning
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	d <sub>50</sub>	
	S	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
	P	glödg.förl.	
	glödg.förl.	CO <sub>2</sub>	
	CO <sub>2</sub>		

kan eller negativ inverkan förändrades. Med positiv inverkan avses att ett ”högre värde” (ökad halt, m m) ger högre hållfasthet.

En uppskattning gjordes också av hur stor inverkan olika egenskaper hade. Utan hänsyn till osäkerheten i sambandet mellan egenskaperna och hållfasthet gjordes en gradering baserad på förändring i skjuvhållfasthet per förändring i egenskap uttryckt i enheter enligt Tabell 1. Resultaten visade på stor inverkan av CaO-aktiv. I detta sammanhang är det värt att notera att värdena på CaO-aktiv, släckningsreaktivitet och CO<sub>2</sub> har ett klart samband. En kalk som utsätts för luftfuktighetens inverkan har nedsatt släckningsreaktivitet, lägre CaO-aktiv och förhöjt CO<sub>2</sub>. Det är främst den sänkta reaktiviteten som är betydelsefull och som i sin tur återspeglas i lägre CaO-aktiv och högre CO<sub>2</sub>. Andra faktorer som föreföll vara av större betydelse var BET-yta och SiO<sub>2</sub>, se *Tabell 7*. Storleken på inverkan förändrades med tiden efter stabilisering, men någon noggrannare analys av detta har inte utförts i projektet.

**Tabell 7. Uppskattad inverkan av olika egenskaper hos kalken.**

**Table 7. Estimated influence of various properties of the lime.**

Typ av inverkan	Mellösalera	Tuvelera	Uppmättsamband
<b>Positiv inverkan</b>	CaO-aktiv	CaO-aktiv	
	BET Ca(OH) <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	
	BET-spec. yta	BET-spec. yta	
	SiO <sub>2</sub>	BET Ca(OH) <sub>2</sub>	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	
	MgO	K <sub>2</sub> O	
dT-max	Cl-	dT-max	mindre inverkan
<b>Negativ inverkan</b>	Cl-	fukt	mindre inverkan
	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	
	glödg.förl.	glödg.förl.	
	S	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
	P	d <sub>50</sub>	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		större inverkan	

## 6. Slutsatser och rekommendationer

Förstudien har belyst komplexiteten hos inverkan av faktorer vid stabilisering av jord med kalk. Laboratorieundersökningarna gav exempel på skillnader i effekt mellan olika kalktyper och gav också indikationer på ett antal möjliga inverkan av faktorer.

- Typen av kalk som används kan ha stor betydelse för stabiliseringsresultatet även då skillnaderna i egenskaper som bränningsgrad, kornstorlek, CaO-halt m m är relativt små. I Mellösaleran var hållfastheten som mest mer än dubbelt så hög i blandningarna med bättre effekt, jämfört med de med sämre. Provningarna indikerade positiv inverkan av framförallt kalkegenskaper som CaO-aktiv, specifik yta, SiO<sub>2</sub> och släckningsvärme och negativ inverkan från framförallt CO<sub>2</sub>, glödningsförlust och Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- Hanteringen av kalk är mycket viktig för stabiliseringsresultatet. Osläckt kalk måste förvaras på ett sådant sätt att luft inte får tillträde. Kalk tar lätt upp luftens fuktighet och karbonatiseras varvid reaktiviteten snabbt försämras. Kalkprovtagning och kalkhantering bör ske i enlighet med befintlig standard.
- Skillnaderna i egenskaper hos de undersökta lerorna var relativt små. Betydelsen av de skillnader som fanns i framförallt salthalt, BET-yta, sulfidhalt och kemiskt joninnehåll kan inte värderas utifrån resultat i detta projekt utan dessa får ligga till grund för kommande projekt rörande stabiliserad jords egenskaper. Dessa projekt måste omfatta ett stort antal jordar av olika typ med noggranna analyser, inte minst av uppbyggnad och kemiskt innehåll.
- Betydande skillnader i stabiliseringseffekt kan fås i olika jordar. Utvärderad skjuvhållfasthet i den stabiliserade Tuveleran var ca 10 gånger högre än i den stabiliserade Mellösaleran.



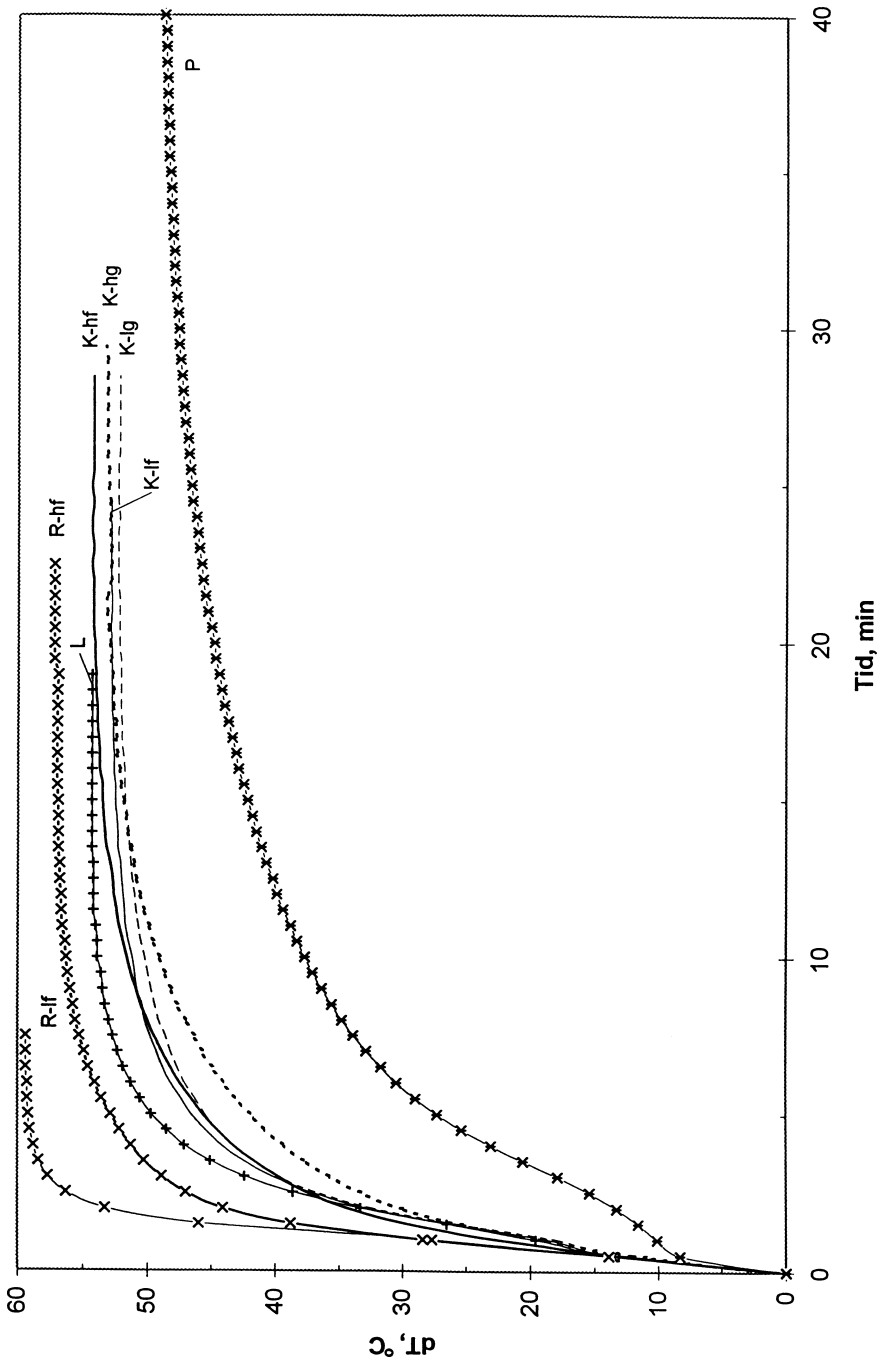
- Typen av kalk som ger bäst effekt varierar mellan olika jordar. I Tuveleran är skillnaden i stabiliseringseffekt liten mellan olika provade svenska kalktyper, medan skillnaderna är betydande i Mellösaleran.
- Benämningarna finmald/grov Mald och hårdbränd/lösbränd är mer att betrakta som relativa begrepp med avseende på en och samma producent och skillnaderna var inte så stora mellan grupperna som sådana. Ett enhetligt sätt att karakterisera kalk för stabilisering bör etableras inom branchen.
- Lösbränd kalk gav i flera fall väl så god hållfasthetstillväxt som hårdbränd kalk. Ur effektsynpunkt borde därför kravet på hårdbränd kalk kunna strykas. En anledning att tills vidare ha kvar det kan dock vara ur utförandesynpunkt. Eventuella skillnader i utmatning och inblandning i jorden bör klargöras genom installation och provning av pelare i fält. Vidare kan det konstateras att CaO-halten hos samtliga provade kalktyper ligger relativt högt över den som normalt anges i kravspecifikationen. Kravet på CaO-halt borde höjas något. Vidare bör kravet ändras till att avse halt CaO-aktiv istället för som nu CaO-total.

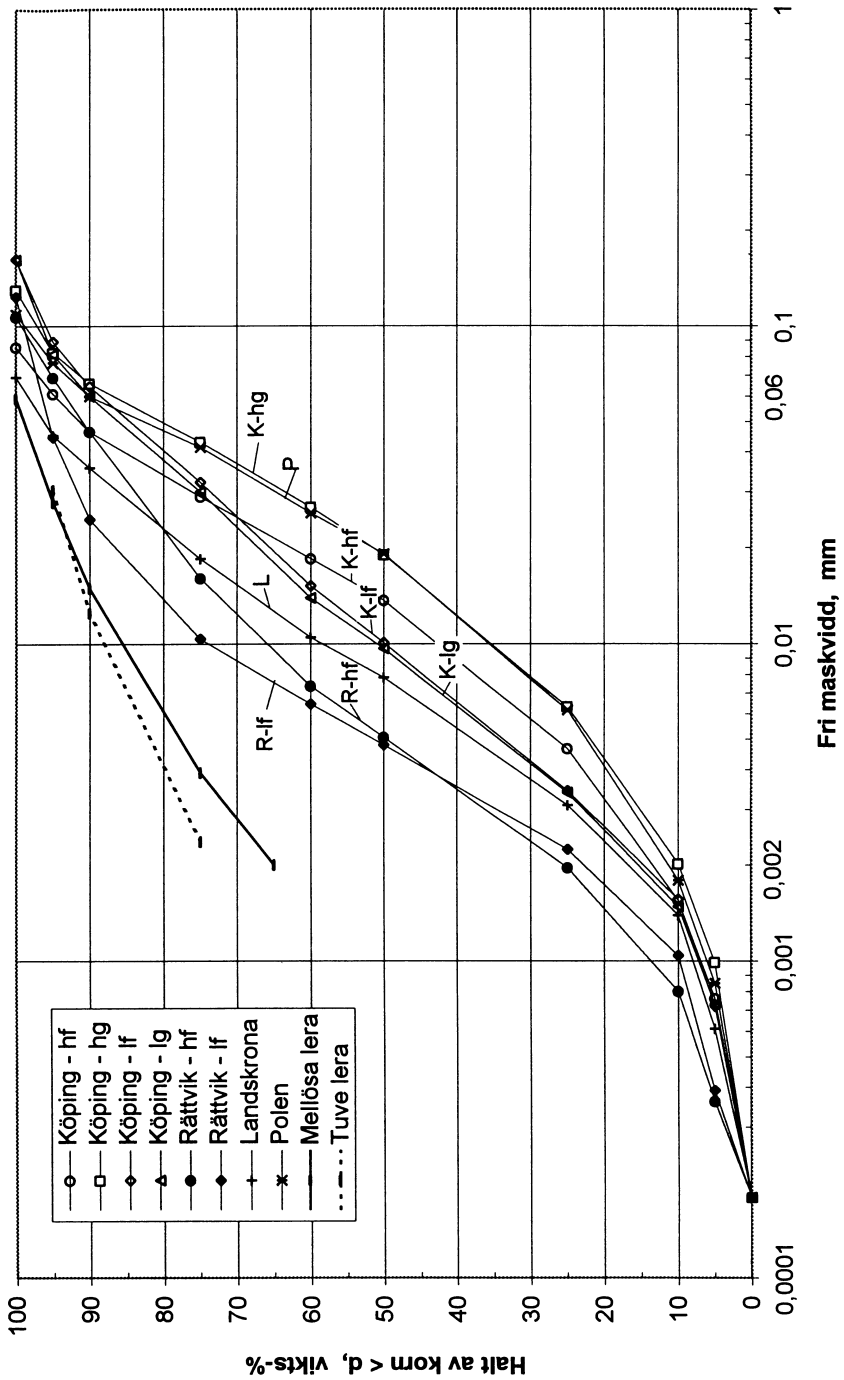
Det finns en mängd olika faktorer som inverkar på stabiliseringsresultatet, både enskilt och i samverkan. Förstudien har givit en god bild av omfattningen av faktorer som inverkar och skillnader mellan de två jordarna. I fortsatta projekt inom Svensk Djupstabilisering bör de faktorer som i förstudien bedöms ha positiv respektive negativ inverkan undersökas vidare, både i teoretiska och praktiska studier av möjliga kemiska reaktioner i stabiliseringsprocessen.

# Referenser

- Assarsson, KG (1977).** Stabilisering och jordmaterialförbättring med kalk.  
Kurs i jordstabilisering med cement och kalk. Cementa 1977.
- Carlsten, P & Ekström, J (1995).** Kalk- och kalkcementpelare, Vägledning  
för projektering, utförande och kontroll. SGF Rapport 4:95.
- Hellman, L & Holm, G (1978).** Grundförstärkning med kalkpelare, förundersökningar och kravspecifikationer. 1978-04-03, SGI Dnr 2-6/78.
- SNV/LRF/VAV (1995).** Användning av avloppsslam i jordbruket.  
SNV Rapport 4418.
- SS 13 40 03.** Industrikalk - Bestämning av släckningsreaktivitet hos bränd kalk.  
Utgåva 1. 96-06.
- SS 13 40 11.** Kalkordlista. Utgåva 1. 92-09.
- SS 13 40 12.** Kalkprodukter - Provtagning och provhantering. Utgåva 1. 94-09.
- SS - ISO 2591-1.** Siktanalys - Del 1: Metoder i vilka används provsiktar av  
vävd metalltrådsduk och perforerad metallplåt. Utgåva 1. 94-06.
- Åhnberg, H, Johansson, S-E, Retelius, A, Ljungkrantz, C, Holmqvist, L,  
Holm, G (1995).** Cement och kalk för djupstabilisering av jord, En kemisk-  
fysikalisk studie av stabiliseringseffekter. Statens geotekniska institut,  
Rapport nr 48.

# Bilagor





KEMIALLINEN ANALYYSI  
KEMISK ANALYSI

OY NORDKALK AB  
Kemien laboratorio  
SF 21600 Parainen

K. Kuusipur  
Nordkalk Oy  
Kari Kuusipuro

47628 Kalkprover för märkstabilisering, RFS-kem.anal., BET, Laser.

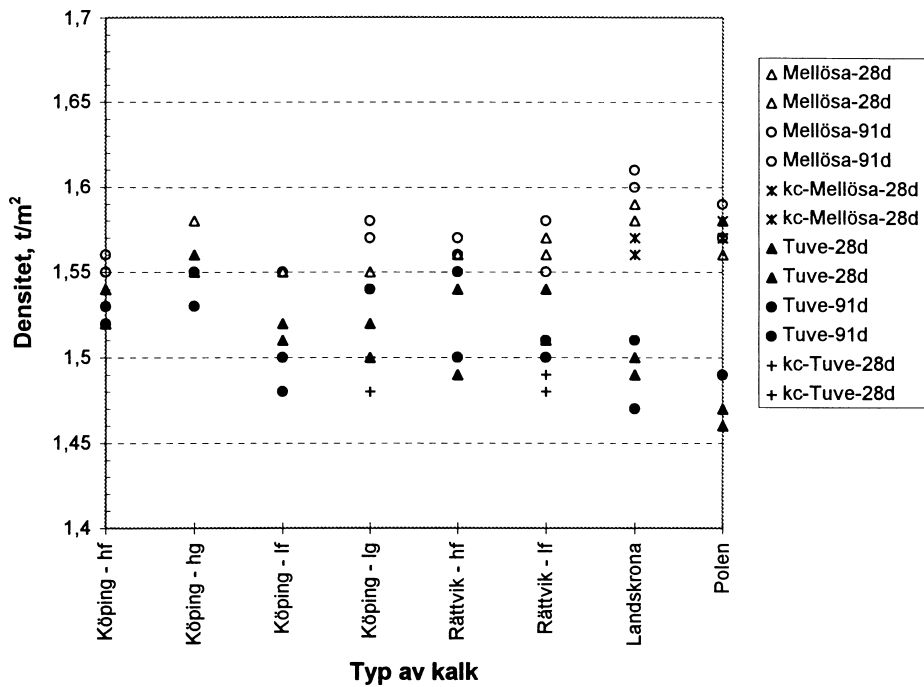
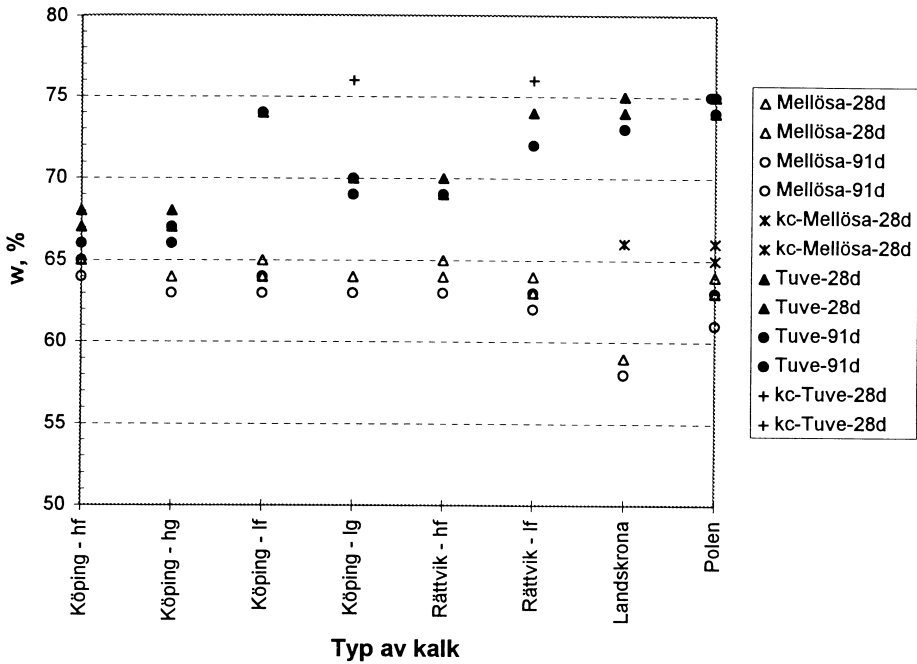
Materiaali - Material

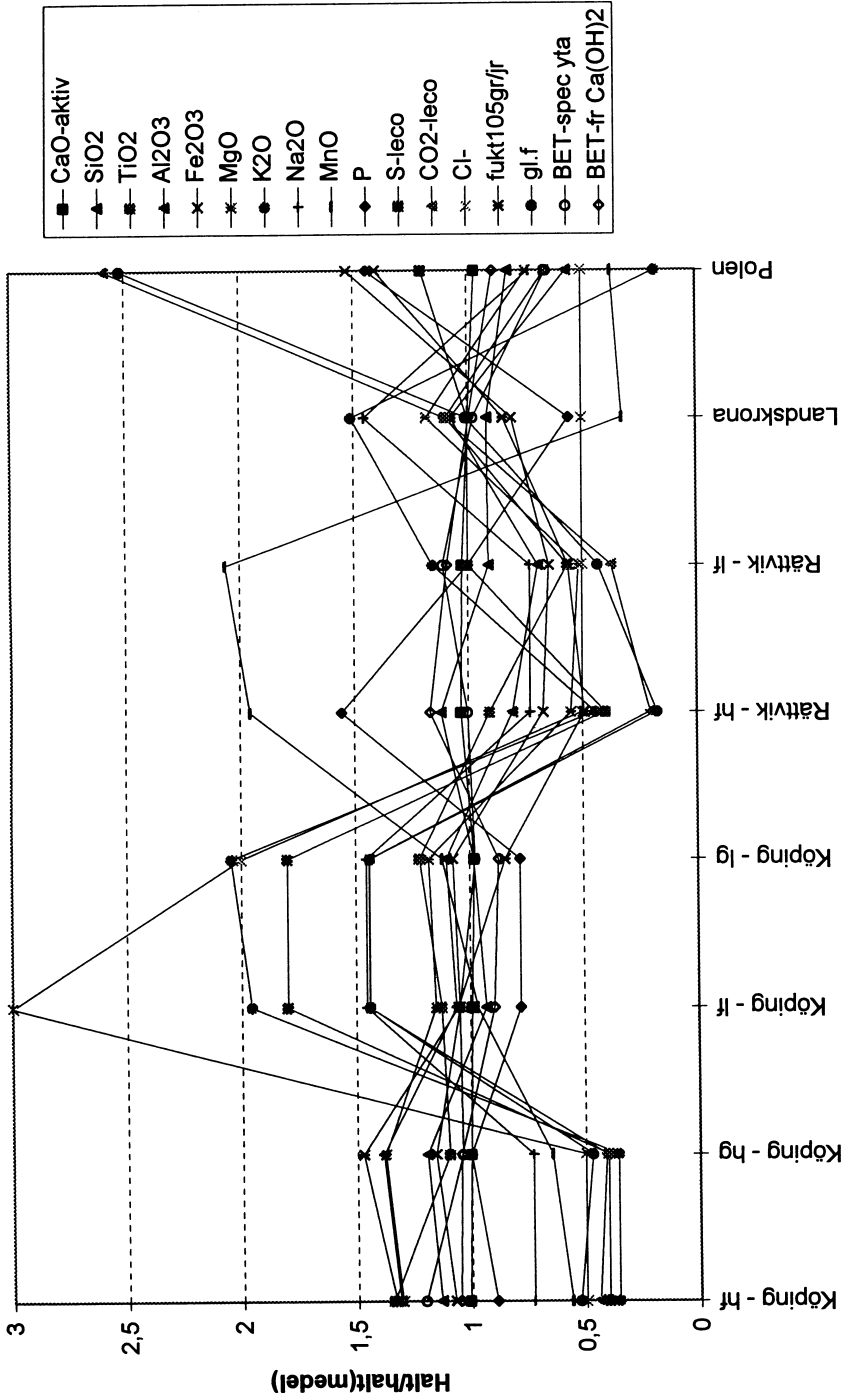
01 Boda 16.4.96 02 Landskrona 03 Rättvik 16.4.96 04 Yxhult, 110 rpm, 98% 05 Yxhult, 140 rpm, 88%  
06 Märk.Stab., 60 rpm 07 Märk.Stab., 100 rpm 08 Polskt kalk SGI

	01	02	03	04	05	06	07	08	Enhet
MET00:5.0									
CaO.....	95.31	93.41	95.49	93.99	93.77	92.36	92.66	93.07	%
SiO2.....	1.37	1.38	1.69	1.80	1.71	1.48	1.40	1.24	%
TiO2.....	0.018	0.035	0.029	0.035	0.043	0.039	0.036	0.021	%
Al2O3.....	0.49	0.76	0.57	0.98	0.93	0.78	0.75	0.40	%
Fe2O3.....	0.24	0.30	0.25	0.43	0.40	0.40	0.39	0.57	%
MgO.....	0.73	1.67	0.78	1.95	1.85	1.67	1.63	1.05	%
K2O.....	0.13	0.17	0.05	0.04	0.04	0.23	0.22	0.02	%
Na2O.....	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	%
MnO.....	0.173	0.027	0.164	0.054	0.047	0.094	0.081	0.031	%
P.....	0.009	<0.005	0.014	0.009	0.008	0.007	0.007	0.013	%
S-Leco.....	0.05	0.05	0.02	0.02	0.02	0.09	0.09	0.06	%
CO2-Leco.....	0.44	1.3	0.24	0.48	0.32	1.7	1.7	3.05	%
Cl.....	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.04	0.06	<0.01	%
fukt 105°C/IR.....	0.08	0.12	0.07	0.21	0.19	0.12	0.15	0.20	%
Gl.f 1000°C.....	0.60	1.4	0.24	0.65	0.73	2.0	2.0	3.5	%
CaO-akt SFS 5188.....	93.4	90.9	93.8	91.0	91.8	89.1	90.3	88.0	%
slätningsreaktivitet									bilaga
BET-specifik yta.....	1.55	1.36	1.40	1.45	1.68	1.36	1.46	0.91	m <sup>2</sup> /g
BET fr. Ca(OH)2.....	34.7	31.6	37.1	33.1	33.4	27.7	28.4	28.2	mg/g
Laser-konstorleksfö									bilaga
Cd.....	0.10	0.34	<0.05	<0.05	<0.05	0.07	0.08	0.31	mg/kg
Co.....	2	1.4	2	2	3	1.3	3	1.4	mg/kg
Cr.....	6	7	8	8	9	6	6	9	mg/kg
Cu.....	2	2	3	2	2	2	1.4	3	mg/kg
Hg.....	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	mg/kg
Ni.....	5	3	7	4	4	6	5	5	mg/kg
Pb.....	6	1.3	0.9	4	4	6	5	5	mg/kg
V.....	1.5	11	6	18	13	15	15	11	mg/kg
Zn.....	10	33	9	4	3	12	11	148	mg/kg
As.....	0.27	0.8	0.42	0.20	<0.05	0.34	0.27	3	mg/kg
									ASTM C25-81 DIN 1060
									DIN 66131 Micromeritics FlowSorB-2300 II
									Fritsch Analysette.
									SS 028150 Metallhalt i vatten slam och sediment.

Jakelu - fördelning  
HP1, K. Kuusipuro, Tab

## BILAGA 4







**Kompletterande provtagning och provning av polsk kalk.**

<b>Prov</b>	<b>CaO-aktiv %</b>	<b>CO<sub>2</sub> %</b>	<b>dT-max °C</b>	<b>0,04 mm %</b>	<b>0,09 mm %</b>
<b>1</b>	89,6	2,0	50,7	64,9	89,0
<b>2</b>	89,6	1,4	53,1	81,3	98,2
<b>3</b>	89,6	2,0	51,5	65,2	89,4



# **Publikationer utgivna av Svensk Djupstabilisering**

## **Rapport**

- |          |   |             |
|----------|---|-------------|
| <b>1</b> | <b>Erfarenhetsbank för kalk-cementpelare</b><br>Torbjörn Edstam                                 | <b>1997</b> |
| <b>2</b> | <b>Kalktypens inverkan på stabiliseringsresultatet. Förstudie</b><br>Helen Åhnberg & Håkan Pihl | <b>1997</b> |

### **DISTRIBUTION:**

Svensk Djupstabilisering

c/o SGI, 581 93 Linköping

Tel: 013- 20 18 62, Fax: 013-20-19 13, E-mail: [sussyl@geotek.se](mailto:sussyl@geotek.se)



**Svensk Djupstabilisering**

**c/o SGI, 581 93 Linköping  
Tel: 013-20 18 61, Fax: 013-20 19 13**