



Svensk Djupstabilisering
Swedish Deep Stabilization Research Centre

Arbetsrapport 37
2005-11

Vetenskaplig utvärdering av verksamheten inom Svensk Djupstabilisering

Bengt Åkesson
Göran Fagerlund

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 – 2004. Medlemmar är myndigheter, kalk- och cementleverantörer, entreprenörer, konsulter, forskningsinstitut och högskolor.

Verksamheten finansieras av medlemmarna samt genom anslag från Byggeforskningsrådet/Formas, 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 14, e-post: goran.holm@swedgeo.se, internet: www.swedgeo.se/sd.

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 – 2004. Members of the Centre include authorities, lime and cement manufacturers, 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, +46 70 521 09 39, fax: +46 13 20 19 14 or e-mail: goran.holm@swedgeo.se, internet: www.swedgeo.se/sd.



Svensk Djupstabilisering
Swedish Deep Stabilization Research Centre

Arbetsrapport 37
2005–11

**Vetenskaplig utvärdering av verksamheten
inom Svensk Djupstabilisering**

Bengt Åkesson
Göran Fagerlund

Förord

Svensk Djupstabilisering (SD) baserar verksamheten på sin FoU-plan och de kompletteringar som SD:s styrgrupp beslutat om. Verksamheten som startade hösten 1995 och kommer att pågå till och med 2005 har under dessa år haft en stor omfattning. En oberoende vetenskaplig utvärdering av verksamheten fram till 1999 har tidigare utförts och rapporterats i SD:s arbetsrapport 13. Resultaten av denna utvärdering har beaktats i den fortsatta verksamheten. SD:s styrgrupp har beslutat att under 2005 göra en förnyad oberoende vetenskaplig utvärdering av hela verksamheten inom SD och dess förlängning SD2004. De två oberoende vetenskapliga utvärderingarna har även denna gång utförts av Prof. Göran Fagerlund och Prof. Bengt Åkesson.

Föreliggande rapport redovisar dessa utvärderingar och ingår i SD:s arbetsrapportserie.

Linköping i december 2005

Göran Holm
Projektledare för SD

Arbetsrapport

Beställning

Svensk Djupstabilisering
c/o Statens geotekniska institut
581 93 Linköping

Tel: 013 – 20 18 42
Fax: 013 – 20 19 14
E-post: birgitta.sahlin@swedgeo.se

Innehåll

Vetenskaplig utvärdering i september 2005 av verksamheten i Svensk Djupstabilisering

Bengt Åkesson

Projekt Svensk Djupstabilisering – Utvärdering

Göran Fagerlund

Bilaga Publikationer

Vetenskaplig utvärdering i september 2005 av verksamheten i Svensk Djupstabilisering

Bengt Åkesson
Professor emeritus vid Chalmers tekniska högskola

Innehåll	Sida
Inledning och sammanfattning	2
Uppdraget	2
Granskat material	2
Konferensen Deep Mixing '05	3
Finansiärer och utförare	3
Min bakgrund	3
Historia	4
Handboken Bygg	4
Tillbakablick på min utvärdering i september 1999	5
Kompetenscentret CHARMEC	6
Kvalitetssäkring	7
Akronymer och språk	8
Bredd	8
Vetenskaplighet	9
Nyttan av extern publicering	10
Arbetsrapporterna nr 1-10	10
Arbetsrapporterna nr 11-17	11
Arbetsrapporterna nr 18-21	11
Arbetsrapporterna nr 22-27	12
Arbetsrapporterna nr 28-33	13
Rapporterna nr 1-4	14
Rapporterna nr 5-8	14
Rapporterna nr 9-12	15
De 13 särtrycken från konferenshandlingarna i maj 2005	16
De 5+10 separata uppsatserna	20
Slutord	24

Inledning och sammanfattning

Inledningsvis ger jag några allmänna synpunkter på Svensk Djupstabilisering och geotekniken och på min roll som utvärderare. Därefter redogör jag för min genomgång av de till mig översända dokumenten.

Projektet Svensk Djupstabilisering (SD) har under åren 1996-2005 enligt min bedömning utvecklats väl vad gäller både kvantitet och kvalitet hos det dokumenterade arbetet. Inom de ramar som arbetsuppgifterna medgett har grundläggande vetenskapliga krav tillgodosetts, se vidare mina Slutord på sidan 24.

Uppdraget

Göran Holm, forskningschef vid Statens Geotekniska Institut (SGI) och projektledare för Svensk Djupstabilisering (SD), har sänt mig två brev daterade 2005-06-15 och 2005-06-30. Breven föregicks av ett telefonsamtal där jag åtog mig uppdraget att åt SD göra en vetenskaplig utvärdering (peer review) av verksamheten.

Verksamhetsplanerna för 2002, 2003, 2004 och 2005 (13+14+13+9 sidor) har tillsänts mig. Projektet SD startade 1996 med en första etapp vilken jag på uppdrag av KFB utvärderade i september 1999, detta tillsammans med Göran Fagerlund från Lunds tekniska högskola, se SD Arbetsrapport nr 13. En andra etapp 2002-2004 har under benämningen SD2004 formellt pågått till 2004-12-31 men med avslutande arbeten utförda under 2005. Det är främst denna andra etapp som nu ska utvärderas.

Granskat material

I anslutning till det första brevet enligt ovan skickades till mig SD Arbetsrapporter nr 1-33 (sammanlagt ca 2100 sidor från åren 1996-2004) och SD Rapporter nr 1-12 (sammanlagt ca 1500 sidor från åren 1997-2003). På SD:s hemsida med adress www.swedgeo.se/sd är dessa rapporter förtecknade. Jag fick också utskrifter av 5 separata uppsatser (sammanlagt ca 70 sidor från åren 2001-2004).

I anslutning till det andra brevet enligt ovan fick jag utskrifter av ytterligare 10 uppsatser (sammanlagt ca 130 sidor från åren 1999-2005; dock fattas datering och ursprung på några av uppsatserna). Vidare fick

jag särtryck av 13 uppsatser (sammanlagt ca 100 sidor) från den av SD anordnade konferensen Deep Mixing '05 i Stockholm 23-25 maj 2005.

Konferensen Deep Mixing '05

Fullständigt namn är International Conference on Deep Mixing – Best Practice and Recent Advances. Via www.deepmixing05.se har jag nått information om Technical Sessions och Proceedings. Innehållsförteckningen i de senare listor 93 bidrag av vilka jag fått de 13 ovannämnda särtrycken. Enligt uppgift deltog 279 delegater från 26 länder i konferensen. Sammanlagt 24 bidrag har svenska författare. Jag saknar information om vilket review-förfarande de insända bidragen underkastades innan de accepterades för presentation vid konferensen och tryckning i Proceedings.

Här kan tilläggas att en motsvarande internationell konferens anordnades av SD i Stockholm 13-15 oktober 1999 under namnet Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization.

Finansiärer och utförare

Koordineringen av arbetet i SD har skett från Statens Geotekniska Institut (SGI) i Linköping genom Göran Holm. På ovannämnda hemsida www.swedgeo.se/sd förtecknas de nu deltagande finansiärerna och utförarna av FoU-arbetet. De kommer från myndigheter (3 st), konsultbyråer (4 st), entreprenadföretag (3 st), tillverkare av stabiliseringsmaterial (4 st), forskningsorganisationer (5 st) och forskningsråd (2 st). Vid sidan av SGI är de deltagande forskningsorganisationerna geoteknikavdelningarna (motsvarande) vid Chalmers, KTH, LTH och LTU.

Jag har sett igenom SGI årsredovisning 2004 och konstaterar att man vid SGI har (hade) ett 80-tal medarbetare varav ett drygt femtontal har doktorsexamen och ett tiotal bedriver doktorandstudier.

Min bakgrund

Jag är civilingenjör 1956 från Chalmers Sektion för Väg- och Vattenbyggnad och fortsatte där med licentiatexamen och doktorsgrad i ämnet byggnadsstatik. År 1970 lämnade jag en tjänst som

universitetslektor i byggnadsstatik och blev biträdande professor (senare professor) i hållfasthetslära vid Chalmers Sektion för Maskinteknik - men har sedan dess haft fortsatt täta kontakter med byggnadsbranschen. Jag har lång erfarenhet av högskoleforskning i samarbete med näringslivet. Några moderna specialistkunskaper i geoteknik har jag inte.

Kontakter med järnvägsindustrin (tillverkare, operatörer och förvaltare) tog jag med början 1987 och startade 1995 NUTEKs (senare VINNOVAs) nationella kompetenscentrum Chalmers Järnvägsmekanik eller CHAlmers Railway MEChanics (CHARMEC). Sedan min pensionering som professor 1997 är jag på högskolan fortsatt verksam på deltid i detta centrum vilket nu är inne på sin Etapp 4 som löper 1 juli 2003 – 30 juni 2006 med en årsbudget om ca 30 Mkr. Vissa paralleller kan möjligen dras mellan verksamheten i SD och den i CHARMEC, se nedan.

Historia

Intressant kan vara konstaterandet att geoteknik som självständigt ämne började undervisas på Chalmers VoV (för bl a mig) läsåret 1954/55. Lärare var civilingenjör John Marve. I min licentiatexamen hade jag geoteknik som så kallat biämne men där var examinatorn professor Allan Bergfelt som tenderade mig på böcker av bl a Terzaghi, Terzaghi & Peck och Brinch-Hansen. Både Marve och Bergfelt hade sin geotekniska bakgrund från anställningar i Göteborgs Hamn.

En historisk uppgift i det översända SD-materialet om kalkpelare ställer jag mig undrande till. Det sägs där att den första installationen i Sverige skedde år 1975. Vad jag minns från diskussioner under 1950-talet på Chalmers så prövades denna grundförstärkningsmetod i Göteborg redan i slutet av 1940-talet vid uppförandet av ny byggnad för Burgårdens Samrealskola på Skånegatan intill nuvarande Scandinavium. Förstärkningen havererade och metoden kom i vanrykte. Har man på SGI glömt eller förträngt detta – eller minns jag fel? Kanske menar SD att den första framgångsrika installationen skedde år 1975.

Handboken Bygg

Geoteknikens utveckling under det senaste halvsekle framgår av utgåvorna av handboken Bygg (jag har läst på för att fräscha upp mina ämneskunskaper). I den första fyrabandsupplagan från 1951 om

sammanlagt drygt 3600 sidor ägnas endast 40 sidor specifikt åt geoteknik och inget nämns om kalkpelare. Den andra upplagan har jag inte tillgång till. I den tredje upplagan från 1972 har antalet sidor om geoteknik ökat till 434 och i den senaste elvabandsupplagan från 1984 upptar ämnet ett helt eget band om 603 sidor. Kalkpelare beskrivs först i denna senare upplaga där för övrigt flera SD-medarbetare ingår bland författarna.

Tillbakablick på min utvärdering i september 1999

Endast genom en dokumenterad exponering för kritik från det internationella vetenskapssamhällets sida kan forskaren och forskargruppen inför sig själv och andra säkerställa den vetenskapliga kvalitetsnivån hos de uppnådda resultaten. Så skrev jag i min förra utvärdering av SD och så är min uppfattning fortfarande.

Jag finner idag att SD i kraftigt ökande omfattning har valt att internationellt exponera sina resultat. Publicering har bl a skett i de vetenskapliga tidskrifterna

ASCE Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering

ASTM Geotechnical Testing Journal

Géotechnique

Ground Improvement

och dessutom vid ett flertal nordiska och internationella konferenser.

Vidare betonade jag i september 1999 betydelsen av att i tillämpliga fall föra fram forskarna till licentiat- eller doktorsexamen. Här finner jag att licentiatexamen i samband med SD-arbetet under senare år har avlagts av

Nenad Jelisic LTH 2000

Stefan Larsson KTH 2000

Morgan Axelsson KTH 2001

och att doktorsexamen har avlagts av

Sadek Baker Chalmers 2000

Stefan Larsson KTH 2003

I de översända forskningsplanerna annonseras doktorsexamina även för Nenad Jelisic och Helen Åhnberg och dessa examina är, vad jag kan förstå av deras insända arbeten, nära förestående. Ett flertal examensarbeten vid de fyra högskolorna har utförts i anslutning till SD. Årsredovisningen 2004 från SGI visar på fortsatt ambition att föra fram institutets anställda till doktorsexamen.

Kompetenscentret CHARMEC

Vid bedömningen av SD har jag haft nytta av min bakgrund i kompetenscentret Chalmers Järnvägsmekanik. Finansieringen, projektledningen, referensgrupperna och samarbetet med näringslivet uppvisar klara paralleller med SD. Varaktigheten och den årliga volymen är större i CHARMEC men målsättningen är i princip densamma och jag citerar ur bifogad Triennial Report 1 July 2000 - 30 June 2003, sidan 8:

Among CHARMEC's concrete goals are the national training and examination of Licentiates and Doctors and the international presentation and publication of research results. Fundamental and applied research projects are integrated. CHARMEC's industrial partners are supported in the implementation of solutions reached and the use of tools developed. Hittills (september 2005) har 28 licentiat och 15 doktorer (de flesta av dem med tidigare licentiatexamen hos oss) examinerats och vidare har 4 av doktorerna utnämnts till docenter. Ytterligare två doktorsdisputationer sker senare under hösten 2005. CHARMEC-forskarna har internationellt publicerat ca 250 vetenskapliga uppsatser i tidskrifter och konferenshandlingar.

En skillnad mellan SD och CHARMEC är att järnvägsforskningen redan från början hade en mera långsiktig (och därmed forskningsmässigt gynnsam) horisont; NUTEKs och senare VINNOVAs grundfinansiering om 6 Mkr/år gällde för sammanlagt 10 år. Vidare har man i SD mera än i CHARMEC åtagit sig korta uppdrag där inslaget av rutinmässig provning blivit relativt stort. En annan trolig skillnad är att personalen hos SGI och deras näringslivsintressenter i SD inte generellt rekryterats med tanken att de ska avlägga en forskarexamen under arbetets gång. Jag konstaterar dock nöjt att Stefan Larsson hos Tyréns Infrakonsult och Nenad Jelusic hos Vägverket Region Mitt (och Helen Åhnberg hos SGI) har velat förena sin anställning med avläggandet av forskarexamina.

Min rekommendation till SGI är att man där mera än nu strävar efter en vetenskaplig uppgradering av de delar av medarbetarstaben som inte redan är forskarutbildade. En god förebild torde vara SP i Borås. Idag går ca 20% av de nytexaminerade civilingenjörerna vid de tekniska högskolorna vidare mot doktorsexamen. Dagens kompetenssprång från civilingenjör till teknologie doktor påminner mig om kompetenssprånget i svensk industri kring år 1970 från gymnasieingenjör till civilingenjör.

Kvalitetssäkring

CHARMEC har en styrelse bestående av 10 personer från näringslivet (the Industrial Interests Group) inklusive ordföranden från Banverket. Självfallet har styrelsen och kompetenscentrets högskoleledning ingående diskuterat frågan om arbetets kvalitetssäkring. Jag citerar ur ovannämnda Triennial Report på sidan 9:

In our opinion, an assessment of the quality and quantity of the results and effects achieved by a Competence Centre like CHARMEC should take the following points into consideration:

- 1. The ability to understand, formulate and “make scientific” the current problems and aims of the Industrial Interests Group*
- 2. The ability to initiate and run general future-oriented projects within the area of activity of the Centre*
- 3. The publication of scientific works in recognized international journals*
- 4. The publication of read papers in the proceedings of recognized international conferences*
- 5. The conferring of licentiate’s and doctor’s degrees*
- 6. The transfer to the Industrial Interests Group of information about the results achieved and the implementation of those results at their sites*
- 7. The development, nationally and internationally, of the role of the Centre as a partner for dialogue, as an information hub, and as a network builder.*

När det gäller SD tror jag på basis av det översända materialet att man kunnat beakta punkten 1 och i någon mån punkten 2 ovan. Man har sedan utvärderingen 1999 tagit glädjande stora steg mot uppfyllandet av punkterna 3 och 4. Med punkt 5 är det som redan nämnts än så länge något tveksamt. Uppfyllelsen av punkt 6 är det inte min sak att bedöma men det faktum att näringslivsintressenterna i SD fortsatt med sin finansiering efter den första etappen tyder på att de uppskattar arbetet i SD. Punkt 7 anser jag att man med råge uppfyller, inte minst genom anordnandet av de två nämnda egna konferenserna och genom flitigt deltagande i andra konferenser inom sitt område. Sverige och SD finns nu definitivt på både den nationella och den internationella kartan när det gäller djupstabilisering.

Akronymer och språk

Min genomgång av de nära 4000 sidorna material har tagit en ansevärd tid. Några delar har jag läst med stor noggrannhet medan jag sett igenom andra delar mera översiktligt. En svårighet i början av arbetet har varit (miss)bruket av alla dessa akronymer utan förklaring vilka blockerar förståelsen av stoffet för läsare utanför kretsen av de närmast invigda. Varför inte ha en lista i arbetena som förklarar CPS, CRS, CRT, FOPS, OCR, UCS etc, om inte annat så med tanke på kommande utvärderingar. Min vanliga hjälprea www.acronymfinder.com svek när det gällde t ex CRS (mängder av betydelse men inte den jag sökte).

Den pedagogiska kvaliteten har för övrigt i de flesta fall varit god när det gäller disposition, språk och illustrationer. Tyvärr började jag min läsning med de 13 särtrycken från konferensen i maj 2005 där det förekommer verkliga lågvattenmärken när det gäller engelskan. Dålig grammatik är inte bara allmänt irriterande utan fördröjer läsningen kanske femfalt när man gång på gång måste börja om i en mening för att förstå vad skribenten egentligen menar. Jag var här inställd på att rekommendera SGI att omgående anställa en språkgranskare och det vore självfallet inte bra om de slutliga konferenshandlingarna innehåller de aktuella uppsatserna i det skick jag fick dem. Återigen, hur var det med review-förfarandet och "tvättningen" innan bidragen accepterades för presentation och tryckning? I sammanhanget bör jag framhålla att vissa av de 13 uppsatserna tvärtom är föredömligt klart skrivna och lättlästa, t ex de av Hjärdis Löfroth, Helen Åhnberg & Sven-Erik Johansson och ytterligare några.

Vad gäller serierna Arbetsrapporter och Rapporter är innehållets strukturering och språkliga standard genomgående goda och jag föreställer mig att man där på SGI haft en central publiceringstjänst som granskat och vid behov "tvättat" eller returnerat manuskripten. Så bör det vara inom alla ambitiösa organisationer.

Bredd

Arbetet i SD karakteriseras av stor bredd i använt basalt kunnande och konkreta tillämpningar: statistik, kemi och fysik med miljö, hållfasthetslära och beräkningsteknik etc tillämpade på grundförstärkning för vägar, järnvägar, husbyggnader, anläggningar och förorenad jord etc. Kombinationen av deltagande forskningsinstitut, högskolor, konsultbyråer, entreprenörer och tillverkare har svarat för en bred

kompetens i kunnande, målinriktning och provningsresurser och förefaller mig vara lyckad i det FoU-arbete som skett i SD.

Viktigt är att de deltagande företagen och organisationerna uppmuntras att anställa de forskarutbildade personer som framkommer i arbetet med SD (i den mån de inte redan har sådan anställning som t ex Morgan Axelsson och Sadek Baker hos Skanska Teknik, Nenad Jelisic hos Vägverket Region Mitt och Stefan Larsson hos Tyréns Infrakonsult). Till gagn för Sverige som helhet sprids därmed kunnandet och tillämpas resultaten som tagits fram i SD.

Vetenskaplighet

Vad vetenskaplig kvalitet är, ja det är det som vanligt svårt att uttrycka i ord men man märker som van akademisk läsare ganska snart om den finns eller inte finns i ett granskat arbete. De 33 Arbetsrapporterna (där jag år 1999 redan läst de 10 första) gör inte anspråk på att vara vetenskapliga utan redovisar i huvudsak underlag för senare skrivningar såsom de 12 Rapporterna och de uppsatser som publicerats i tidskrifter och konferenshandlingar.

Ett gott vetenskapligt arbete ska innehålla bakgrund, målformulering, litteraturgenomgång och hypotesprövning med den senare stödd av analys, beräkningar och överläggningar och eventuellt av fysiska experiment i laboratorium och fält. Några av Arbetsrapporterna och Rapporterna har mest karaktären av kompendium eller laborationsprotokoll vilket dock inte förringar deras värde för projektet SD.

Ett grundläggande vetenskapligt krav är att arbetet i fråga är så utfört och rapporterat att läsaren har full information för att själv kunna repetera det och nå samma resultat. Några onödigt vaga formuleringar som stöter mig i flera texter är t ex "was studied", "considerable influence", "varies with" och "is a function of". Som snabb läsare vill man direkt veta hur det blev. Varför inte i stället omgående skriva "the result was ..." respektive "increases with" eller "decreases with", vilket som nu gäller. I ett vetenskapligt förhållningssätt ingår ambitionen att förvärva förmågan att kunna välstrukturerat och koncist meddela (vanligtvis på engelska) vad man gjort och uppnått.

Nyttan av extern publicering

Självfallet har jag inte haft möjlighet att läsa det översända materialet med samma grundlighet som exempelvis en fakultetsopponent läser en doktorsavhandling inför en doktorsdisputation. Även som handledare av ett doktorsarbete känner man sig ibland osäker: Är resultaten korrekta och är arbetet tillräckligt bra? Har vi i litteraturgenomgången fått med allt väsentligt eller har vi missat något tidigare viktigt arbete inom det aktuella området.

En så kallad sammanläggningsavhandling (till skillnad från en monografi), där ett antal externt publicerade eller accepterade uppsatser ingår, är ett stort stöd för både handledare och opponent. Man är då inte längre ensam som bedömare. Ett flertal sakkunniga granskare har under arbetets gång lämnat sina synpunkter och accepterat uppsatserna för publicering (ofta efter revision). Jag föreställer mig att de annonserade doktorsavhandlingarna av Nenad Jelusic och Helen Åhnberg blir av sammanläggningstyp eller åtminstone väsentligen bygger på externt publicerade arbeten.

Sedan får man naturligtvis inte glömma den tillfredsställelse det ger forskarna att deras arbete når ut till den bredare läsekretsen i det internationella vetenskapssamhället. Kanske kan man rentav lite högtidligt anse det vara forskarnas allmänna skyldighet att genom offentliggörande i olika fora se till att kunna leda mänskligheten till fromma (åtminstone när allmänna medel ingår i finansieringen).

Arbetsrapporterna nr 1-10

Dessa arbetsrapporter är utgivna december 1996 - april 1997. Motgångar vid byggandet av Arlandabanans Norra Bøj (nr 1), Mäljarbanan mellan Kungsängen och Bålsta (nr 4), en vägport i Holmsveden (nr 5) och ett vägparti mellan Askersund och Djupviken (nr 7) beskrivs. Detta är föredömligt. Alltför många misslyckanden bland byggare förtigs och man lär sig inte av dem i branschen som helhet, se bl a arbetsrapport 21 nedan.

Det holländska FE-programmet PLAXIS tillämpas i en annan rapport (nr 2). Ett första kompendium (nr 3) om blandningsmekanismer har sammanställts (där det liksom senare står $du/dxdt$ för hastighetsgradienten vid skjuvning). Rörelser och portryck mäts vid Bohus i de gamla skredmassorna från det medeltida jordfallet (nr 6). Mätresultat och åtgärder vid kalkpelarförstärkning av en instabil slänt redovisas (nr 8).

Norska erfarenheter lämnas (nr 9) och en finsk dimensionerings- vägledning översätts till svenska (nr 10). Samtliga dessa tio rapporter har jag funnit vara välgjorda.

Arbetsrapporterna nr 11-17

Dessa arbetsrapporter är utgivna mars 1999 - september 2000. SCC (numera Ramböll) lämnar en omsorgsfull beskrivning (nr 11) av kalkstabilisering av vägterrasser. En god rapport (nr 12) innehållande vissa oroande resultat vid stabilisering av organisk jord och lera för väg 221 vid Bettna har samförfattats av Chalmers/Hercules, SGI och Vägverket. Arbetsrapporten nr 13 har tidigare kommenterats. Den innehåller inte bara Göran Fagerlunds och mina utvärderingar i september 1999 utan också en översikt och egenvärdering med planer för framtiden (vilka delvis realiserats i SD2004).

Ytterst välskriven med klar och logisk disposition och redigering, detta är vad jag antecknat utanpå examensarbetet (nr 14) från LTU (utfört på Cementa) och behandlande en referensmetod för stabilisering av torv i laboratoriemiljö. Detta goda betyg från min sida gäller även flera övriga arbeten från LTU. I en prydlig rapport (nr 15) ger SGI data om provfälten vid Holma Mosse på Vikbolandet, segelbåtshamnen i Linköping, Löftaan i Halland och Gräsnäs nära Arboga.

Preliminära slutrapporter och ”verkliga” slutrapporter om en utvecklad referensmetod för stabilisering av lera i laboratoriemiljö har sammanställts av SGI (nr 16). Manualer har tagits fram och flera laboratorier har med blandat resultat utfört nominellt samma prov. Chalmers/NCC (?) har gjort en värdefull funktionsuppföljning (nr 17) av en KC-pelarförstärkning på Väst kustbanan. Rapporten lider på sina håll av den ej ovanliga defekten med alltför småstilla texter och siffror i vissa figurer och diagram.

Arbetsrapporterna nr 18-21

Dessa arbetsrapporter är utgivna januari 2001 - juni 2002. Ännu ett väl redovisat examensarbete från LTU (utfört på Vägverket i Stockholm) har tryckts i serien (nr 18). Erfarenhetsåterföring sker där från 13 olika projekt med stabiliseringar i Mälardalen och på Väst kusten. Intressant är även ett examensarbete från KTH (nr 19) där KC-pelare i skivkonfiguration testas i modellförsök. Det stöder Stefan Larssons

pågående doktorsarbete. Cementa, LTU och Skanska står bakom en rapport (nr 20) om ett första steg vid utveckling av en referensmetod för stabilisering av torv i laboratoriemiljö.

Erfarenhetsåterföring från markförstärkningar behandlas av Banverket, SGI och Vägverket (nr 21) där just svårigheten att inhämta upplysningar om misslyckanden klart framgår. Skriftliga enkäter besvarades inte trots påstötningar och de inblandade parterna var i flera fall allmänt ovilliga att lämna information. Intervjuer och workshops fick tillgripas. Ett planerat underlag för prioritering av FoU-insatser i SD försenades. Rapporten är enligt min mening ytterst värdefull, både med hänsyn till de resultat som trots allt till sist uppnåddes och med tanke på framtida ”sanering” av byggbranschen. Min egen erfarenhet av de haveriutredningar jag deltagit i är att det nästan måste till dödsfall för att all faktainformation ska nå ut från inblandade konstruktörer och entreprenörer (se t ex Eschedeolyckan på sidan 73 i treårsrapporten från CHARMEC).

Arbetsrapporterna nr 22-27

Dessa arbetsrapporter är utgivna augusti 2002 - april 2003. Innehållet i en internationell workshop i Oakland CA 2001 redovisas (nr 22). SGI deltog där med en Special Report from Europe. Samarbete mellan SD och National Deep Mixing Program (NDM) i USA diskuterades. California Department of Transportation är en känd aktör inom djupstabilisering. Tyréns Infrakonsult och LCM (tidigare LC-Markteknik) har i fält studerat inverkan på blandningsprocessen (nr 23). Databearbetningen sker föredömligt med statistisk flervariabelanalys. Cementa redovisar intressanta laboratorieprovningar (nr 24) med olika peptiseringsmedel för inblandning i lera vid djupstabilisering. Vattenglas visade sig vara en lovande kandidat.

Samtidig stabilisering och solidifiering av förorenad jord behandlas av SGI i en framtidsinriktad förstudie (nr 25). Cementa diskuterar den lösare övergångszon som konstaterats mellan kalkcementpelare och den omgivande oförstärkta leran (nr 26). Laboratorieprovning sker dock med enbart cementpelare. Tyréns Infrakonsult och LCM har gjort en kompletterande fältstudie (nr 27) av blandningseffektiviteten för kalkcementpelare. Ett gott resultat konstaterades för ökande BRN (Blade Rotation Number = antalet blad på blandningsverktyget multiplicerat med antalet rotationer hos verktyget per meter stigning). Blandningseffektiviteten och spridningen kring denna nådde acceptabelt högt respektive lågt värde för BRN = ca 400.

Arbetsrapporterna nr 28-33

Dessa arbetsrapporter är utgivna augusti 2003 - juni 2004. Det avslutande steget gällande projektet med stabilisering av torv i laboratoriemiljö behandlas i en sedvanligt välskriven rapport (nr 28) från LTU. En så kallad ringtest (Round Robin) med laboratorierna vid LTU, SGI och SCC Viatek (Finland) som aktörer har genomförts. En Designguide Soft Soil Stabilisation från EU-projektet (Brite EuRam) EuroSoilStab används. Resultatet blev tämligen nedslående med stora avvikelser. Förbättringar avseende uniformering av provens preparation föreslås.

Ett välskrivet examensarbete (nr 28) vid KTH behandlar hållfasthetsfördelningen i kalkcementpelare i fält inkluderande statistisk analys och interpolationsmetoden "kriging" (intressant ny bekantskap för mig). Metoden används för att åskådliggöra hållfasthetens spridning över en pelares tvärsnittsyta.

Eventuell påverkan av stabiliserad jord på miljön behandlas i en rapport (nr 30) från SGI(?). Urlakningen av svavel kan vara ett problem. Detta svavel kan finnas i stabiliseringsmedlet och/eller den orörda jorden. Ett märkligt och oförståeligt försök (?) till ändring av slutsatserna finns på sidan 22. I ett välgjort examensarbete (nr 31) från KTH behandlas övergångszonen mellan kalkcementpelare och lera i en laboratoriemodell. Arbetet bildar underlag för en uppsats till konferensen i maj 2005.

Två workshops har av SD anordnats i Göteborg i december 2002 respektive Stockholm i april 2003 med inbjudna deltagare från beställare, konsulter och entreprenörer. Den gemensamma titeln är Kalkcementpelare som jordförstärkning – hur kan vi åstadkomma rätt funktion? Resultatet redovisas i en rapport (nr 32) och har kommenterats ovan (se nr 21). Initiativet från SD anser jag vara synnerligen gott och innehållet i rapporten är mycket läsvärt.

En sista mönsterpublikation (nr 33) är ännu ett examensarbete från LTU, denna gång behandlande stabilisering av sulfidjord och baserat på litteraturstudier och laboratorieförsök.Handledare vid LTU för examensarbetena där har varit Kerstin Pousette och Bo Westerberg.

Rapporterna nr 1-4

SD:s rapporter nr 1-12 har utgetts under åren 1997-2003 och de har (till skillnad från arbetsrapporterna) från början varit öppet tillgängliga. De fyra första bedömde jag även vid min utvärdering i september 1999. Högre krav på vetenskapligt innehåll kan här ställas än på de tidigare kommenterade arbetsrapporterna.

Erfarenhetsbank för kalkcementpelare (nr 1, 154 sidor) av Torbjörn Edstam (Chalmers och SGI) från år 1997 är en väldisponerad och stringent gjord sammanställning med hjälp av en arbetsgrupp och en referensgrupp. En sökbar databas har skapats. Precis så bör ett ambitiöst FoU-projekt inledas.

Kalktypens inverkan på stabiliseringsresultatet (nr 2, 39 sidor) av Helen Åhnberg (SGI) och Håkan Pihl (Partek Nordkalk) från år 1997 redovisar också på ett koncist sätt en förstudie.

Stabilisering av organisk jord med cement- och puzzolanreaktioner – Förstudie (nr 3, 57 sidor) av Karin Axelsson (Skanska), Sven-Erik Johansson (Cementa) och Ronny Andersson (Cementa) från år 2000 är ytterligare en väl redovisad förstudie.

Provbänk på kalk/cementpelarförstärkt gyttja och sulfidhaltig lera i Norrala (nr 4, 77 sidor) av Rolf Larsson (SGI) från år 1999 är en intressant och välskriven rapport.

Rapporterna nr 5-8

Masstabilisering (nr 5, 154 sidor) av Nenad Jelusic (Vägverket Region Mitt) utgör författarens licentiatavhandling vid LTH från år 2000. Den beskriver ett antal redan utförda projekt och fortsätter med en redogörelse för inblandningsförsök i torv i en ”egen” försökslokal i Hälsingland.

Blandningsmekanismer och blandningsprocesser – med tillämpning på pelarstabilisering (nr 6, 199 sidor) av Stefan Larsson (Tyréns Infrakonsult) är författarens licentiatavhandling vid KTH från år 2000. Med stöd av omfattande litteraturstudier har sammanställts vad jag skulle vilja karakterisera som ett utförligt kompendium med värdefulla kommentarer. Avslutningsvis beskrivs några fältförsök och diskuteras framtida forskning.

Deformation Behaviour of Lime/Cement Column Stabilized Clay (nr 7, 203 sidor) av Sadek Baker (Chalmers) är författarens doktorsavhandling vid Chalmers från år 2000. Den innehåller vad jag kan se allt man kan kräva av ett gott doktorsarbete i ett tillämpat ämne. Litteraturstudier, teori, analys, numerik och experiment (i laboratorium och fält) ingår. Konstitutiva ekvationer och sättningsberäkningar diskuteras och tre olika matematiska modeller lanseras och prövas. Konstruktion och bruk av Chalmers stora (diameter 500 mm och höjd 500 mm) triaxialcell beskrivs. Finita elementberäkningar sker med ABAQUS och PLAXIS.

Djupstabilisering med kalkcementpelare – metoder för produktionsmässig kvalitetskontroll i fält (nr 8, 188 sidor) av Morgan Axelsson (KTH) är författarens licentiatavhandling vid KTH från år 2001. Den är mycket välskriven och visar på distans till ämnet. Lite häpen blir man dock av att läsa en litteraturhänvisning som motivering för sambandet mellan elasticitetsmodul E och skjuvmodul G.

Rapporterna nr 9-12

Olika bindemedels funktion vid djupstabilisering (nr 9, 52 sidor) av Mårten Janz (CBI) och Sven-Erik Johansson (Cementa) är en synnerligen välskriven och instruktiv sammanfattning av materialet från en av SD anordnad kurs hösten 1999. Själv återupplivade och nylärde jag mig åtskilligt tack vare rapporten. Inte att undra på att man i USA hos NDM önskat en översättning, se Arbetsrapport nr 22 ovan.

Mitigation of Track and Ground Vibrations by High Speed Trains at Ledsgård, Sweden (nr 10, 56 sidor) av Göran Holm (SGI), Bo Andréasson (J&W), Per-Evert Bengtsson (Peab, tidigare SGI), Anders Bodare (KTH) och Håkan Eriksson (Hercules) från år 2002 har jag läst i detalj även av det skälet att vi i CHARMEC genom forskaren Torbjörn Ekevid arbetat med problemet (han doktorerade 2002 vid Chalmers Byggnadsmekanik). Redogörelsen som sådan är god. Tyvärr är tryckningen av rapporten inte den bästa. Bl a kan man i någon figur inte läsa texten. I sammanhanget vill jag nämna ett examensarbete från februari 2005 vid Chalmers Tillämpad mekanik (Finite Element Rail Vibration Dynamics – Ground Improvement with Lime-Cement Columns, av Martin Larsson och Sebastian Berg) där effektiviteten hos olika konfigurationer av pelare undersöks numeriskt med avseende på vibrationer både i spåret och vid sidan av spåret.

Miljöeffektbedömning (LCA) för markstabilisering (nr 11, 97 sidor) av Tomas Rydberg (Chalmers IndustriTeknik, CIT) och Ronny Andersson (Cementa) från år 2003 är en rapport med ett första steg mot en modern livscykelbedömning av för- och nackdelar hos stabilisering med kalk-cement jämfört med t ex bortschaktning och ersättning (med t ex cellplast eller lättklinker) av sättningsbenägen jord.

Mixing Processes for Ground Improvement by Deep Mixing (nr 12, 217 sidor) av Stefan Larsson (Tyréns Infrakonsult) är vederbörandes doktorsavhandling vid KTH år 2003. Den första hälften är en översättning av licentiatavhandlingen, se nr 6 ovan.

Litteraturgenomgången är imponerande med ca 350 referenser. Fältprov redovisas och utvärderas statistiskt. Erforderliga experimentella mätningar för att med tillräcklig tillförlitlighet kunna fastställa uppnådd hållfasthet diskuteras på ett förtjänstfullt sätt. Avhandlingen inleds med en halvsida (här Acknowledgement) som ger ett tveksamt förstahandsintryck därför att den lider av ett vanligt fel i avhandlingssammanhang. Avsnittet i fråga har sannolikt skrivits sent före tryckningen och inte hunnit bli ”tvättat” av en engelsk språkgranskare.

Sammanfattningsvis finner jag att de 12 rapporterna ovan håller en god vetenskaplig standard. Har inga nya rapporter tillkommit under åren 2004 och 2005?

De 13 särtrycken från konferenshandlingarna i maj 2005

Jag börjar med Göran Holms Keynote Lecture och tar sedan de övriga uppsatserna i bokstavsordning efter författarnamn. Som tidigare efterlyser jag som stöd för min bedömning det review-förfarande som tillämpats vid urvalet och accepterandet av bidragen till konferensen.

Keynote Lecture: Towards a sustainable society – recent advances in deep mixing, av Göran Holm (SGI).

Att se djupstabilisering inte bara som en utförandetekniskt och penningekonomiskt bra metod för markförstärkning utan också som ett led i strävan mot en hållbar utveckling är ett intressant grepp, se Rapport nr 11 ovan. Mindre åtgång av sand och grus, färre transporter till och från arbetsplatsen samt återbruk av industriella restprodukter betonas. Svenska, europeiska och amerikanska erfarenheter rapporteras. Den nya Europastandarden CEN TC 288 berörs. FoU-framsteg och nyliga tillämpningar beskrivs med hänvisning till nationell och internationell litteratur. Jag läste denna översikt med stor behållning.

Lime/cement column stabilised soil – a new model for settlement calculation, av Claes Alén (Chalmers), Sadek Baker (Skanska Teknik), Per-Evert Bengtsson (SGI) och Göran Sällfors (Chalmers).

En klar och välskriven presentation ges baserad på Boussinesqs klassiska lösning för punktlast på en elastisk halvrymd. Lösningen utnyttjas som influensfunktion när godtycklig last verkar på kompositen av pelare och jord. Inklusive diverse förenklade antaganden når man fram till ett datorprogram att användas i praktisk tillämpning. Uppsatsen är lätt att följa. Här, och vid något tidigare tillfälle, har jag i förstone blivit förbryllad av formuleringar som ”no stress distribution is applied” när skribenterna uppenbarligen menar ”no stress redistribution”.

Test embankment on lime/cement stabilized clay, av Claes Alén (Chalmers), Sadek Baker (Skanska Teknik), Jan Ekström & Anders Hallingberg (Vägverket Region Väst) samt Victoria Svahn & Göran Sällfors (Chalmers).

Mellan Göteborg och Trollhättan ska motorväg och ny järnväg för snabbtåg byggas längs östra sidan av den lerfyllda Göta älvdalen. Inför dessa stora investeringar har tre provbankar byggts i Stora Viken, Surte respektive Nödinge vilka inklusive undergrunden beskrivs i uppsatsen. Också några kalkcementpelare installerades. På ett klart sätt redovisas materialegenskaper och uppmätta vertikala- och horisontalrörelser på olika djup och vid olika tidpunkter.

Stabilisation of sulphide soil – laboratory and planned full-scale tests of soil from Umeå in Northern Sweden, av Mattias Andersson, Yvonne Rogbeck & Göran Holm (SGI) samt Bo Westerberg (LTU) och Josef Mácsik (Ecoloop).

Med hänvisning till examensarbeten vid LTU och till Josef Mácsics licentiat- och doktorsavhandlingar därstädes beskrivs försök med olika bindemedel. Haltande engelska fördröjer läsningen av uppsatsen.

Deformation properties of lime/cement columns. Evaluation from in-situ full scale tests of stabilised clay, av Sadek Baker (Skanska Teknik) samt Göran Sällfors & Claes Alén (Chalmers).

På ett av provområdena i Göta älvdalen, som nämnts ovan, har kalkcementpelare installerats med en horisontell platta längst ner varifrån en där förankrad wire centriskt löper upp genom pelaren (anordningen benämns MOPS). Med wiren som mothåll utsätts pelarna för en axiell tryckkraft via en horisontell platta på toppen. Pelartoppens nedtryckning registreras för ökande tryckkraft. Vidare görs permeabilitetsprov i pelare försedda med ett runt hål i mitten vilket avgränsas med två manschetter

och trycksätts på den avgränsade sträckan. Uppsatsen är intressant att läsa. Är MOPS en innovation, frågar man sig. Vad betyder M i sammanhanget?

Stabilisation and solidification of contaminated ground – a preliminary study, av Göran Holm, Yvonne Rogbeck & Christina Berglund (SGI).

Erfarenheter, potential och framtidsutsikter diskuteras. Vid sidan av tillämpningar i Finland, Storbritannien och USA beskrivs arbetet utanför den gamla Lumafabriken i Hammarby Sjöstad. Flera avsnitt i uppsatsen lider av en mängd irriterande språkfel som fördröjer läsningen av en i övrigt intressant text.

Environmental effects of deep mixing – laboratory analyses, av Karsten Håkansson (GeoInnova), Helen Åhnberg (SGI) och Sven-Erik Johansson (Cementa).

På ett förtroendeingivande sätt rapporteras utförda laboratorieexperiment med leror avsatta i bräckvatten respektive saltvatten. Olika stabiliseringsmedel tillsattes. Läckageprov utfördes enligt en Europainorm (EN). En jämförelse med gränsvärden visar positiva resultat (låg läckage) utom för svavel där läckaget var något för stort i förhållande till vad som accepteras för inert avfall.

A laboratory study on the transition zone surrounding lime-cement columns, av Stefan Larsson (Tyréns) och Mirja Kosche (SWECO VBB).

Modellförsök med kalkcementpelare med diameter 50 mm placerade i kaolin har utförts på KTH i anslutning till examensarbetet som beskrevs i Arbetsrapport nr 19. Olika proportioner kalk/cement, med och utan peptidinblandning, användes. Vid olika åldrar 7 till 90 dygn och på olika radiella avstånd från pelaromkretsen ut mot omgivningen mättes med konprov den så kallade stabiliseringseffekten (odränerad skjuvhållfasthet i förstärkt material dividerad med motsvarande hållfasthet i den oförstärkta leran). Den låghållfasta övergångszonen befanns vandra ut från pelarranden med ökande ålder hos pelarinstallationen. Peptiden hade ett ogynnsamt inflytande på hållfastheten. Uppsatsen är intressant till innehållet och är stringent skriven.

Findings of the work on influencing factors on the installation process for lime-cement columns, av Stefan Larsson (Tyréns) och Lars Nilsson (Ramböll).

De omfattande fältförsöken vid Håby och Strängnäs beskrivs. Statistisk flervariabelanalys tillämpas på resultaten av mätningar med trycksond över det frilagda pelartvårsnittet. Slutsatsen är att ett tillräckligt högt BRN (Blade Rotation Number) är avgörande för att uppnå en god

inblandning och därmed en stabiliseringseffekt som har både ett högt medelvärde och en låg spridning kring detta. Uppsatsen är välskriven. Den bygger på tidigare (ovan redovisade) arbeten.

Properties of 10-year-old lime-cement columns, av Hjördis Löfroth (SGI).
Hållfastheten hos gamla kalkcementpelare vid Kungsbacka och Munkedal har undersökts i fält med traditionell kalkpelarsond och i laboratorium på uttagna standardprovkroppar (från uppgrävda pelare) i både enaxliga tryckförsök och triaxialförsök. Hållfastheten hade i Kungsbacka ökat för hela pelarna men i Munkedal bara i de övre partierna av pelarna. Partier med dålig inblandning och låg hållfasthet konstaterades på vissa djup i några pelare. En långsam migration av kalcium från pelarna ut i den omgivande leran och gyttjan uppmättes ha skett. Redogörelsen är välskriven.

Down-hole technique improves quality control on dry mix columns, av Håkan Mattsson (GeoVista), Rolf Larsson & Göran Holm (SGI) samt Niklas Dannewitz & Håkan Eriksson (Hercules Grundläggning).
En ny och ickeförstörande metod har utvecklats och provats för seismisk mätning av egenskaperna hos kalkcementpelare i fält. Först beskrivs en laboriemetod där så kallade bender-element (tunna böjveka plåtar) placeras på under- och översidorna av den cylindriska provkroppen. I stället för att använda ett traditionellt tryckprov anbringas man en elektrisk puls på ett av elementen varvid denna platta böjs och genererar en skjuvvåg i provkroppen. När skjuvvågen når det motsatta elementet böjs detta och skapar i sin tur en elektrisk puls. Därmed kan gångtiden för vågen mätas och vågutbredningshastigheten beräknas. Denna står i relation till skjuvmodulen och skjuvhållfastheten hos det provade materialet. I fältförsök används geofoner på olika djup i ett vertikalt hål i pelaren vilka mäter ankomsttiden för i toppen på pelaren genererade vågor (kompressionsvåg och skjuvvåg). Därmed fås gångtiderna utmed olika vertikala partier av pelaren och motsvarande hållfastheter kan beräknas med stöd av den i laboratorium fastställda relationen mellan skjuvhållfasthet och vågutbredningshastighet. Installation och mätning skedde i 26 pelare och jämförelse gjordes med resultaten från traditionella prov med kalkpelarsond. Det föreslås att plaströr placeras i framtida testpelare vid deras installation så att geofoner senare enkelt kan föras ned där. Uppsatsen är välskriven och innehållet inspirerande.

Laboratory tests of stabilised sulphide soil from Northern Sweden, av Bo Westerberg & Kerstin Pousette (LTU), Yvonne Rogbeck & Mattias Andersson (SGI) samt Tomas Norrman (Ramböll).

Utmed Botniabanans sträckning vid Umeå har ostörda prover av siltig sulfidhaltig lera hämtats och undersökts i laboratorium. Proven i laboratorium fortsattes med olika tillsatta stabiliseringsmedel så som redan beskrivits i examensarbetet i Arbetsrapport nr 33.

Increase in strength with time in soils stabilised with different types of binder in relation to the type and amount of reaction products, av Helen Åhnberg (SGI) och Sven-Erik Johansson (Cementa).

Två leror och en gytta provades i laboratorium med inblandning av olika stabiliseringsmedel. Enaxliga tryckprov utfördes efter 7, 28, 91 och 364 dagar med CRS = (1,5%)/min. Hydratiserings- och puzzolanprocessernas kemi och inblandningsmängdernas inflytande på hållfastheten gås igenom. Tidsaspekten för reaktionerna betonas. Detta är en välskriven och intressant uppsats.

De 5+10 separata uppsatserna

Också här sorterar jag uppsatserna efter författarnamn. Irriterande är att datering och publiceringsmedium inte anges på alla de arbeten som sänts till mig. Vidare har någon författare skickat med uppsatser från SD-konferensen 1999 medan andra författare, som kanske också bidrog 1999, inte har gjort så. Hur som så kommenterar jag alla de 15 uppsatserna.

Column penetration tests for lime-cement columns in deep soil mixing – experiences in Sweden, av Morgan Axelsson (Skanska Teknik) och Stefan Larsson (Tyréns Infrakonsult), i Proceedings ??International Conference on Grouting and Ground Treatment, ??????, pp 681-694.

Morgan Axelssons licentiatavhandling, se Rapport nr 8, bildar underlag för uppsatsen. En historisk återblick ges på olika metoder att experimentellt fastställa uppnådd hållfasthet hos en pelare inklusive vanlig pelarsondering (uppifrån) och omvänd pelarsondering. Fältförsök vid Arboga och Gamleby rapporteras. En slutsats är att omvänd pelarsondering med förinstallerad sond inte är tillförlitlig därför att wiren stör blandningsprocessen. Sonden med sin wire bör i stället föras ned uppifrån efter det att inblandningen av kalk-cement skett. Uppsatsen ger ett gott intryck bortsett från två oläsliga formler (men jag vet sedan tidigare vad där ska stå).

Inblandningsprocessen vid kemisk pelarstabilisering – en översikt, av Stefan Larsson (Tyréns Infrakonsult), i Handlingarna XIII Nordiska Geoteknikermötet i Helsingfors juni 2000 (NGM-2000), pp 241-250, samt ett rättelseblad.

Materialet i författarens licentiatavhandling (och senare doktorsavhandling) rekapituleras på ett överskådligt sätt. Det är lovvärt att en sådan spridning sker av kunskaperna förvärvade i SD.

On the use of CPT for quality assessment of lime-cement columns, av Stefan Larsson (Tyréns Infrakonsult), i Proceedings International Conference on Deep Mixing – Best Practise and Recent Advances, Stockholm maj 2005, pp ???-???.

Haverimekanismen i Norrala 1997 har undersökts i fält för de kalkcementpelare som var avsedda att fungera som en stabiliserande skiva. Med CPT (Cone Penetration Test) i lutande riktningar (upp till ca 45 grader) skedde sonderingen genom övergångszonerna mellan de enskilda vertikala pelarna. Uppmätta minimivärden för hållfastheten tros hänföra sig till just dessa zoner. Dock konstaterades att ingen rörelse skett mellan de individuella pelarna i det övre partiet av vägbanken utan att detta parti vid skredet hade rört sig som en stelkropp inklusive pelarna.

Shear box apparatus for modelling chemical stabilised soil – introductory tests, av Stefan Larsson (Tyréns Infrakonsult), i Proceedings International Conference Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization, Stockholm oktober 1999, pp 115-121.

Vertikala kalkcementpelare med diameter 50 mm och längd 500 mm installerades i kaolinlera i en box med diameter 500 mm (och höjd 500 mm). Övre halvan av boxen skjuvades horisontellt i förhållande till den fasta nedre halvan under stegvis pålagd horisontell last. Sambandet mellan last och förskjutning registrerades och brottmekanismerna för pelarna studerades. Uppsatsen handlar mest om uppbyggnaden av försöket.

State of practise report: Execution, monitoring and quality control, av Stefan Larsson (Tyréns), i ??????? (46 sidor).

En imponerande översikt ges vilken är stödd på ca 250 referenser inklusive sådana till konferensen i maj 2005.

The mixing process at the dry jet mixing method, av Stefan Larsson (Tyréns Infrakonsult), i Proceedings International Conference Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization, Stockholm oktober 1999, pp 339-346.

Innehållet svarar i stort mot författarens licentiatuppsats i Rapport nr 6 från SD, se ovan.

On the assessment of the mixing quality when using the dry jet mixing method, av Stefan Larsson (Tyréns Infrakonsult) samt Morgan Axelsson & Sven-Erik Rehnman (KTH), i ?????? (7 sidor).

Detta förefaller att rapportera förarbeten till Stefan Larssons licentiat- och doktorsavhandlingar. Uppsatsen är välskriven.

Shear box model tests with lime/cement columns – some observations of failure mechanisms, av Stefan Larsson (Tyréns Infrakonsult) och Bengt Broms (KTH), i ?????? (6 sidor).

Den ovan beskrivna boxen med 500 mm diameter och fylld med kaolinlera har använts för installation av tre olika konfigurationer av 12 kalkcementpelare med diameter 50 mm. Brottmekanismerna studerades i fem försök med skjuvning av boxens övre halva i förhållande till den nedre. I ett av försöken hade en skruvförankring placerats diagonalt genom var och en av två rader pelare. Man fann att pelarna i skivkonfiguration presterade en skjuvhållfasthet per pelare som var 3 à 4 gånger större än när pelarna placerats separat. Skruvankare höjde skjuvhållfastheten ytterligare. Försöken är klart och koncist rapporterade.

Deep stabilisation of soft soils – laboratory method for design and development of the dry jet mixing method, av Stefan Larsson (Tyréns Infrakonsult) samt Sven-Erik Rehnman & M Walter (KTH), i Proceedings Geotechnical Engineering for Transportation Infrastructure, ??????, 1999 (6 sidor).

Inblandningsverktygets deponerade energi (kJ/m^3) mäts med resultatet att högre energi leder till högre hållfasthet hos de i laboratorium studerade kalkcementpelarna med diameter 50 mm och höjd 170 mm. Jag noterar att Stefan Larsson senare i sin forskning föredrar BRN (Blade Rotation Number) som ett mått på inblandningsarbetets effektivitet i fält.

Effects of back pressure and strain rate used in triaxial testing of stabilized organic soils and clays, av Helen Åhnberg (SGI), i ASTM Geotechnical Testing Journal, vol 27, nr 2, 2004, pp 1-10.

I denna välskrivna och tydliga uppsats belyses den initiella hållfasthetstillväxten vid inblandning av stabiliseringsmedel på grund av minskat vatteninnehåll (vid hydratisering) och påpekas den påföljande

återmättnaden i fält. Vidare diskuteras hur avgången av porvatten i triaxialförsök och den där uppmätta hållfastheten beror av det fasta hydrostatiska trycket och den pålagda vertikala hoppresningshastigheten. Torv, gyttja och två slags lera användes i laborieförsöken. Belastningstider till brott från mindre än en halvtimme upp till ett dygn provades. För att bäst efterlikna verkliga förhållanden i fält för stabiliserad jord med full vattenmättnad föreslås, med viss reservation, triaxialförsök med hydrostatiskt tryck 400 kPa och töjningshastighet (0,02%)/min.

Effects of consolidation stresses on the strength of some stabilised Swedish soils (utkast 15 februari 2005), av Helen Åhnberg (SGI), för publicering i Ground Improvement (28 sidor).

Bräckvattenlera och saltvattenlera studerades i laboratorium. På basis av resultaten i föregående arbete valdes hydrostatiska trycket 400 kPa som också garanterar att eventuellt innesluten luft löses i porvattnet. Utöver triaxialförsöken utfördes vanliga enaxliga tryckprov och ödometerprov. Flera stabiliseringsmedel testades. Konsolideringen av provkropparna skedde vid 20, 80, 160 och 240 kPa. Man fann att valet av stabiliseringsmedel hade relativt liten inverkan och att valet av provningsmetod hade mindre betydelse i de fall den slutliga hållfastheten var låg (upp till 300 kPa). Vid högre slutlig hållfasthet bör man vid laborieprovning beakta att stabiliserad mark i fält vanligen återtar full vattenmättnad. Uppsatsen är välskriven (om än något mångordig). En omfattande litteraturgenomgång ingår.

Measured permeabilities in stabilised Swedish soils, av Helen Åhnberg (SGI), i Proceedings 3rd International Conference on Grouting and Ground Treatment, New Orleans 2003, pp 622-633.

Permeabiliteten (m/s) hos en gyttja, en bräckvattenlera och en saltvattenlera undersöktes i laboratorium ett dygn, en månad och ett år efter inblandning av olika slag av stabiliseringsmedel. Den hydrauliska gradienten varierade mellan 40 och 60 m/m. Med ökande hållfasthet befanns permeabiliteten sjunka. Jämförelse skedde med fältförsök där vanligtvis högre permeabilitet konstateras vilket tillskrivs den lägre graden av homogenitet hos den stabiliserade jorden.

On yield stresses and the influence of curing stresses on stress paths and stresses measured in triaxial testing of stabilised soils (utkast 15 juni 2005), av Helen Åhnberg (SGI) för publicering i ?????? (19 sidor).

Inverkan av så kallat kvasi-förkonsolideringstryck studeras i triaxialförsök, dvs inverkan av ett vertikalt tryck som inte hänför sig till det äkta konsolideringstrycket i fält hos jordvolymen i fråga utan som

uppkommer under cementeringsprocessen i den stabiliserade jorden. Detta kvasi-förkonsolideringstryck, tillsammans med det hydrostatiska tryck som rått under provkropparnas förbehandling (konditionering), befanns ha störst inflytande när hållfastheten är hög.

Effect of initial loading on the strength of stabilised peat, av Helen Åhnberg, Per-Evert Bengtsson & Göran Holm (SGI), i Ground Improvement, vol 5, 2001, pp 35-40.

En redogörelse lämnas över en del av arbetet inom EU-projektet EuroSoilStab (Brite EuRam) vilket avser volymstabilisering av torvjord. Prov från Dömle Mosse behandlades med 11 olika kombinationer av bindemedel. En första slutsats är att det i fält är viktigt att omgående efter inblandningen av stabiliseringsmedel likformigt påföra ca en meter utfyllnad (makadam och grus) ovanpå torvjorden för att pressa ut eventuell luft och därmed öka hållfastheten som stabiliseringsprocessen leder till (samtidigt får man en farbar yta för tyngre fordon). En andra slutsats är att laboratorieproven bör utföras med konditionering under en initiell trycklast (t ex 18 kPa motsvarande 1,0 meter påfyllnad i fält). Uppsatsen är koncis och lättläst.

Stabilising effects of different binders in some Swedish soils, av Helen Åhnberg (SGI), Sven-Erik Johansson (Cementa), Håkan Pihl (Partek Nordkalk) och T Carlsson (SSAB Merox), i Ground Improvement, vol 7, nr 1, 2003, pp 9-23.

Återigen behandlas en gyttja (Holma Mosse), en bräckvattenlera (Linköping) och en saltvattenlera (Löftabro) i laboratieförsök. I tillägg till de traditionella stabiliseringsmedlen kalk och cement av olika typ används ugnsslagg och flygaska och även vattenglas som peptid. Också aluminatcement, gips och salt (CaCl_2) tillsattes i vissa av kombinationerna. En omfattande redogörelse lämnas över de traditionella tryckprov som utfördes efter 7, 28, 91 och 364 dygn. Inget av tillskottsämnen (flygaska, aluminatcement, salt, gips, vattenglas etc) visade sig ha någon allmänt positiv effekt. Snabb hållfasthetsökning fås med cement. En långsam hållfasthetstillväxt fås genom de puzzolanreaktioner som åtföljer kalken. Uppsatsen är välskriven och innehållet värdefullt men en bättre strukturering av framställningen hade underlättat läsningen.

Slutord

Jag har tagit del av arbetet i projektet Svensk Djupstabilisering (SD) under åren 1996-2005 genom de rapporter, avhandlingar, konferensbidrag

och tidskriftsuppsatser som sänts till mig. Därigenom anser jag mig ha fått en tämligen god överblick av verksamheten som helhet. En del av dokumentationen visar på att författarna haft vetenskapliga ambitioner medan andra delar mera har haft karaktär av kompilat eller väsentligen innehållit protokoll från rutinundersökningar. Sammantaget finner jag att man i SD väl beaktat de vetenskapliga kraven på planering, utförande och rapportering av sitt arbete.

Samarbetet med näringslivsintressenterna i SD förefaller ha varit gott att döma av de många samförfattade alstren. Internationell exponering har skett och internationella kontakter har odlats. Medarbetare i SD har publicerat sig i erkända vetenskapliga tidskrifter och deltagit i erkända internationella konferenser. Som särskilt värdefulla bedömer jag de av SD anordnade internationella konferenserna i Stockholm i oktober 1999 och maj 2005. En strävan har uppenbarligen funnits att inordna delar av arbetet i SD i vissa medarbetares utbildning och forskning med sikte mot licentiat- eller doktorsexamen. Här har man än så länge bara delvis lyckats. Strukturering och språk har i några få publikationer inte hållit den kvalitet man förväntar sig.

Till sist vill jag gärna meddela att läsningen av de många översända publikationerna förvisso varit tidskrävande men också spännande och utvecklande för mig personligen. Säkerligen har jag missförstått en del och ibland varit fel ute när det gäller terminologi m m vilket jag beklagar. Projektet SD gratuleras till redan uppnådda framgångar och tillönskas en god avslutning.

PS: I det senaste numret 2 (2005) av tidskriften Cementa läser jag just nu med intresse en uppsats av Håkan Eriksson från Hercules Grundläggning med titeln Nya möjligheter för jordförstärkning och pålning. En Modified Dry Method (MDM) har utvecklats där både vatten och cement tillsätts vid neddrivningen av blandningsverktyget och där resterande cement tillsätts vid uppdragningen. Mera stabiliseringsmedel sägs därmed kunna effektivt blandas in. En grundläggning i Halmstad har skett på MDM-pelare med diameter 600 mm och 450 kg Byggcement per kubikmeter jord. Bärförmågan per pelare uppges vara 250 kN. Utvecklingsarbetet har stötts av SBUF. I uppsatsen framhålls fördelen i känsliga byggnadsmiljöer med denna djupstabilisering framför traditionell påslagning. DS

Projekt Svensk Djupstabilisering Utvärdering

Göran Fagerlund
professor em., LTH

Innehåll	Sid
1. Uppdraget	2
2. Underlag för utvärderingen	2
3. Projekt Svensk Djupstabilisering	3
4. Forskningsområden – delprojekt	5
5. Projektresultat	8
5.1 Publicering	8
5.2 Forskningsområde 1: Erfarenhet	9
5.3 Forskningsområde 2: Stabiliserad jords egenskaper	9
5.4 Forskningsområde 3: Förstärkningars funktionssätt	12
5.5 Forskningsområde 4: Utförande	14
5.6 Forskningsområde 5: Verifikation – kontroll	16
5.7 Speciella utredningar	17
5.8 Inblandningsteknik i laboratoriet. Produktion av labprover	17
5.9 ”Tillämpningsprojekt”	18
5.10 Konferenser	18
5.11 Övrigt	19
6. Sammanfattning	20

Bilaga. Publikationslista

1. Uppdraget

Mitt uppdrag, som det formulerades i ett brev daterat 2005-06-15 från projektledaren Göran Holm, är att ”göra en vetenskaplig utvärdering (peer review) av Svensk Djupstabiliserings verksamhet”. Underlaget för min utvärdering omfattar officiella rapporter, arbetsrapporter, konferensbidrag och tidskriftsartiklar ända från projektstarten. Därför tolkar jag uppdraget som att det omfattar hela projektet, från dess start 1996, till dess slut 2004, inkluderande den internationella konferensen 2005.

De första tre åren av projektet, 1996-1999, utvärderades hösten 1999. Denna utvärdering genomfördes av mig och professor Bengt Åkesson. Utvärderingen återfinns i *Arbetsrapport 13*. Eftersom utvärderingen den gången även avsåg att ge underlag till utformningen av en eventuell fortsättning av projektet gav jag även ett antal synpunkter på projektets framtida innehåll och ekonomi. Då projektet nu är avslutat avstår jag från att i föreliggande utvärdering ge *operativa* sådana synpunkter. Jag kommer alltså att koncentrera utvärderingen på uppnådda resultat.

Kommentar till min bakgrund

Jag har själv ingen praktisk erfarenhet av djupstabilisering. Likaså är mina kunskaper inom området geoteknik och grundläggning tämligen elementära. Min kunskap ligger framförallt inom området betongteknik och bindemedelsteknik. Dessa båda områden är centrala även inom djupstabilisering. Jag har dessutom erfarenhet av att formulera, leda och delta i större nationella och internationella forskningsprojekt. Min bakgrund gör att min utvärdering av enskilda projekt inte kommer att ske på detaljnivå utan att utvärderingen koncentreras till projektets allmänna uppläggning och på uppnådda resultat i stort.

2. Underlag för utvärderingen

Utvärderingen baseras på följande skriftliga material översänt genom Göran Holm, SGI. En lista över allt studerat material återfinns i Bilagan.

- 12 Officiella rapporter (nedan kallade SD-rapporter).
(Ytterligare en SD-rapport, nr 13, är konferenshandlingar från den internationella konferensen i Stockholm 2005. Jag har inte haft tillgång till alla dessa, däremot till artiklar från SD-projektet)
- 35 Arbetsrapporter (nedan kallade A-rapporter)
- 28 konferensbidrag och tidskriftsartiklar (nedan kallade P)
OBS: Det framgår oftast inte om det aktuella arbetet utgör ett konferensbidrag eller en artikel. I flertalet fall framgår det inte heller inte till vilken konferens eller tidskrift som arbetet hänförs. Detta har dock inte påverkat min bedömning eftersom jag anser att innehållet är viktigare än publiceringsformen.

Dessutom har jag haft tillgång till 4 Verksamhetsplaner för åren 2002 – 2004 avseende fortsättningsprojektet SD 2004.

Information om de två genomförda internationella konferenserna i Stockholm 1999 och 2005 har hämtats från projektets hemsida.

3. Projekt Svensk Djupstabilisering

3.1 Varaktighet

Projektet pågick mellan åren 1996 och 2004 med begränsad verksamhet även under 2005. Det ursprungliga 5-åriga projektet (SD) kompletterades under 2002 med ett 3-årigt förlängningsprojekt (SD 2004). Enligt uppgift från Göran Holm, SGI baserades denna förlängning på en utvärdering som genomfördes 2001.

3.2 Mål

Projektets mål som de formulerades i den ursprungliga FoU-planen var följande:

1. Att möjliggöra användning och upphandling utifrån funktionskrav. Industrin skall kunna leverera system som uppfyller ställda funktionskrav.
2. Att skapa underlag för utökat användningsområde av metoden.
- 3: Att skapa exportmöjligheter för metoden.
- 4: Att möjliggöra differentieringar av metoden för att öka konkurrenskraft, ge kostnadsbesparingar, öka lönsamhet.
- 5: Att möjliggöra kortare byggtider
- 6: Att säkerställa hög och bred kompetens och ett välutvecklat kontaktnät mellan beställare, entreprenör, materialleverantör, forskare.

3.3 Finansiering

Projektet har finansierats av enskilda företag, byggande myndigheter samt enskilda (SBUF) och statliga (BFR/Formas) forskningsråd. Dessutom anges även högskolor och SGI som medfinansierare till sina egna delprojekt. Förlängningsprojektet SD 2004 har enligt verksamhetsplaner saknat stöd från statliga forskningsfinansierare som Formas och NUTEK.

Exakt hur mycket medel som stått till det totala projektets förfogande och hur dessa använts har inte meddelats mig. Mitt intryck baserat på redovisade budgetar är att projektet genomförts med påfallande små ekonomiska resurser. Den årliga budgeten, som är av storleksordningen 2 Mkr, kan jämföras med kostnaden för ett enda experimentellt forskarmanår på högskolan som är ca 1 Mkr. Den begränsade projektbudgeten har naturligtvis påverkat den möjliga omfattningen av grundläggande forskning vid högskolor och SGI.

Vid den tidigare utvärderingen (A13) framgick att medel från ett flertal projektdeltagare från industri och myndigheter helt eller delvis bestod av s.k. egeninsats, dvs. av medel som används inom resp. företag i samband med deras deltagande i framförallt fältprojekt. Detta förefaller enligt redovisade budgetar även vara fallet även i fortsättningsprojektet SD 2004.

3.4 Projektstyrning

Projektet leddes formellt av en styrgrupp. Projektledare för det totala projektet var Göran Holm vid SGI. Projektet uppdelades i ett stort antal delprojekt vilka vart och ett leddes av en delprojektledare.

3.5 Deltagare och genomförande

Projektet har bedrivits dels som rena forskningsprojekt utförda av professionella forskare eller studenter vid högskola och SGI, dels som fältprojekt och starkt tillämpade projekt, till viss del genomförda av personal från deltagande företag och myndigheter. Fördelningen i antal på olika typer av aktiva deltagare är:

- 3 Byggnad och förvaltande myndigheter
Vägverket, Banverket, Luftfartsstyrelsen
- 11 Företag
 - 4 konsultföretag*
 - 3 entreprenörer*
 - 4 materialtillverkare*
- 5 Forskningsorganisationer
 - 1 forskningsinstitut (SGI)*
 - 4 högskolor (CTH, KTH, LTH, LTU)*

3.6 Allmänna synpunkter

Projekttiden är lång jämfört med vissa andra tidigare genomförda nationella projekt inom byggområdet, t.ex. projekt Högpriesterande Betong. Den långa projekttiden är i detta fall en fördel eftersom en så stor och väsentlig del av projektet utgörs av fältundersökningar och uppföljningar av utförda projekt. Finansierarnas uthållighet är därför mycket glädjande.

Projektets stora bredd, med deltagande av i stort sett alla intressenter inom området djupstabilisering, är en klar fördel. Inte minst anser jag att myndigheternas aktiva deltagande varit viktigt eftersom man därigenom fick tillgång till ett stort och varierande antal praktikfall. Det hade naturligtvis varit önskvärt om fler entreprenörer (utförare) hade deltagit i projektet, och att de gått in med större medel. Resultaten från projektet hade då kunnat få större spridning, inte minst i samband med byggexport.

Eftersom de deltagande myndigheterna är stora användare av djupstabilisering kan projektet till viss del betraktas som ett *”teknikupphandlingsprojekt”* där teknik utvecklas i samspel mellan producent och användare. Man skulle önska att flera forsknings- och utvecklingsprojekt av denna typ, där köpare och producent har gemensamma intressen, kunde etableras inom byggområdet.

Som påpekades redan i min utvärdering 1999 (A13) är det bristande samstämmighet mellan de mycket omfattande målen för projektet och tillgängliga medel. Projektets ekonomiska ramar förefaller nämligen vara små, vilket tycks ha påverkat möjligheten att utföra mera djupgående studier vid forskningsinstitut och högskolor. Det hade varit önskvärt om finansierarna hade ökat kontantstödet till projektet så att mera grundläggande forskning hade kunnat bedrivas. De få doktorandprojekt som bedrivits vid CTH, KTH och LTH med stöd av SD har varit framgångsrika och utgör några av de viktigaste resultaten av projektet. Även flera examensarbeten vid LTU och KTH har god nivå vilket visar att högskolans resurser hade kunnat tillvaratas bättre genom ett större ekonomiskt stöd.

4. Forskningsområden-delprojekt

4.1 Uppdelning i projekt

Projektet var uppdelat i ett antal *forskningsområden*, vilka i sin tur var uppdelade i ett antal *delprojekt*, vilka vart och ett leddes av en projektledare (antal inlämnade arbeten - rapporter, konferensbidrag, tidskriftsartiklar- inom resp. område enligt min översiktliga, möjligen felaktiga, klassificering anges inom parentes):

1. Erfarenheter (3)

- Erfarenhetsåterföring

2. Stabiliserad jords egenskaper (18)

- Inverkan av typ av bindemedel
- Avancerad provning
- Kemiska reaktioner
- Inverkan av härdningstemperatur
- Inverkan av konsolideringsspänning
- Dynamisk påverkan
- Beständighet och långtidsegenskaper (uppdelat i 3 underprojekt: Långtidslagrade laboratorieprover; gamla pelare i fält; beständighet)
- Gränszon pelare-jord
- Påverkan på miljön

3. Förstärkningars funktionssätt (11)

- Pelarstabilisering i skivor, stabilitet hos slänter, skärningar och banker
- Pelarstabilisering mellan sponter
- Masstabilisering. Beräkningsmodell för långtidsdeformationer. Fältmetoder för egenskapsbestämning
- Utveckling av beräkningsmodell för sättningsprognoser

4. Utförande (15)

- Peptisering
- Inblandningsmekanismer vid djupstabilisering. Laboratorie- och fältförsök
- Stabilisering av sulfidjord

5. Verifikation-Kontroll (6)

- Kontrollmetoder

Förutom dessa mera omfattande forskningsområden/delprojekt genomfördes ett antal andra aktiviteter:

Speciella utredningar (3)

- Stabilisering av förorenad mark
- LCA avseende djupstabilisering

Inblandningsteknik i laboratoriet. Produktion av labprover (5)

- Referensmetod för laboratorieinblandning och lagring av torv
- Metodbeskrivningar för inblandning av lera resp. torv

”Tillämpningsprojekt” (7)

- Fältmätningar kopplade till verkliga projekt. ”Uppdragsprojekt”

Internationella och nationella konferenser (2)

- Internationella konferenser i Stockholm 1999 och 2005
- Nationella ”Workshops” i Göteborg och Stockholm 2002 och 2003.

4.2 Allmänna synpunkter

Så vitt jag kan bedöma har alla viktiga frågeställningar beaktats vid projektuppläggningsen. Indelningen i material-funktion-utförande-kontroll är klassisk och används t.ex. även inom betongforskningen. I verkligheten är det naturligtvis inga vattentäta skott mellan t.ex. material och funktion, eller mellan utförande och funktion, och detta gäller i synnerhet inom området djupstabilisering, där t.ex. bindemedelsfrågan, som kan betraktas som en materialfråga, har avgörande betydelse för såväl möjligheten att utföra stabiliseringen som för dess funktion. Denna ”tvärkoppling” mellan områden har även beaktats i samband med genomförandet av flera av delprojekten. Detta har emellertid lett till att det vid genomgång av litteraturen inte alltid varit lätt för mig att identifiera till vilket forskningsområde, resp. till vilket delprojekt, ett visst arbete skall hänföras. Detta gäller t.ex. sådana arbeten som består såväl av fältstudier som av laboratorieundersökningar på uttagna prover. Många sådana arbeten täcker nämligen hela fältet, från material till utförande och kontroll. Denna svårighet har naturligtvis inte någon större betydelse rent sakligt, eftersom det är innehållet i arbetena som räknas. Mitt intryck är emellertid att indelningen i områden och delprojekt varit onödigt fin. Detta gäller i synnerhet materialdelen av projektet som är starkt fragmentiserad i små projekt, vilka ofta har karaktären av begränsade fenomenologiska/empiriska undersökningar utan att resultaten ger möjlighet till generell förståelse och tillämpning. Många arbeten kallas ”förstudier”, vilket är en riktig karakterisering eftersom man får intrycket av att man ofta enbart velat ”känna på” olika problemställningar för att få en uppfattning om deras betydelse.

Mycket kunskap om materialfrågor, t.ex. vad gäller inverkan av bindemedlet på stabiliseringens funktion, har samlats inom forskningsområdena Utförande och Verifikation-Kontroll. Det hade varit en fördel om sådan kunskap från de andra Forskningsområdena hade på ett bättre sätt omhändertagits (sammanställts) och om möjligt analyserats inom Materialområdet av dess experter. Detta är emellertid inte någon allvarlig kritik eftersom alla data finns redovisade för den som önskar göra sådana analyser.

Det finns mycket viktiga delprojekt som enligt min uppfattning hanterats i begränsad omfattning, t.ex. när det gäller utveckling av teoretiska modeller för stabiliserad jords tekniska funktion (deformationer, säkerhet). Det enda mer omfattande projektet av denna typ är det som genomfördes som ett doktorandprojekt vid CTH (SD7). Möjligen ansåg man inom projektledningen att existerande teorier och beräkningsmodeller som utvecklats tidigare på annat håll var tillräckliga. Det förefaller dessutom av de genomförda fältprojekten som om förhandsberäkningar av funktion och säkerhet hos stabiliseringen inte alltid genomförs, vilket medför att fältprojekten troligen i liten omfattning kunnat användas för kalibreringar av teori med verkligheten. Det intryck jag får av projektuppläggningsen är därför att ren empirisk erfarenhet, som man får genom att genomföra verkliga projekt (”trial and error”), tillmätts större betydelse än teoretiska analyser. Jag har förståelse för detta synsätt. En viktig del av målet med projektet var att ”säkerställa ett välutvecklat kontaktnät mellan beställare, entreprenör, materialleverantör, forskare”. Utan tvekan har projektuppläggningsen med dess starka inriktning på fältprojekt och dess stora bredd bidragit till att ett sådant kontaktnät kunnat byggas upp. Att så är fallet framgår inte minst av partnernas uthållighet och av att alla partners deltagit i utarbetande av rapporter och artiklar.

De nationella och internationella konferenser som genomförts bedömer jag vara mycket värdefulla. På så sätt har man såväl kunnat sprida resultat från projektet som hämta hem resultat från andra projekt.

Kommentar av semantisk art

Jag kan inte låta bli att något kommentera begreppen ”*forskningsområden*” och ”*forskningsprojekt*”. Det är alldeles uppenbart att huvuddelen av projekt SD inte ägnats det som man traditionellt kan kalla ”grundläggande forskning”, som denna bedrivs vid tekniska högskolor och forskningsinstitut, dvs. forskning inriktad på att söka generella samband, öka förståelsen av fenomen, ta fram ny kunskap av generell natur. Inte heller begreppet ”tillämpad forskning” stämmer på fletalet ”*forskningsprojekt*” inom SD. Projektet består nämligen till stor del av vad man möjligen kan kalla ”*empirisk forskning*”, dvs. att ta fram empiriska resultat från fält och lab.; resultat vilka dock i och för sig bör kunna ge underlag till fortsatt teoribygande och grundläggande förståelse.

OBS. Kommentaren ovan är av *semantisk natur* och accepteras inte nödvändigtvis av andra bedömare.

5. Projektresultat

Min utvärdering av de redovisade skriftliga resultaten av projekt Svensk Djupstabilisering följer nedan. Utvärderingen följer projektplanen, dvs. varje Forskningsområde och i vissa fall varje delområde utvärderas separat.

Vid värderingen ingår alla typer av publikationer. Hänsyn tas naturligtvis till att arbetsrapporter inte är vetenskapliga publikationer på samma sätt som huvuddelen av de officiella SD-rapporterna, artiklarna och konferensbidragen.

Normalt hänvisar jag enbart till rapportnumret men utelämnar författarnas namn. De återfinns i litteraturlistan i Bilagan.

5.1 Publicering

Allmänt

Antalet publicerade officiella SD-rapporter är påfallande litet; 12 st (förutom konferenshandlingar från 2005). Det är förvånande med tanke på projektets långa varaktighet. Det är naturligtvis en konsekvens av att projektet i så hög grad inriktats på vad jag ovan kallade ”empirisk forskning”, dvs. att det inte primärt var inriktat på att söka generell kunskap genom mera djupgående studier utan på att samla in erfarenhet från fält kompletterad med tämligen begränsade laboratorieundersökningar. Rapporteringen kan jämföras med det 6-åriga nationella projektet Högpresterande Betong som var ett mer renodlat forskningsprogram. Antalet officiella rapporter, vilka i huvudsak utarbetades vid de 4 tekniska högskolorna, var 142, varav flera licentiat- och doktorsavhandlingar.

I dessa 12 officiella SD-rapporter ingår 2 doktorsavhandlingar (SD7 och SD12) och 3 licentiatuppsatser (SD5, SD6, SD8). Övriga SD-rapporter utgörs av vad som kan kallas utredningar, vilka ofta tycks ha viss originalitet och vara av god kvalitet.

Rapportering har i stället koncentrerats till ett större antal (35) s.k. Arbetsrapporter av vilka en stor andel utgör redovisningar av utförda fältprojekt innehållande mätdata från utförda stabiliseringar. Flera av dessa arbeten är mycket omfattande, väl utförda och väl redovisade. De bör därför vara av stort värde för förståelsen av vilka faktorer som påverkar resultatet av en stabilisering och kunskapen om vilka egenskaper man kan förvänta sig hos stabilisering utförd med olika teknik i olika typer av mark. Ett antal Arbetsrapporter är väl genomarbetade och kunde enligt min uppfattning utan större omarbetning ha kunnat upgraderas till officiella SD-rapporter.

Man kunde ha önskat att allt det material från fält som redovisas i olika Arbetsrapporter hade utsatts för en ordentlig total analys. Materialet är nu splittrat i olika rapporter vilket kan göra det svårt att få en överblick. Vad jag kan finna har en sådan analyserad sammanställning av fältdata inte gjorts.

I Arbetsrapporterna ingår några omfattande och intressanta Examensarbeten (A14, A18, A19, A29, A33). Dessutom ingår två rapporter avseende djupstabilisering i Norge resp. Finland (A9 resp. A10).

Antalet konferensbidrag och artiklar är tämligen stort (28). Det är oklart för mig vilka konferenser bidragen avser, men enligt brev från Göran Holm har 13 publicerats vid den internationella konferensen i Stockholm 2005. Flertalet bidrag utgår från resultat som framkommit inom SD-projektet. Att på detta sätt föra ut resultat är mycket bra.

Det totala antalet författare är mycket stort. Fler än 70 författarnamn anges. Det är naturligtvis mycket positivt att så många personer, representerande samtliga partners i projektet, varit engagerade även vid redovisningen av resultaten.

Tillgänglighet - öppenhet

Samtliga SD-rapporter kan köpas från SGI.

Samtliga arbetsrapporter kan laddas ned gratis från projektets hemsida som nås via SGI:s hemsida.

Denna öppenhet och lättillgänglighet av alla resultat är mycket tilltalande.

5.2 Forskningsområde 1: Erfarenhet

(SD 1, A11, A21)

Innan SD-projektet startades gjordes en viktig sammanställning av erfarenheter från genomförda *KC-pelastabiliseringar* i form av en sk. *Erfarenhetsbank* (SD1). Denna var utgångspunkten för formuleringen av projektet. Erfarenhetsbanken har kompletterats med en *Erfarenhetsbank. Etapp 2. Erfarenhetsåterföring* (A21) vilken baseras på en enkätundersökning, på intervjuer med nyckelpersoner och på en Workshop år 2001. Min bedömning är att denna insamling av erfarenheter från stabilisering borde ha stort värde för utveckling av bättre och säkrare teknik.

Erfarenheterna från KC-stabilisering har kompletterats med en sammanställning av erfarenheter från området *kalkstabilisering* (A11).

5.3 Forskningsområde 2: Stabiliserad jords egenskaper

(SD2, SD3, SD9, SD10, A34, A26, A30, A31, P4, P5, P7, P11, P23, P24, P25, P26, P27, P28)

Till detta forskningsområde för jag enbart sådant arbete som är av materialforskningskaraktär och som huvudsakligen utförts i laboratoriet eller som är sammanställning av kursmaterial etc. En stor mängd data över materialegenskaper hos utförda stabiliseringar har också tagits fram men dessa beaktas under forskningsområden 3, 4 och 5.

Inverkan av bindemedlets typ och mängd

Med tanke på att bindemedlets typ och samspelet mellan bindemedel och jord är fundamentala för stabiliseringens resultat är det något förvånande att så pass litet resurser lagts på laboratoriestudier inom detta område. En orsak till detta kan vara att det visat sig vara mycket svårt att få säkra och reproducerbara resultat i laboratoriet, samt att resultat från laboratorieprover normalt visat sig överensstämma dåligt med verkligt utförda stabiliseringar. Det kan därför vara rimligt att prioritera resultat från fält.

En begränsad *förstudie* i laboratoriet har gjorts av vilken effekt olika kalktyper har på hållfastheten på två kalkstabiliserade leror (SD2). Inverkan av kalktypen på KC-pelare studerades däremot inte.

I en annan *empirisk förstudie* i lab. (SD3) studerades inverkan av olika bindemedel på hållfastheten hos stabiliserade organiska jordar. Studien påvisar den mycket stora komplexiteten hos problemställningen; olika bindemedel ger helt olika resultat vilka inte kan förutses. Spridningen i resultat är dessutom stor. Undersökningen resulterar dock i vissa rekommendationer till typ och mängd av bindemedel.

I bägge dessa förstudier, vilka publicerades 1997 och 2000, ges förslag till fortsatta undersökningar. Sådana har uppenbarligen också gjorts. I en tidskriftsartikel i *Ground Improvement* 2003 (P28) redovisas nämligen intressanta resultat av *fenomenologiska* undersökningar av hållfastheten hos ett stort antal blandningar av olika bindemedel med tre olika jordtyper.

Allmänna principer för bindemedelsreaktioner har beskrivits i ett i och för sig intressant kursmaterial (SD9). Rapporten baseras dock enbart på känd kunskap. Exakt hur reaktioner sker mellan olika bindemedel och olika jordar beskrivs inte, troligen därför att detta område är utforskat.

Man skulle ha önskat att en större forskningsinsats lagts på att skapa *förståelse* av hur bindemedel och jord reagerar under olika betingelser, samt förståelse av vilken materialstruktur som skapas, och inte huvudsakligen på hållfasthetsmätningar på mer eller mindre godtyckligt utvalda blandningar.

”Avancerad provning” av stabiliserad jord

Några undersökningar av inverkan av *konsolideringsspänning* på hållfastheten och brottbeteende har studerats och publicerats i artiklar (P 23, P24, P25, P27). Jag kan inte bedöma vikten eller originaliteten av dessa arbeten men förutsätter att de har god kvalitet eftersom de blivit accepterade för publicering (P23 är dock endast i manusform).

En intressant laboratorieundersökning av *vattenpermeabiliteten* hos stabiliserad jord har genomförts (P23). Andra permeabilitetsundersökningar har även utförts på prover från fält (t.ex. SD7). Permeabiliteten är viktig därför att den i hög grad påverkar stabiliseringens funktion och beständighet. Hög permeabilitet kan t.ex. medföra kalkurlakning och hållfasthetsförlust. Det hade varit intressant om även koncentrationen av urlakat kalcium i genomströmmande vatten hade mätts. Jag saknar dessutom koppling till de omfattande studier av permeabilitet som genomförts under decennier inom betongområdet. Där finns mycket kunskap som kanske kan ha tillämpning även på stabiliserad mark.

Dynamisk påverkan

Detta delprojekt har vad jag kan finna inte resulterat i något skriftligt arbete när det gäller själva det stabiliserade materialet. Däremot finns en mycket intressant studie av dynamiska effekter (vibrationer och deformationer) på stabiliserad mark under *järnväg för snabba tåg* (SD10).

Beständighet och långtidsegenskaper

En stabilisering skall ha lång funktionstid. Därför är långtidsegenskaperna av fundamental betydelse. Mycket kunskap kan hämtas från betongområdet, där beständighet sedan länge är den kanske mest studerade egenskapen. Stabiliserad jord är emellertid ett delvis annat material, t.ex. med betydligt högre permeabilitet och lägre hållfasthet än normal betong. Inom SD-projektet har man valt att undvika beständighetsundersökningar i laboratoriet och i stället utnyttjat befintliga, upp till 10 år gamla, stabiliseringar. Jag anser att detta är ett riktigt val. Även inom betongtekniken börjar man alltmer utnyttja fältförsök och praktisk erfarenhet eftersom laboratorieundersökningar av beständighet ofta ger orealistiska resultat.

Erfarenheter av 10 års exponering har samlats in från 3 olika platser och redovisas i A34 och P5. Resultatet är positivt såtillvida som inga negativa effekter på KC-pelarnas mekaniska egenskaper kan noteras under denna tid. Tvärtom, hållfastheten stiger kraftigt med tiden. Detta verifierades också i en laboratorieundersökning av hållfasthet som funktion av tiden (P7). En mycket intressant iakttagelse från fältstudien är den *stora variation i CaO-halt* som noterades i pelarna; halter mellan 2.9 och 12.4% noterades i ett fall och mellan 1.0% och 14.7% i ett annat fall. Inblandad mängd enligt anbudsfrågan skulle vara ca 8,5% resp. 10.5%. I rapport A34 kommenteras detta med att "spridningen i kalkhalt är relativt stor". Detta måste betraktas som ett osedvanligt kraftigt understatement.

Den stora spridningen i bindemedelshalt är en klar indikation på hur svårt det måste vara att direkt överföra resultat från laboratoriet till verklig "konstruktion". Inom den normala betongtekniken är däremot korrelationen mellan laboratoriet och konstruktionen oftast mycket hög vilket förklarar laboratorieforskningens starka ställning inom betongtekniken. Den stora variationen förklarar också varför så stor del av projektet ägnats åt rena fältstudier.

(OBS: Vissa svenska jordar är sulfidhaltiga. Då kan man möjligen få destruktiva reaktioner med bindemedlet ("sulfatangrepp"). Detta är ett fenomen som längre fram bör studeras på de stabiliseringar av sådan jord som nu utförts (SD4, A34).)

Gränsson mellan KC-pelare och omgivande mark

Gränssonen mellan stabiliserad och ostabiliserad jord har ofta visat sig ha andra och sämre egenskaper än omgivningen. Detta är ett orosmoment. Därför har tämligen stora insatser lagts på att undersöka *gränssonens egenskaper vid olika bindemedel* med och utan peptiserande tillsatsmedel. De genomförda undersökningarna, som innefattar såväl undersökningar av *jonvandring över gränssytan* som hållfasthetsfördelningen över denna, är mycket intressanta och vad jag kan förstå originella. Resultaten har redovisats i arbetsrapporter (A26 och A30) och ett konferensbidrag (P4). Möjligen är den negativa gränssonseffekten begränsad i tiden. Långtidsstudier nämnda i A26, liksom långtidsuppföljningar av utförda projekt (A34), tycks tyda på detta. Undersökningar av gränssonen bör naturligtvis fortsätta, framförallt som långtidsstudier.

Påverkan på miljön

För att ny teknik skall accepteras är det viktigt att dess miljöpåverkan utreds. Därför är det mycket bra att man genomfört vissa undersökningar av *urlakningsprodukter* från stabiliserad

lera och organisk jord (A30, P11). Som kunde förväntas är urlakningen av joner obetydlig och försumbar ur miljösynpunkt. Detta beror säkerligen på att de använda bindemedlen i sig har obetydlig urlakning, oftast lägre än jorden själv.

I stället för att utgöra en miljörisk borde markstabilisering i vissa fall kunna användas för att *förbättra (sanera) förorenad mark* genom att olika föroreningar binds fysikaliskt och kemiskt. Dessa möjligheter har glädjande nog noterats inom SD-projektet och behandlats i arbetsrapport A25.

5.4 Forskningsområde 3. Förstärkningars funktionssätt

(SD5, SD7, SD10, A2, A5, A19, P3, P8, P9, P15, P19)

Detta måste vara ett centralt forskningsområde eftersom hela idén med att utföra en markstabilisering är att erhålla någon form av *önskad funktion*, t.ex. minskade deformationer eller ökad säkerhet mot skred. För att man skall kunna välja stabiliseringsmetod i en given situation med syfte att få önskad funktion krävs naturligtvis beräkningsmetoder för stabiliseringens deformation och stabilitet/säkerhet. Jag är därför något överraskad över de begränsade forskningsinsatserna inom detta område. Det finns enbart 2 tyngre arbeten (SD5, SD7) varav endast ett är av teoretisk art (SD7). Jag behärskar dock inte det geotekniska kunskapsläget inom området och vill därför inte kritisera projektstyrelsens beslut. Det kan naturligtvis vara så att de teorier som existerar i dag anses vara tillräckligt säkra. Även den begränsade projektbudgeten kan ha varit ett hinder eftersom den grundläggande forskning som troligen krävts hade blivit kostsam.

Pelarstabilisering i skivor. Stabilitet hos slänter, skärningar och banker

Skjuvboxförsök i laboratorieskala har genomförts som examensarbete (A19). På basis av dessa försök har existerande teorier för brotthållfasthet testats och utvecklats. Området har även behandlats i 2 konferensbidrag (P15, P19). Mig förefaller området vara mycket viktigt varför jag är litet förvånad över att det experimentella huvudarbetet får genomföras som examensarbete, även om detta i och för sig är tämligen omfattande. Det kan naturligtvis vara så att kunskapsläget, genom tidigare forskningsinsatser bedömts vara så bra att mera omfattande undersökningar inte behövs. Jag kan inte bedöma detta.

Pelarstabilisering mellan sponter

Ett enda arbete redovisas (A2). Detta utgörs av en *teoretisk parameterstudie* av ett projekt som skulle utföras i Oslo. Studien genomfördes med ett existerande FEM-program. Beräknade deformationer hos ostabiliserad jord jämfördes med jord stabiliserad med KC-pelare. Antagna (ej uppmätta) materialdata användes. Vad jag kan förstå antogs det stabiliserade materialet vara linjärt och isotropt. Man kan naturligtvis därför ifrågasätta beräkningens överensstämmelse med verkligheten. Tyvärr saknas en jämförelse med det sedermera utförda projektet.

Masstabilisering. Beräkningsmodell för långtidsdeformationer

I en arbetsrapport från 1997 (A5) redovisas i tabell- och diagramform mätningar av bindemedelshalt, hållfasthet och långtidssättning på en av de första utförda s.k.

cellstabiliseringarna av torvjord. Resultaten är intressanta men har naturligtvis inte generell giltighet.

Det stora och intressanta arbetet är en licentiatuppsats av Nenad Jelusic (SD5). Även detta arbete avser *stabiliserad torvjord*. Rapporten innehåller en omfattande och detaljerad redovisning av utförda stabiliseringsprojekt i Finland och Sverige. För att få fram mer kvantifierad kunskap byggdes en provbank stabiliserad med ett bindemedel innehållande 80% masugnsslagg. Banken instrumenterades för studier av sättning och andra deformationer. Detaljerad uppföljning av provbanken med avseende på deformationer, mekaniska egenskaper och homogenitet gjordes. Bl.a. studerades bankens mekaniska egenskaper genom mätning av gånghastigheten hos Rayleighvågen (ytvågen). Metoden visade sig ge goda resultat och rekommenderas av författaren. Fältundersökningen kompletterades med laboratoriestudier av hållfasthet, E-modul och homogenitet hos torv. Avslutningsvis ges rekommendationer för masstabilisering av torvjord.

Jag anser att arbetet har god kvalitet. Det utgör en intressant kombination av inventering av utförda projekt, en stor och detaljerad fältundersökning, kompletterande laboratoriestudier och operativa rekommendationer.

Utveckling av beräkningsmodell för sättningsprognoser

Arbetet har resulterat i en, så vitt jag kan bedöma, högklassig doktorsavhandling av Sadek Baker (SD7). Existerande modeller för beräkning av spänningsfördelning och sättning i stabiliserad mark analyseras. Därefter utvecklas en analytisk modell och två numeriska metoder för beräkning av *spänningsfördelningen* i KC-pelare och omgivande mark. En numerisk metod för beräkning av *sättningsförloppet* ("krypförloppet") i stabiliserad mark utvecklas. Jag har inte tillräcklig kompetens att bedöma korrektheten av denna teori. Vad jag förstår utgår den från en existerande modell för beräkning av sättning i mark där deformationerna huvudsakligen avgörs av utpressning av porvatten. Eftersom en stabiliserad jord närmar sig egenskaperna hos en betong kunde det dock ha varit intressant om man något diskuterat gängse metoder för beräkning av betongkrypning för att se om dessa kunde tillämpas.

Arbetet kompletterades med omfattande *fältundersökningar* på tre platser. Väsentliga markegenskaper före stabiliseringen bestämdes. Krypningen (sättningen) hos den tryckbelastade stabiliserade marken mättes och jämfördes med beräkningar med den nya modellen. Dessutom utfördes omfattande *laboratorieundersökningar* av hållfasthet, hållfasthetstillväxt, styvhet, portryck, vattenpermeabilitet hos de stabiliserade jordarna. Metoden för sättningsberäkning i approximativ form har presenterats i en konferensrapport (P8). Ytterligare tillämpningar av modellen på fältprojekt presenteras i konferensrapporter P3 och P9.

Vad jag kan finna av inlämnade rapporter har inte sättningsmodellen testats på andra fältprojekt i SD-projektet. Tydligt används oftast en beräkningsmetod LIMESSET. Det förvånar mig att man inte i något projekt, eller i efterhand, försöker göra en jämförelse mellan denna traditionella beräkningsmetod och de metoder som utvecklats vid CTH. Möjligen beror detta på avsaknad av erforderliga materialdata.

5.5 Forskningsområde 4. Utförande

(SD4, SD6, SD12, A3, A23, A24, A27, A29, A33, P2, P6, P12, P16, P17, P20)

En avsevärd andel av insatserna i SD-projektet har gjorts inom forskningsområdet Utförande. Detta är förståeligt eftersom sättet att utföra en stabilisering och samspelet mellan jord, bindemedel och produktionssätt tycks vara så avgörande för resultatet, och kunskaperna om detta samspel tycks vara så begränsade.

Den lista över arbeten som ges ovan är min klassificering av vad som tillhör forskningsområdet "Utförande". Det finns även andra "tvärgående" arbeten som innehåller delar som hänger samman med utförandet, t.ex. arbeten inom område 5; Verifikation och kontroll. Min tolkning av området är att det syftade till att undersöka hur olika sätt att utföra stabiliseringen i olika jordar påverkar slutresultatet. Därför ingår självklart en stor mängd data över *materialegenskaper* hos utförda stabiliseringar, t.ex. mätningar av hållfasthet, bindemedelshalt, homogenitet etc. Forskningsområdet har därför stark koppling även till Forskningsområde 2; stabiliserad jords egenskaper. Det är inte alltid lätt att särskilja dessa båda områden.

Peptisering

En begränsad men intressant studie har gjorts av hur *olika peptiseringsmedel*, dvs. medel som minskar lerans viskositet, påverkar stabiliseringsresultatet (A24). Fältförsök efterlystes i rapporten. Det framgår inte av inlämnat material huruvida sådana undersökningar gjorts.

Negativa effekter av peptisering på gränssonen lera-pelare förutsågs i rapporten och noterades även i de gränssonsstudier som nämndes ovan (A26, A31, P4).

Inblandningsteknik. Inblandningsmekanismer

De tyngsta arbeten har utförts av Stefan Larsson som licentiat- och doktorsarbeten vid KTH. Licentiatarbetet (SD6) utgör även underlag för doktorsavhandlingen (SD12). Avsikten med Larssons arbete var att försöka *förbättra inblandningsprocessen* vid KC-pelare genom att undersöka hur olika variationer av blandningsteknik påverkar resultatet av stabiliseringen vid några olika jordtyper. Dessutom ville han öka förståelsen om vilka faktorer som påverkar homogeniteten hos pelarna. Arbetet genomfördes som fältförsök på tre platser. Fältförsöken har även beskrivits i arbetsrapporter A23 och A27. Studier av hållfasthetsvariationen i en av dessa provplatser har även utförts som ett omfattande examensarbete vid KTH (A29). Resultatet av fältförsöken analyseras med statistisk metod för att försöka finna signifikansen hos korrelationer mellan olika variabler i blandningsteknik och egenskaper hos utförd stabilisering.

Vad jag kan förstå är fältförsöken och den statistiska analysen väl genomförda och trovärdiga. Ett stort antal *variationer i inblandningsteknik* (rotationshastighet, utformning av inblandningsverktyget) har studerats. Det går att finna vissa samband mellan tillverkningsteknik ("inblandningsprocess") egenskaper hos pelaren. Det förefaller dock som om naturliga variationer i marken spelar minst lika stor roll som variationer i tillverkningstekniken. Trots välkontrollerade försök blir inhomogeniteten hos de utförda pelarna, t.ex. bindemedelshalten, ofta stor. Undersökningen bekräftar därför varför det oftast är svårt att finna korrelationer mellan resultat från laboratorietillverkade prover och

fältprover; i fält finns variationer som inte går att reproducera i laboratoriet. De stora skillnaderna mellan fält och lab. demonstreras t.ex. i arbetsrapporter 12 och 18.

Ett stort problem med att enbart förlita sig på fältundersökningar är att det blir praktiskt och ekonomiskt omöjligt att genomföra annat än tämligen begränsade undersökningar. Det blir därför omöjligt att dra generella slutsatser. Det hade varit en fördel om inblandningsmekanismer även hade kunnat studeras i laboratorieskala. Resurserna har uppenbarligen inte räckt för att undersöka den möjligheten.

Resultaten av fältstudierna har även publicerats i några konferensrapporter (P12, P17, P21). Möjligheten att utveckla inblandningsprocessen vid laboratorieförsök, och några spekulationer om inblandningsprocessen presenteras i två artiklar (P20 resp. P16).

Fältprojekten har utförts i samarbete med specialentreprenör vilket jag bedömer vara en stor fördel med tanke på snabb tillämpning av förbättrad teknik.

Stabilisering av sulfidjord

Stabilisering av sulfidhaltig jord och gyttja har studerats i laboratorieskala, i *provpelare* och i full skala i en *provbänk* (SD4). Undersökningen ger ett mycket gediget intryck. Jordens egenskaper (t.ex. dess permeabilitet) före och efter stabilisering bestämdes. Omfattande mätningar av portryck, rörelser och sättningar hos provbanken gjordes. Sättningarna jämfördes med beräkningar enligt gängse metod vilket visade på bristande överensstämmelse. Bakers nya beräkningsmetod (SD7) kunde naturligtvis inte användas eftersom den då inte var publicerad. Det kunde vara intressant att testa den i efterhand.

Resultatet bekräftar de resultat som man fann i de ovan diskuterade fältundersökningarna, nämligen att variationerna i egenskaper hos stabiliserad jord är mycket stora trots att stabiliseringen sker under kontrollerade former. Enligt undersökningen har "även små variationer i jordens sammansättning mycket stor inverkan". För mig, som arbetat under lång tid med betong, ger det ett otillfredsställande intryck att man gång på gång gör denna typ av konstateranden, men att man aldrig, t.ex. inom SD-projektet, försöker utreda *varför* dessa små variationer har denna stora effekt; dvs. utreder *mekanismen*. Möjligen (troligen) är orsaken att det är svårt att även i laboratorieskala producera reproducerbara resultat, vilket visas i arbetsrapporter A14, A16, A20, A28.

Fortsatta undersökningar av stabiliserad sulfidjord tagen från Botniabanan har genomförts i ett omfattande, intressant och välutfört examensarbete vid LTU (A33). Allt arbete skedde i laboratorieskala och visade att även sulfidjord går att stabilisera.

5.6 Forskningsområde 5. Verifikation-Kontroll

(SD8, A35, P13, P14, P18, P21)

Eftersom det uppenbarligen är svårt att förutse vilken kvalitet en stabilisering skall få är det naturligtvis viktigt att få fram metoder för verifikation av egenskaper hos utförda stabiliseringar. Samtliga publicerade fältstudier i SD-projektet innehåller också mätningar med många olika metoder; dels mätningar in-situ av mekaniska egenskaper, permeabilitet, porvattentryck, bindemedelsfördelning, dels mätningar av dessa och fler egenskaper på uttagna prover. Olika indirekta metoder för bestämning av mekaniska egenskaper in-situ har testats i olika fältprojekt, t.ex. seismiska metoder såsom stötvågsmätning (SD4), och mätning av Rayleigh-vågors utbredningshastighet (SD5). Alla dessa mätdata från fält återfinns i separata arbetsrapporter. Man kunde ha önskat sig en analyserad sammanställning av alla data.

Den litteratur som anges ovan är sådan som direkt varit inriktad mot kontrollmetoder.

Generella metoder

Licentiatuppsatsen från KTH författad av Morgan Axelsson (SD8) är en bra *genomgång och test av olika fältmätningmetoder*. På basis av en litteraturstudie valdes 5 metoder vilka testades på ett 50-tal KC-pelare som installerades på en provplats med kända markegenskaper. In-situmätningar och laboratorieprovning på upptagna pelare genomfördes. Liksom i flertalet andra genomförda delprojekt visade sig variationen i hållfasthet och bindemedelshalt inom samma pelare vara mycket stor. Detta är uppenbarligen ett tråkigt karakteristikum för markstabilisering. Orsaken till variationerna undersöktes inte heller i denna undersökning.

I likhet med Larsson (SD12) påpekar Axelsson det stora behovet av *regler för erforderlig omfattning av kontroll och för acceptans*. Han menar att erfarenhetsdata bör kunna användas och utnyttjas i Bayes statistik för att få fram regler. Det kan vara en riktig väg. Axelsson själv gjorde inga ansatser att utveckla en sådan metod. Erfarenhetsdata från SD-projektet finns dock i stor omfattning varför ett försök att få fram kontroll- och acceptansregler bör göras. Möjligen pågår sådant arbete.

Seismisk metod

Möjligheten att använda seismisk kontroll genom att utnyttja *skjuvvågens hastighet* har undersökts i ett intressant arbete, (A35). Ett samband mellan skjuvhållfasthet bestämd på traditionellt sätt i laboratoriet och våghastigheten etablerades. Man menar att sambandet mellan uppmätt skjuvhållfasthet vid konventionell pelarsondering i fält och våghastighet är god för ostabiliserad jord, men även relativt god för stabiliserad jord såvida inte stabiliseringen är mycket inhomogen. Man föreslår att den seismiska metoden borde kunna användas mer allmänt om man redan vid tillverkningen av KC-pelaren installerar ett rör för kommande mätning på olika djup. Undersökningsresultaten presenteras även i ett konferensbidrag (P13).

5.7 Speciella utredningar

(SD11, A25, P10)

Stabilisering av förorenad mark

Markstabilisering har en viss potential när det gäller att *solidifiera förorenad mark*, t.ex. gammal industrimark. En intressant genomgång av marknaden och av markstabiliseringens möjligheter ges i arbetsrapport A25, vilken avslutas med en genomgång av forskningsbehoven. De förslag som ges är goda, inte minst när det gäller behovet av att studera långtidseffekter av stabiliseringens integritet och urlakningsegenskaper.

LCA för djupstabilisering

En miljöeffektbedömning (LCA) för stabilisering avseende en enda väg utförd på olika sätt har genomförts i arbetsrapport A11. Jag kan inte bedöma kvaliteten eller värdet hos denna LCA. Jag har dock en i grunden skeptisk inställning till LCA eftersom utfallet är så starkt kopplat till vilka faktorer som ingår och hur olika faktorer viktas. Jag är dock medveten om att det i dag krävs LCA för varje ny teknik som man vill etablera.

5.8 Inblandningsteknik i laboratoriet. Produktion av laboratorieprover

(A14, A16, A18, A20, A28)

Labprover

Redan i min utvärdering 1999 påpekade jag det stora behovet av att ta fram metoder med god reproducerbarhet för att producera stabiliserade jordprover i laboratoriet. I det fortsatta projektet har man ägnat viss möda åt detta område. Det finns nu ett förslag till referensmetod för produktion av *stabiliserad lera* (A16). *Repetierbarheten*, dvs. variationen inom samma laboratorium, är tämligen god, även om den är betydligt högre än t.ex. för betongprovning. *Reproducerbarheten*, dvs. variationen mellan olika laboratorier, är dock fortfarande mycket låg. Trots stora ansträngningar har man alltså inte lyckats få fram en metod med låg spridning.

Även för produktion av prover av *stabiliserad torv* har man tagit fram en referensmetod som testas i ringförsök (A28). Tre laboratorier deltog i testen. Det är framför allt ett laboratorium som avviker mycket starkt från de övriga. I rapporten föreslås att man fortsätter arbetet med att ta fram en provningsmetod. Sådant fortsatt arbete har inte redovisats inom SD-projektet.

Samband mellan laboratorieprov och pelarinstallation

I ett utmärkt examensarbete från LTU (A18) har man undersökt *samband mellan egenskaper hos utförda pelare och uppmätta egenskaper på laboratorieblandade prover*. 13 olika fältprojekt innefattande ett flertal jordtyper från olika delar av landet har undersökts. Jord för laboratorieinblandning har tagits från olika djup. Korrelationen mellan skjuvhållfasthet hos laboratorietillverkade prover, och tillverkade KC-pelare, är ofta mycket låg. I vissa fall underskattar laboratorieproverna den verkliga hållfastheten, i andra fall överskattar de den mycket kraftigt. Undersökningen visar med andra ord hur svårt det är med nuvarande laborieteknik att utforma en stabilisering på basis av laborieprovning av aktuell jord och aktuellt bindemedel.

5.9 ”Tillämpningsprojekt”

(A1, A4, A6, A7, A8, A12, A17)

Jag klassificerar vissa arbetsrapporter som ”tillämpningsprojekt” vilka är kopplade till olika stabiliseringsprojekt. De innehåller mätningar under byggtiden och uppföljningar av utförda projekt. Jag vet inte om dessa arbeten ingått formellt i projekt SD eller om de utgör rena uppdrag som finansierats utanför SD. Ofta innehåller rapporterna omfattande mätningar in situ av homogenitet, skjuvhållfasthet, sättningar, och i vissa fall förprovningar i laboratoriet. De innehåller ibland också beräkningar av stabilitet och deformationer.

Arbetsrapport 12 från 2000 är särskilt intressant eftersom den så tydligt visar på svårigheterna att förhandsbestämma egenskaperna hos en stabilisering. Rapporten innehåller omfattande jämförelser mellan laboratorieresultat och resultat från utfört projekt. Liksom i flera andra delprojekt visade sig skillnaderna vara betydande. Så t.ex. visade sig uppmätt skjuvhållfasthet i fält oftast vara lägre än 50% av hållfastheten hos laboratorieprover. Man undersökte också inverkan av den maskinella utrustningen på resultatet av stabiliseringen och fann att den var stor, framförallt när det gäller uppnådd homogenitet hos KC-pelarna. I rapporten framförs därför att *”fördjupade studier av inverkan från maskiner och verktyg är en viktig del för fortsatt forskning”*.

5.10 Konferenser

(SD13, A32)

Internationella

Två internationella konferenser har anordnats:

1999: *Dry Mix Methods*, Stockholm.

2005: *Deep Mixing '05* i Stockholm, SD13.

Det är naturligtvis mycket tillfredsställande att man genom att anordna dessa konferenser, dels fått möjlighet att marknadsföra resultat från SD-projektet, dels kunna ta del av utländska erfarenheter. Dessutom har svenska intressenter i djupstabilisering kunnat få internationella kontakter.

Nationella

Konferensen *Kalkcementpelare som jordförstärkning – hur kan vi åstadkomma rätt funktion? Projektering, utförande, kontroll* arrangerades i Göteborg 2002 och i Stockholm 2003.

Ca 40-50 deltagare representerande olika intressenter i djupstabilisering deltog vid varje tillfälle. Avsikten var att deltagarna skulle utbyta erfarenheter av stabiliseringsarbete med syfte att man därigenom skulle öka förståelsen för frågor som rör upphandling och kvalitet.

Resultatet av konferenserna sammanfattades i arbetsrapport A32. I denna finns även en handlingsplan för fortsatta insatser med en rekommendation av vilken part som bör stå för olika delar vid genomförande av planen.

Hanteringen av handlingsplanen ligger vad jag kan förstå utanför SD-projektet, men är en viktig konsekvens av detta. Arbetet med att genomföra handlingsplanen, i den mån detta arbete kommer att bedrivas, kan ses som ett viktigt ”arv” från projektet.

5.11 Övrigt

Internationellt samarbete

Projektledaren Göran Holm deltog som ende icke-amerikan i en ”*International Workshop on Deep Mixing Technology for Infrastructure Development*” i Oakland,USA,2001. Han presenterade där resultat från SD-projektet (A22). Ett samarbete mellan SD och ett motsvarande forskningsprojekt i USA (NDM) diskuterades. Det framgår inte om något samarbete verkligen inletts.

Översikter

En bra översikt över djupstabilisering med en omfattande litteraturinventering har utarbetats av Stefan Larsson (P22). Dessutom har översikter gjorts av Göran Holm vid ovannämnda internationella konferenser, P1.

Provfält

Enligt arbetsrapport A15 har fyra provfält med väl karterade markförhållanden etablerats:

- Holma Mosse, Vikbolandet
- Segelbåtshamnen, Linköping
- Löftaån, Varberg
- Gräsnäs, Arboga

Vad jag kan förstå har Arbogafältet använts i Stefan Larssons arbeten. Däremot kan jag inte finna att de andra provfälten verkligen utnyttjats. I stället har man oftast utnyttjat olika byggprojekt.

Sammanfattning

Mina *allmänna* synpunkter på projekt Svensk Djupstabilisering, som de framförts ovan, sammanfattas i ett antal punkter. För *detaljerade* synpunkter hänvisas till utvärderingen ovan.

1. Projektet har haft lång varaktighet, t.ex. i jämförelse med flera andra nationella projekt, eller i jämförelse med EU-projekt. Detta anser jag i fallet SD vara en fördel eftersom projektet i så hög grad utgjorts av studier i fält och uppföljningar av utförda projekt. De aktivt deltagande finansierarnas uthållighet är därför glädjande.
2. Den starka förankringen av projektet hos ett påfallande stort antal upphandlare, materialleverantörer och utförare av djupstabilisering har varit viktig eftersom man därigenom, dels fått tillgång till ett stort antal fältprojekt, dels på ett mera effektivt sätt kunnat förmedla resultat.
Projektets karaktär av "teknikupphandlingsprojekt" anser jag vara positivt och en uppläggning som kunde användas mera allmänt inom den tillämpade byggforskningen.
3. Enligt projektbudgetar som jag haft tillgång till, tycks projektet ha haft tämligen svag finansiering, i synnerhet tycks detta gälla kontanta medel till att genomföra mer grundläggande forskning vid högskolor och forskningsinstitut. Däremot förefaller det som om resurserna för att genomföra studier i fält i samband med utförda fältprojekt varit mera omfattande.
4. Under hela projekttiden har projektet varit uppdelat i 5 huvudsakliga forskningsområden, vilka vart och ett innehåller ett antal delprojekt. Dessutom har ett antal specialutredningar genomförts under projektets avslutande del, SD 2004. Vad jag kan bedöma har alla viktiga frågeställningar tagits upp vid formuleringen av delprojekten. Utan tvekan har projektledningen i förväg och under projektets gång noga analyserat vilka frågeställningar som är viktiga, och därefter initierat någon form av studie inom alla dessa frågeställningar.
5. Jag ifrågasätter om ambitionen att greppa över så gott som alla frågeställningar har varit helt rationell ur ren forskningssynpunkt. Det innebär nödvändigtvis att tillgängliga medel för ett stort antal delprojekt blivit små, och troligen i flera fall otillräckliga. Ett flertal delprojekt har därför drivits som "förstudier" -ett namn som ofta förekommer på den skriftliga rapporteringen- i vilka man närmast "känt på problemet", och i bästa fall identifierat dess vikt. Ofta slutar dessa rapporter med "förslag till fortsatt forskning".
Projektledningen bör ha varit medveten om detta problem. Därför kan jag tänka mig att projektledningen medvetet valt den breda upplägningen just för att man önskat använda projektet för att få ett bättre grepp över hela området djupstabilisering genom att identifiera flertalet möjligheter och svårigheter.

6. Publiceringen från projektet indelas i officiella rapporter, arbetsrapporter samt bidrag till konferenser och tidskrifter.

Antalet *officiella rapporter* är anmärkningsvärt litet, 13 inklusive en sammanställning av konferenshandlingar. Detta återspeglar projektets uppläggning där enbart liten andel ägnats åt rent akademiska studier. I dessa officiella rapporter ingår 2 doktorsavhandlingar och 3 licentiatuppsatser.

Flera *arbetsrapporter* är omfattande och kunde ha publicerats som officiella rapporter. Andra arbetsrapporter innehåller huvudsakligen data från utförda projekt.

Antalet *konferensbidrag och bidrag till tidskrifter* är stort. Flertalet av dessa bidrag presenterar resultat från SD-projektet vilket är positivt.

Personal från samtliga deltagande partners har deltagit som författare till rapporter och artiklar. Fler än 70 författarnamn anges vilket är ett imponerande stort antal som visar på partnernas stora engagemang i projektet.

Samtliga rapporter och artiklar är öppet tillgängliga vilket jag anser vara en stor styrka.

7. Huvuddelen av projektet har karaktären av "empirisk forskning" vilken gått ut på att ta fram empiriska resultat från fält och laboratoriet. Detta är ett förståeligt val av inriktning eftersom det i så gott som alla genomförda studier inom projekt SD, t.o.m. i kontrollerade laboratoriestudier, har visat sig vara i stort sett omöjligt att förutse utfallet av en stabilisering och att få låg resultatspridning. Projektet har därför tydligt visat hur komplext problemet djupstabilisering är; till synes små variationer i markförhållanden och i utförande ger ofta stort utslag i kvaliteten och homogeniteten hos det utförda arbetet. Korrelationen mellan resultat i laboratoriet och resultat i fält har dessutom oftast visat sig vara mycket bristfällig. Det är osannolikt att man genom att enbart förlita sig på "klassisk laboratorieforskning" skulle ha fått fram mera kunskap än vad som nu kommit fram genom den starka satsningen på fältstudier.

8. *Högskoleforskning* som genomförts med vissa medel från projektet anser jag vara av god kvalitet. Jag kan möjligen ifrågasätta den begränsade högskolesatsningen på studier av *stabiliseringens funktion* (deformationer och stabilitet); enbart en doktorsavhandling och ett licentiatarbete har tagits fram; dessutom ett examensarbete. Jag har emellertid inte kompetens att bedöma behovet av forskning inom området. Möjligen bedöms existerande beräkningsmetoder och provningsmetoder vara tillräckligt säkra.

När det gäller *utförande och kontroll* av stabiliseringarna har högskoleforskningen främst skett som omfattande fältstudier, som resulterat i en doktorsavhandling och 3 licentiatarbeten. Dessa arbeten har på ett övertygande sätt visat på svårigheterna att med säkerhet få fram stabiliseringar med önskade egenskaper. I arbetena anvisas dock vägar att förbättra stabiliseringsresultatet och att kontrollera stabiliseringarnas kvalitet. Några väl genomförda examensarbeten har också genomförts

9. Den *rena materialforskningen* t.ex. när det gäller bindemedlets funktion är mycket begränsad. Det är t.ex. fortfarande oklart varför vissa bindemedel fungerar bra i vissa jordar och dåligt i andra. Vad jag kan utläsa av rapporteringen vet man fortfarande inte om orsaken främst är av rent kemisk eller av huvudsakligen fysikalisk natur. Det hade

varit önskvärt om man gjort mera grundläggande mekanismstudier av hur reaktioner mellan jord och bindemedel sker och av vilken materialstruktur som utvecklas vid olika bindemedel i olika jordar. Även sambanden mellan materialstruktur och mekaniska och fysikaliska egenskaper (t.ex. permeabilitet) förefaller vara outredda. I dag får man, vad jag kan förstå, fortfarande förlita sig på den erfarenhet man får från genomförda verkliga stabiliseringsprojekt. Att basera stabiliseringar enbart på laboriestabiliseringar förefaller däremot fortfarande vara riskabelt. Denna bristande korrelation mellan laboriet och verkligheten skiljer jordstabilisering markant från det näraliggande betongområdet där materialval så gott som helt baseras på laborieprovning. Att genomföra grundläggande mekanismundersökningar hade krävt stora resurser, vilka uppenbarligen inte var tillgängliga. Utfallet av sådana studier är också osäkert med tanke på problemets stora komplexitet. Därför är det i viss mån förståeligt att enbart begränsade "förstudier" gjordes.

10. De genomförda fältstudierna är normalt publicerade i arbetsrapporter. Insamlade data är av empirisk art och är oftast kopplade till utförda projekt. En total, analyserad sammanställning av alla dessa data har inte gjorts, varför det är svårt för mig att dra generella slutsatser av vad man funnit. Jag är dock övertygad om att den stora bredden i fältförsöken, och den stora mängden data, är av stort värde för fortsatt utveckling av djupstabiliseringstekniken. Den stora erfarenhetsbas, som byggts upp genom fältförsöken och de empiriska laborieförsöken, utgör förmodligen det viktigaste resultatet av projekt Svensk Djupstabilisering.

11. Man kan naturligtvis fråga sig om det totala resultatet motsvarar de rätt omfattande mål som uppställdes för projektet. Det kanske allra viktigaste målet var att projektet skulle möjliggöra funktionsupphandling och genomförande av djupstabilisering utifrån funktionskrav. Detta mål har knappast nåtts eftersom projektet i så hög grad har visat hur svårt det är att exakt förutse vilket resultat man kommer att få av en djupstabilisering. I efterhand kan man därför tycka att målet var alltför orealistiskt. Man kan dock inte förneka att mycket stora ansträngningar har gjorts inom projektet att ta fram erforderlig kunskap. Inte minst har man därigenom visat på vilka begränsningar som finns när det gäller funktionsupphandling. En viktig del av funktionsupphandling är att det skall gå att verifiera resultatet. Här har projektet gett mycket ny kunskap.

Det sist formulerade delmålet var att säkerställa hög och bred kompetens och ett välutvecklat kontaktnät. I detta avseende förefaller projektet ha varit mycket framgångsrikt.

Lund, den 20 september 2005

Göran Fagerlund
Professor. em., avd byggnadsmaterial, LTH
Box 118
221 00 Lund

Bilaga

Publikationslista

SD-rapporter

- 1. Erfarenhetsbank för kalk-cementpelare (1997)**
Torbjörn Edstam
- 2. Kalktypens inverkan på stabiliseringsresultatet. En förstudie (1997)**
Helen Åhnberg & Håkan Pihl
- 3. Stabilisering av organisk jord med cement- och puzzolanreaktioner (2000)**
Karin Axelsson, Sven-Erik Johansson & Ronny Andersson
- 4. Provbänk på kalk/cementpelarförstärkt gyttja och sulfidhaltig lera i Norrala (1999)**
Rolf Larsson
- 5. Masstabilisering (2000)**
Nenad Jelusic
- 6. Blandningsmekanismer och blandningsprocesser – med tillämpning på pelarstabilisering (2000)**
Stefan Larsson
- 7. Deformation Behaviour of Lime/Cement Column Stabilized Clay (2000)**
Sadek Baker
- 8. Djupstabilisering med kalkcementpelare – metoder för produktionsmässig kvalitetskontroll i fält (2001)**
Morgan Axelsson
- 9. Olika bindemedels funktion vid djupstabilisering (2001)**
Mårten Janz & Sven-Erik Johansson
- 10. Mitigation of track and ground vibrations by high speed trains at Ledsgård, Sweden (2002)**
Göran Holm, Bo Andréasson, Per-Evert Bengtsson, Anders Bodare & Håkan Eriksson
- 11. Miljöeffektbedömning (LCA) för markstabilisering (2003)**
Tomas Rydberg & Ronny Andersson
- 12. Mixing Processes for Ground Improvement by Deep Mixing (2004)**
Stefan Larsson
- 13. Proceedings of the International Conference on Deep Mixing – Best Practice and Recent Advances, Deep Mixing '05 Stockholm, May 23 – 25, 2005**

Arbetsrapporter

1. Arlandabanan, Norra Böjen. Sättningar hos järnvägsbank på kc-pelare (1998)
Ulf Stjerngren
2. KC-förstärkning för schakt inom spont, Filipstad Brygge, Oslo (1998)
Phung Doc Long & Håkan Bredeberg
3. Inblandningsmekanismer vid djupstabilisering med kalk-, kalk/cementpelare och cementpelare (1998)
Stefan Larsson
4. Undersökning av KC-pelare med avseende på dess "homogenitet" (1998)
Roland Tränk
5. Bestämning av egenskaper i cellstabiliserad torv (1998)
Nenad Jelusic, Torbjörn Edstam & Yvonne Rogbeck
6. Rörelser och porttryck vid kalkpelarinstallation Redovisning av mätresultat (1998)
Åke Johansson
7. Masstabilisering av väg 590, Askersund (1998)
Yvonne Rogbeck
8. KC-pelarförstärkning av instabil slänt. E4, delen Nyland – Ullånger, Västernorrlands län. Åtgärder och mätningar (1998)
Leiv Viberg, Bertil Eriksson & Stefan Johansson
9. Grunnförstärkning med kalksementpælar (1999)
Stein Christensen, Arnstein Watn, Steinar Nordal, Arnfinn Emdal, Torbjørn Lund & Thomas Kristiansen
10. Dimensioneringsvägledning för djupstabilisering (1999)
Översättning av Finska Vägverkets klarlägganden 18/1997
11. Historik och svenska erfarenheter av kalkstabilisering av vägterrasser (1999)
Stefan Gustafsson
12. Undersökning i fält av stabiliseringseffekt i organisk jord och lera (2000)
Tobias Hansson, Yvonne Rogbeck & Leif Säfström
13. Utvärdering av verksamheten inom Svensk Djupstabilisering. Vetenskaplig uppläggning. Måluppfyllelse av FoU-plan (2000)
14. Stabilisering av torv i laboratoriemiljö – utveckling av referensmetod (2000)
Fredrik Larsson & Stefan Mårtensson
15. Djupstabilisering med kalk-cementpelare – Provfält (2000)
Lars O Johansson
16. Laboratorieinblandning för stabilisering av lera – Referensmetod (2000)
Torbjörn Edstam
17. Kalkcementpelarförstärkning för bro – Funktionsuppföljning. Väst kustbanan, delen Sätinge – Lekarekulle. Bro över väg N359U (km 35/603) (2000)
Marius Tremblay
18. Kalk- och kalkcementpelare – Jämförelse mellan laboriestabilisering och pelarinstallation (2001)
Erika Haglund & Evelina Nilsson
19. Kalkcementpelare i skivor – Modellförsök (2001)
Jan Honkanen & Johan Olofsson
20. Stabilisering av torv. Referensmetod för laboratorieinblandning. Steg 1 – Insamling av erfarenheter (2001)
Ronny Andersson, Arvid Jacobsson & Karin Axelsson
21. Erfarenhetsbank – Etapp 2: Erfarenhetsåterföring (2002)
Magnus Karlsson, Göran Holm & Leif Säfström
22. International Workshop on Deep Mixing Technology for Infrastructure Development – Current Practice & Research Needs (2002)
Göran Holm
23. Studie av inverkan av faktorer i blandningsprocessen vid djupstabilisering med kalkcementpelare – Fältförsök i Häby (2002)
Stefan Larsson, Marcus Dahlström & Bengt Nilsson
24. Peptisering vid djupstabilisering (2002)
Matilda Hoffstedt & Sven-Erik Johansson
25. Stabilisering/solidifiering av förorenad jord – en förstudie (2003)
Göran Holm
26. Gränszon (2003)
Sven-Erik Johansson
27. A complementary field study on the uniformity of lime-cement columns – Field tests at Strängnäs (2003)
Stefan Larsson, Marcus Dahlström & Bengt Nilsson
28. Stabilisering av torv – ringtest av referensmetod för tillverkning av laboratorieprov (2003)
Kerstin Pousette
29. Hållfasthetsfördelning i kalkcementpelare – Fältförsök i Strängnäs (2003)
Per Hedman & Mari Kuokkanen
30. Stabiliserad jords egenskaper. Delprojekt 5. Påverkan på miljö (2003)
Karsten Håkansson
31. A laboratory study of the boundary layer around lime/cement-, and cement columns in kaolin clay (2003)
Mirja Kosche
32. Kalkcementpelare som jordförstärkning – hur kan vi åstadkomma rätt funktion? Projektering, utförande och kontroll. Workshop, Göteborg 3 december 2002 och Stockholm 24 april 2003
Niklas Dannewitz & Bengt Rydell
33. Stabilisering av sulfidjord. En litteratur- och laboratoriestudie (2004)
Mattias Andersson & Tomas Norman
34. Långtidsegenskaper hos kalkcementpelare – en studie av 10 år gamla kalkcementpelarförstärkningar (2005)
Hjördis Löfroth
35. Seismisk kontrollmetod för KC-pelare (2005)
Niklas Dannewitz, Håkan Eriksson, Håkan Mattsson, Rolf Larsson, Göran Holm

Konferensbidrag och artiklar

- P1 **Towards a sustainable society – recent advances in deep mixing**
G Holm
- P2 **Stabilisation of sulphide soil – laboratory and planned full-scale tests of soil from Umeå in Northern Sweden**
M Andeersson, Y Rogbeck, G Holm, B Westerberg, J Mácsik
- P3 **Deformation properties of lime/cement columns. Evaluation from in-situ full scale tests of stabilised clay**
S Baker, G Sällfors, C Alén
- P4 **A laboratory study on the transition zone surrounding lime -cement columns**
S Larsson, M Kosche
- P5 **Properties of 10-year-old lime -cement columns**
H Löfroth
- P6 **Laboratory tests of stabilised sulphide soil from Northern Sweden**
B Westerberg, K Pousette, Y Rogbeck, M Andersson, T Norrman
- P7 **Increase in strength with time in soils stabilised with different types of binder in relation to the type and amount of reaction products**
H Åhnberg, S-E Johansson
- P8 **Lime/cement column stabilised soil – a new model for settlement calculation**
C Alén, S Baker, P-E Bengtsson, G Sällfors
- P9 **Test embankments on lime/cement stabilised clay**
C Alén, S Baker, J Ekström, A Hallingberg, V Svahn, G Sällfors
- P10 **Stabilisation and solidification of contaminated ground – a preliminary study**
G Holm, Y Rogbeck, C Berglund
- P11 **Environmental effects of deep mixing – laboratory analyses**
K Håkansson, H Åhnberg, S-E Johansson
- P12 **Findings of the work on influencing factors on the installation process for lime -cement columns**
S Larsson, L Nilsson
- P13 **Down-hole technique improves quality control on dry mix columns**
H Mattsson, R Larsson, G Holm, N Dannewitz, H Eriksson
- P14 **Column penetration tests for lime-cement columns in deep soil mixing – experiences from Sweden**
M Axelsson, S Larsson
- P15 **Shear box apparatus for modelling chemical stabilised soil –Introductory tests**
S Larsson
- P16 **The mixing process at the dry jet mixing method**
S Larsson
- P17 **Inblandningsprocessen vid kemisk pelarstabilisering – en översikt**
S Larsson
- P18 **On the use of CPT for quality assessment of lime -cement columns**
S Larsson
- P19 **Shear box model tests with lime/cement columns – some observations of failure mechanisms**
S Larsson, B Broms
- P20 **Deep stabilisation of soft soils – laboratory method for design and development of the dry jet mixing method**
S Larsson, S-E Renman, M Walter
- P21 **On the assessment of the mixing quality when using the dry jet mixing method**
S Larsson, M Axelsson, S-E Rehnman
- P22 **State of practice report: Execution, monitoring and quality control**
S Larsson
- P23 **On yield stresses and the influence of curing stresses on stress paths and strength measured in triaxial testing of stabilised soil**
H Åhnberg
- P24 **Effects of consolidation stresses on the strength of some stabilised Swedish soils**
H Åhnberg
- P25 **Effects of back pressure and strain rate used in triaxial testing of stabilised organic soils and clays**
H Åhnberg
- P26 **Measured permeabilities in stabilised Swedish soils**
H Åhnberg
- P27 **Effect of initial loading on the strength of stabilised peat**
H Åhnberg, P-E Bengtsson, G Holm
- P28 **Stabilising effects of different binders in some Swedish soils**
H Åhnberg, S-E Johansson, H Pihl, T Carlsson



Svensk Djupstabilisering

**c/o SGI, 581 93 Linköping
Tel: 013-20 18 61, Fax: 013- 20 19 14
<http://www.swedgeo.se/sd>**