



Svensk Djupstabilisering
Swedish Deep Stabilization Research Centre



Rapport 18

Svensk Djupstabilisering (SD) FoU 1995 – 2006

Ett kunskapslyft inom
djupstabilisering

Göran Holm

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 Byggforskningsrådet/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

Rapport 18

Svensk Djupstabilisering

FoU 1995 – 2006
Ett kunskapslyft inom
djupstabilisering

Rapport

Svensk Djupstabilisering
c/o Statens geotekniska institut
581 93 Linköping

Beställning

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

ISSN
ISRN

I402-2036
SD-R--06/18--SE

FÖRORD

Svensk Djupstabilisering (SD) har varit ett branschgemensamt centrum för forskning och utveckling inom djupstabilisering med kalkcementpelare under perioden 1995-2006. Verksamheten har syftat till att ge säkerhetsmässiga, funktionsmässiga och ekonomiska vinster som tillgodoser svenska intressen hos samhället och industrin. Medlemmar har varit myndigheter, bindemedelsleverantörer, entreprenörer, konsulter, forskningsinstitut samt högskolor och universitet. Det har varit den hittills största branschgemensamma FoU-satsningen i Sverige inom geoteknik. Den totala omslutningen har varit drygt 46 miljoner kronor.

SD:s verksamhet har medfört ett kunskapslyft som bl a ökar möjligheterna för en fortsatt hög användning av djupstabilisering med bindemedelsstabiliserade pelare och masstabilisering inom infrastrukturbyggandet.

Denna rapport sammanfattar den omfattande verksamheten och syftar till att sprida de kunskaper som tagits fram och de erfarenheter som gjorts. Tillämpningar och marknad för djupstabilisering med kalkcementpelare beskrivs, liksom fortsatt samverkan och utvecklingsbehov. Dessutom delges erfarenheter av att bedriva en så stor branschgemensam FoU-verksamhet. Framkomna kunskaper presenteras i kortfattade beskrivningar av flertalet utförda projekt med hänvisningar till de fullständiga rapporterna i SD:s två publikationsserier Rapporterna och Arbetsrapporter.

Linköping december 2006

Göran Holm, SGI
Projektledare för SD

Ronny Andersson, Cementa

Stefan Dahlin, Hercules Grundläggning

Tony Forsberg, LCM

Magnus Karlsson, Banverket

Håkan Pihl, Nordkalk

Bengt Rydell, SGI

Eskil Sellgren, WSP

Leif Säfström, Vägverket

Björn Sellberg, Formas (adj)
SD:s styrgrupp

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord	3
Sammanfattning	6
Summary	8
Svensk Djupstabilisering	9
Svensk Djupstabilisering – genomförande	10
Ett kunskapslyft.....	12
Tillämpningar och marknad	12
Erfarenheter av branschgemensam FoU-verksamhet	15
Fortsatt samverkan och utvecklingsbehov.....	16
Bilaga 1. Svensk Djupstabilisering – Organisation	18
Bilaga 2. Kortfattade projektbeskrivningar av ett urval av projekten.....	20
Bilaga 3. Publikationer utgivna av SD.....	32

SAMMANFATTNING

Svensk Djupstabilisering (SD) har varit en branschgemensam satsning på djupstabilisering av jord med bindemedelsstabiliserade pelare och masstabilisering. Verksamhet har omfattat forskning, utveckling, demonstration samt implementering och har genomförts under tiden 1995 - 2006. SD har haft 23 medverkande aktörer representerande myndigheter (3), entreprenörer (3), konsulter (5), materialindustrin (4), universitet och högskolor (4), forskningsinstitut (1) samt forskningsfinansiärer (3). Verksamheten har letts av en styrgrupp, till lika delar representerande myndigheter/forskarvärlden och industrin, med biträde av en projektledare vid Statens geotekniska institut (SGI). Verksamheten har totalt omslutit drygt 46 miljoner kronor och finansierats genom kontantbidrag av medlemmarna och medlemmarnas " eget arbete"-bidrag. Dessutom har anslag erhållits av Formas/BFR, Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF) och Kommunikatons-forskningsberedningen (KFB). Alla medel har lagts i en gemensam pott som fördelats efter beslut i SD:s styrgrupp.

FoU-verksamheten har omfattat områdena *Erfarenhetsbank, Stabiliserad jords egenskaper, Förstärkningars funktionssätt, Utförande* samt *Kontroll*. FoU-projekten har huvudsakligen utförts som teknisk licentiat- och doktorandprojekt. Som stöd för dessa har ett stort antal mindre projekt/praktikfall genomförts. Kursverksamhet har bedrivits inom jord- och bindemedelskemi. Internationella kontakter har etablerats bl a genom medverkan i workshops/konferenser/kurser i Europa, Japan och USA. Två internationella konferenser har arrangerats av SD, 1999 respektive 2005, båda i Stockholm och med stort internationellt deltagande.

Resultatet av verksamheten har publicerats i SD:s två rapportserier, *Rapporter* och *Arbetsrapporter*. Samtliga publikationer är kostnadsfritt nedladdningsbara från SD:s hemsida www.swedgeo.se/Sd t o m 2008. Publikationerna kan även beställas från Statens geotekniska institut, Informationstjänsten, tel: 013-20 18 04, E-post info@swedgeo.se. Resultat har också publicerats i ett stort antal tidskriftsartiklar, papers till konferenser samt i nationella och internationella föredrag.

SD:s verksamhet har medfört ett kunskapslyft inom djupstabilisering med bindemedels-stabiliserade pelare och masstabilisering. Detta kunskapslyft beskrivs projektvis kortfattat i rapporten med hänvisningar till de fullständiga publikationerna. En vägledning för användning av metoden har sammanställts.

SD:s verksamhet har vidare medfört ett kunskapslyft som ökar möjligheterna för en fortsatt hög användning av djupstabilisering med bindemedelsstabiliserade pelare och masstabilisering inom infrastrukturbyggandet. De nya kunskaperna ger dessutom möjlighet för en förbättrad och ökad användning av djupstabilisering genom att fler jordar är möjliga att stabilisera och med ökad kunskap om stabiliserad jords egenskaper.

De nya kunskaperna ger dessutom möjlighet för fler och nya tillämpningar, exempelvis minskning av spår vibrationer vid höghastighetståg och reduktion av vibrationer från trafik till omgivningen, minskning av risken för liquefaction och stabilisering/solidifiering av förorenad jord.

En ökad internationell marknad kan förväntas.

En fortsatt implementering av kunskaperna bör säkerställas inom respektive organisation, exempelvis genom information till projektledare hos beställare och uppdragsledare hos konsulter. I samband med kommande projekt med djupstabilisering bör ytterligare dokumenterad verifiering ske av de framtagna nya metoderna.

Ett fortsatt utvecklingsbehov inom 7 områden har identifierats, se kap "Fortsatt samverkan och utvecklingsbehov". Förslag till ansvarig part för respektive område ges. Fyra områden avser delar viktiga för funktionsupphandling, medan övriga tre öppnar för nya användningsområden för

djupstabilisering. Det finns ett intresse hos europeiska och internationella organisationer för samverkan inom djupstabilisering. Här bör Sverige vara aktivt för att vidmakthålla sin ledande position.

SUMMARY

The Swedish Deep Stabilization Research Centre (SD) was established between 1995 – 2006 to perform research, development, demonstration and implementation in the field of deep soil mixing. The Centre was comprised of 23 members, including government authorities (3), contractors (3), consulting companies (5), binder producers (4), universities (4), research institute (1) and research funding organisations (3). A steering group was formed with 50% of the delegates from the government authorities and the research organisation and 50 % from industry. The steering group led the activities of the SD together with a project manager from SGI. The total budget of 46 million SEK was financed by grants from the members as well as research grants from Formas/BFR, SBUF (the construction industry's organisation for research and development) and Kommunikationsforskningsberedningen. All financial resources were pooled and distributed accordingly by the steering group.

The R&D activities included **(a) Experience data-base, (b) Properties of stabilised soils, (c) Function of deep mixing improvements, and (d) Execution and (e) Control.** Most of the research activities have been focused on directing technical licentiate and doctoral projects; however, several minor research projects and case studies have also been performed. Courses have been given in chemistry related to soil stabilisation. International contacts have been established by active participation in workshops, conferences, and courses in Europe, Japan and USA. Two international conferences have been arranged by the SD, 1999 and 2005, both in Stockholm with a large number of international participants.

The SD activities have contributed to the body of knowledge in deep mixing. The results of the activities have been published in two series of publications from the SD. All publications can be downloaded free of charge from the SD website at www.swedgeo.se/Sd until 2008. The publications can also be ordered from Swedish Geotechnical Institute, phone +46 13 20 18 04, e-mail info@swedgeo.se. Research results have also been published in journals and conferences proceedings.

The results of the SD activities contribute to the continued use and advancement of deep mixing in infrastructure applications. Knowledge gained encourages the use of deep mixing in a wide variety of soil types. Furthermore, the gained knowledge also gives rise to the use of deep mixing for a wide variety of applications, e.g. reduction of vibrations at high speed trains, liquefaction mitigation and stabilisation/solidification of contaminated ground. As a result, an increased international market is expected.

A continued implementation of the new knowledge should be assured within all organisations. Further verifications of the research results and recommended methods should be performed within future deep mixing projects.

Future R&D needs have been identified within seven topics, as presented in the report. Four of the topics are related to functional design, while the other three pertain to new applications of deep mixing.

Finally, there is an interest in international co-operation. Sweden should be active in this international collaborative work to keep its leading position in deep mixing.

SVENSK DJUPSTABILISERING

Bakgrund

Bakgrunden till att etablera Svensk Djupstabilisering 1995 var att

- användningen av djupstabilisering med kalkcementpelare hade ökat snabbt
- det fanns ett stort intresse och framtida behov av metoden
- det bedömdes finnas en potential för internationell spridning
- metoden var empirisk och det fanns ett behov att få bättre vetenskapligt underlag
- det fanns vissa kvalitetsproblem

Utifrån detta formulerades målen för verksamheten och den branschgemensamma forsknings- och utvecklingsverksamheten Svensk Djupstabilisering startades.

Mål

SD har haft som mål att

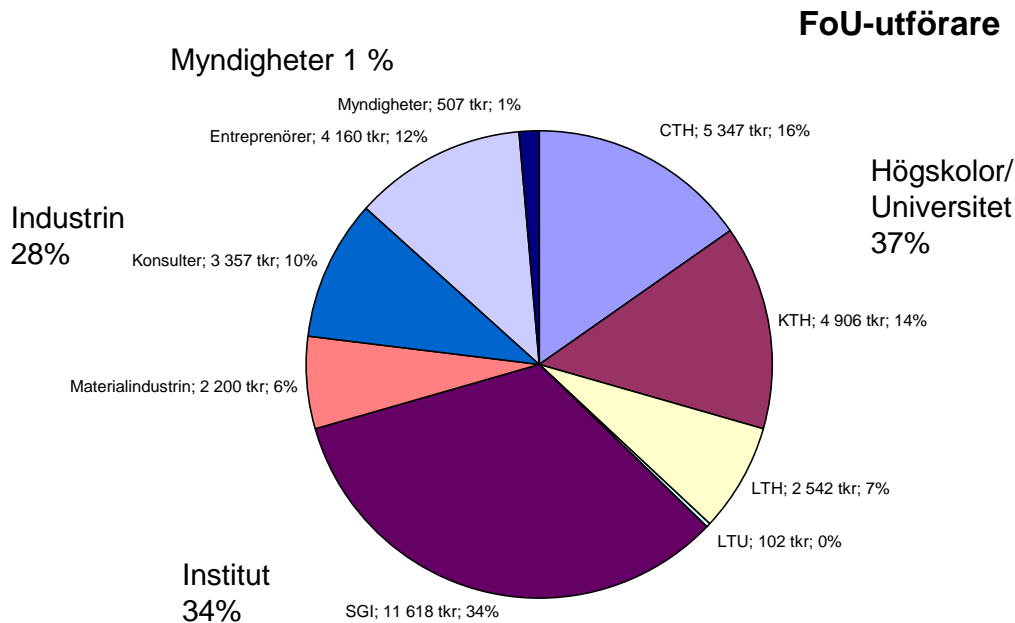
- skapa underlag för ett utökat användningsområde för metoden för olika jordar och tillämpningar
- skapa ökade möjligheter att differentiera metodens användning för att öka metodens konkurrenskraft samt skapa ökad lönsamhet för industrin och kostnadsbesparingar för samhället
- skapa kortare byggtider och minska behovet av restriktioner under byggskedet
- metoden skall kunna användas och handlas upp utifrån väldefinierade funktionskrav för säkerhet och underhåll
- skapa exportmöjligheter för industrin bl a genom ett systemtänkande för förstärkt jord
- säkerställa en hög och bred kompetens hos beställare, entreprenörer, material-leverantörer, konsulter och forskare
- skapa ett välutvecklat kontaktnät inom teknikområdet
- tillse att framtagen kunskap implementeras i branschen.



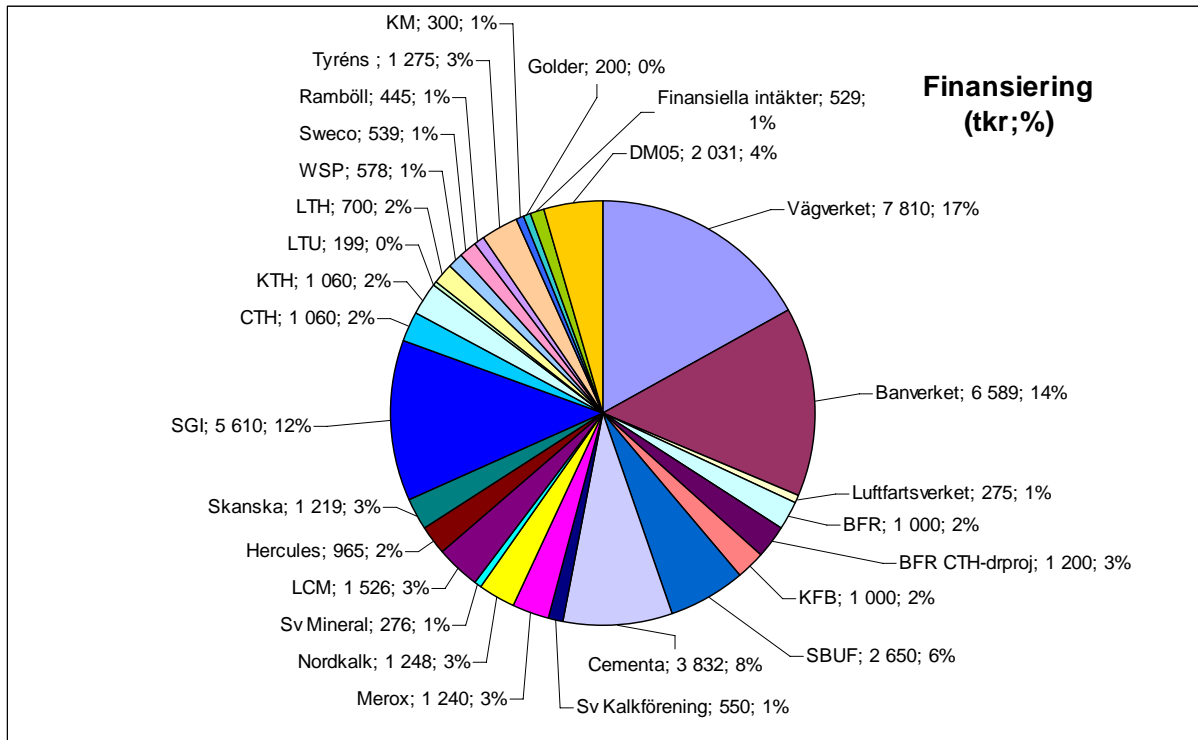
*Exempel på utrustning för djupstabilisering med kalkcementpelare i arbete.
(Example of equipment for deep mixing with limecementcolumns in operation).*

SVENSK DJUPSTABILISERING – GENOMFÖRANDE

Forsknings- och utvecklingsverksamheten har huvudsakligen genomförts som teknisk licentiat- eller doktorandprojekt vid Chalmers, KTH, LTH samt SGI men också som projekt inom industrin. Dessutom har studier av ett stort antal praktikfall gjorts som stöd till FoU-projekten. I nedanstående två diagram visas omfattningen (i tkr) och den procentuella andelen av utförda projekt för de olika FoU-utförarna respektive finansieringen.



*Fördelning av utförd FoU (tkr och %) på FoU-utförare.
(Distribution of performed R&D in TSEK and %).*



*Fördelning av finansieringen av SD:s verksamhet i tkr och %.
(Distribution of financing in TSEK and %).*

ETT KUNSKAPSLYFT

SD:s verksamhet har resulterat i 19 rapporter i serien Rapporter och 39 i serien Arbetsrapporter. Fyra rapporter är skrivna på engelska och tre andra finns både på svenska och engelska. Publikationerna har spritts i mer än 30 000 exemplar (både tryckta och digitalt nedladdade). Dessutom har skrivits ett stort antal bidrag till olika internationella tidskrifter och konferenser.

I Bilaga 2 presenteras flertalet projekt kortfattat med författare, syfte och resultat samt hänvisning till de fullständiga publikationerna. En förteckning över samtliga publikationer utgivna av Svensk Djupstabilisering finns i Bilaga 3. De två av SD anordnade internationella konferenserna har medfört proceedings med totalt 133 bidrag (keynote lectures, regional reports, state-of-practice reports och papers). För vidareutbildning av personal inom industrin m.fl. har kurser i jordkemi genomförts. Ca 15 möten/seminarier har anordnats varvid verksamheten presenterats och diskuterats.

Verksamheten har lett till att 5 tekn dr/tekn lic har examinerats vid KTH, Chalmers och LTH. Ett stort antal personer, ca 70 st, från universitet/högskolor, SGI och industrin samt myndigheter har medverkat i FoU-verksamheten.

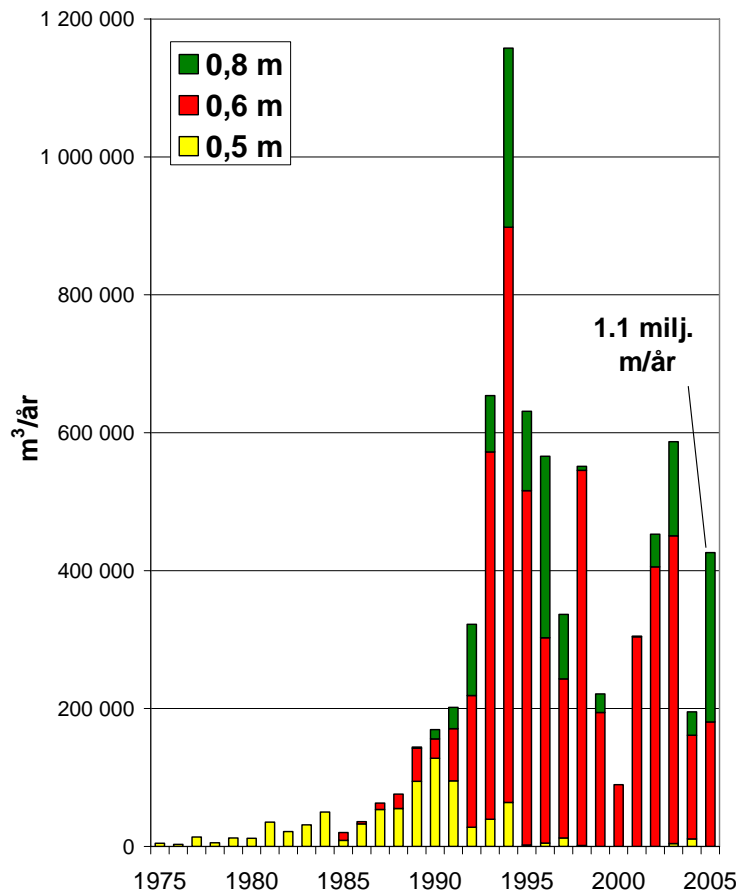
TILLÄMPNINGAR OCH MARKNAD

De nya kunskaperna som framkommit under SD:s verksamhetsperiod medför en förbättrad användning av metoden i etablerade tillämpningar genom ökad kunskap om stabiliserad jords egenskaper, beständighet, miljöpåverkan och förstärkningars funktionssätt. Dessutom har förstärkningsmetoden fått ett utökat användningsområde genom att fler jordar kan stabiliseras, inklusive organisk jord, genom användning av rätt bindemedel/bindemedelkombination och bindemedelsmängd.

Det huvudsakliga tillämpningsområdet är infrastruktur. Metoden, som nu är den dominerande förstärkningsåtgärden för vägar och järnvägar, används för att reducera sättningar och/eller förbättra stabiliteten. Nya tillämpningar i vilka några projekt redan utförts är minskning av spår vibrationer vid höghastighetståg samt minskning av vibrationer från trafik till omgivningen. Stora kostnadsbesparingar görs genom användningen av denna teknik. Ytterligare en ny tillämpning är efterbehandling av förorenad jord och muddermassor genom stabilisering/solidifiering. Även för denna tillämpning har några projekt utförts.

Den årliga volymen djupstabiliserad jord (enligt kalk-cementpelarmetoden) i Sverige har under senaste 10-års period varit ca 200 000-600 000 m³. Detta motsvarar ca 0,5-1,5 miljoner meter pelare. SD har underbyggt och bekräftat användningen av djupstabiliserad jord enligt kalkcementpelarmetoden. Med hänsyn till kommande stora infrastruktursatsningar bedöms potentialen för djupstabiliserad jord fortsatt vara mycket stor.

Volym djupstabiliserad jord i Sverige per år och pelardiameter



*Volym djupstabiliserad jord i Sverige per år och pelardiameter.
(Volume of deep mixing in Sweden per year and column diameter).*

De nya kunskaperna öppnar också ett antal nya tillämpningar, som också kan vara intressanta på exportmarknaden, såsom vibrationsdämpning vid höghastighetståg, förhindrande av liquefaction vid jordbävningar samt kombination av pelar- och masstabilisering. Även inom terrasstabilisering kan kunskaperna tillämpas.

Stabilisering/solidifiering av förorenad jord och muddermassor är ytterligare ett nytt tillämpningsområde. Under 2006 har inom Naturvårdsverkets kunskapsprogram Hållbar Sanering rapporten "Efterbehandling av förorenad jord och muddermassor genom stabilisering/solidifiering – Lämplighet och potential för svenska förhållanden" tagits fram. I den dras slutsatsen att det finns en stor potential för metoden med hänsyn till den mycket stora volym förorenade massor som finns i hamnar och som kommer att behöva muddras i framtiden för att klara sjöfarten. Även för de av länsstyrelserna högst prioriterade objekten med förorenad jord finns en potential för metoden.

Utanför SD har under senare år metoden Modified Dry Mixing (MDM) tagits fram, som är ett nytt patenterat system som kombinerar vatten och torrt bindemedel. Detta system kan användas i alltifrån lera till torr sand. Tillsatt mängd bindemedel och mängd vatten anpassas till de olika lagren i en jordprofil så att önskad egenskap erhålls i den stabiliserade jorden.

En europeisk utförandestandard för djupstabilisering (Deep Mixing) har tagits fram, ”*Execution of special geotechnical works – Deep Mixing*”, SIS, Svensk Standard, SS-EN 14679:2005. Denna utförandestandard omfattar både den torra och den våta metoden. I detta arbete har SD medverkat genom sina medlemmar.

Det internationella intresset för djupstabilisering med bindemedelsstabiliserade pelare har ökat markant under den senaste 10-års perioden. Utifrån det stora behovet i Europa att förstärka organisk jord genomfördes under senare delen av 1990-talet EU-projektet EuroSoilStab (inom EU:s 5:e ramforskningsprogram). Projektet behandlade djupstabilisering av organisk jord med slutrapporten ”EuroSoilStab. Development of design and construction methods to stabilize soft organic soils. Design Guide SoftSoil Stabilisation”. Även den geografiska spridningen världen över av metoden har ökat. Intresset för och spridning av metoden kan antas fortsätta. Detta återspeglas inte minst i antalet konferenser inom ämnesområdet och antalet deltagare i internationella möten/konferenser. Det finns även ett ökat intresse för internationellt samarbete inom FoU.

Det finns potential för en internationell marknad i infrastrukturtillämpningarna, men också inom stabilisering av organisk jord, förhindrande av liquefaction vid jordbävningar och stabilisering/solidifiering av förorenad jord och muddermassor. Här finns en potential för export av svensk know-how. Den europeiska utförandestandarden underlättar användningen av djupstabilisering (Deep Mixing). Under senare år har den svenska torra metoden använts i England, Belgien, Polen, Nederländerna, Italien, Tyskland, Norge, Finland, Vietnam, Malaysia, Thailand och USA,

Genom SD:s verksamhet har svensk geoteknik, svensk FoU och svenska företag och organisationer visat att svensk kompetens är internationellt intressant och konkurrenskraftig.

ERFARENHETER AV BRANSCHGEMENSAM FOU-VERKSAMHET

Denna omfattande FoU-verksamhet i branschgemensam form har givit många erfarenheter som kan komma till nytta för kommande FoU-samverkan.

Det är viktigt att **FoU-programmet** har tydliga mätbara och utmanande men samtidigt realistiska mål. Programmet bör tas fram gemensamt av slutanvändare och genomförare så att slutanvändarnas behov uppfylls och att det är möjligt att genomföra erforderlig verksamhet inom givna tids- och kostnadsramar.

Medlemmarnas bidrag till **finansieringen** av SD:s verksamhet har utgjorts av kontantbidrag och i form av "eget arbete"-bidrag. Det senare innebär att medlemmarna har arbetat i projekt utan att fakturera SD. Syftet med detta var att engagera alla medlemmar i den operativa verksamheten, att öka kunskaperna mer direkt hos medlemmarna men också att öka finansieringsstödet från medlemmarna. Detta har fungerat bra och många personer från medlemmarna har medverkat. Dock har smärre svårigheter uppkommit att utnyttja avtalat "eget arbete"-bidrag fullt ut för några medlemmar genom att det inte varit möjligt att matcha erforderlig kompetens/resurs med tillgänglig kompetens/resurs. Fakturering av motsvarande kostnad har skett. SD har också haft direkta anslag från forskningsfinansiärer. Flera SD-projekt vid högskolor har haft delfinansiering direkt från forskningsfinansiärer.

Oberoende utvärderingar av verksamheten har gjorts vid två tillfällen av professor Bengt Åkesson och professor Göran Fagerlund. Detta har varit till stor nytta för verksamheten. Den första utvärderingen gjordes hösten 1999 och gav underlag för justeringar av den fortsatta verksamheten. Den andra gjordes under andra hälften av 2005 och omfattade i stort sett hela SD:s verksamhet. Dessa utvärderingar är publicerade i Arbetsrapport 13 respektive Arbetsrapport 37. Från den sista utvärderingen har hämtats följande från de två utvärderarnas respektive sammanfattning:

Bengt Åkesson: "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.

Göran Fagerlund: Projektets karaktär av "teknikupphandlingsprojekt" anser jag vara positivt och en uppläggnings som kunde användas mera allmänt inom den tillämpade byggforskningen. Samtliga rapporter och artiklar är öppet tillgängliga vilket jag anser vara en stor styrka. Huvuddelen av projektet har karaktären av "empirisk forskning" vilken gått ut på att ta fram empiriska resultat från fält och laboratoriet. Högskeleforskning som genomförts med vissa medel från projektet anser jag vara av god kvalitet. Den rena materialforskningen t.ex. när det gäller bindemedlets funktion är mycket begränsad. 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.

Samverkan mellan medverkande myndigheter, forskningsorganisationer och industrin har varit mycket positiv och skapat mervärde hos parterna. Dessutom har ett välutvecklat och omfattande kontaktnät skapats, som kan underlätta både tillämpning och fortsatt utveckling av tekniken. Ett mycket stort antal personer, ca 70 st, representerande forskarvärlden, industrin och beställare har varit engagerade.

Ytterligare positiva erfarenheter är det goda samarbetet som varit mellan olika aktörer som i den dagliga verksamheten är konkurrenter. Här bör också betonas det positiva i att finansiärerna (beställare och industrin) lagt sina pengar i en och samma pott och överlåtit till styrgruppen för SD att prioritera och bedriva FoU-verksamheten. Det mångåriga finansiella stödet har varit positivt och bl.a. möjliggjort ett flertal teknisk licentiat- och doktorandprojekt.

Information och kunskapsspridning har gjorts löpande vid årliga möten för medlemmarna, tidskriftsartiklar, papers till konferenser och genom SD:s publikationer, men också genom föredrag vid lokala och nationella möten. En positiv erfarenhet är att spridningen av SD:s publikationer har varit framgångsrik genom att de kan laddas ner från SD:s hemsida kostnadsfritt. Inte mindre än 26 619 exemplar har laddats ner under tiden 2002-juni 2006 (arbetsrapporterna nedladdningsbara först fr.o.m. januari 2005). Antalet tryckta rapporter och arbetsrapporter som sänts till medlemmarna eller sålts dessförinnan har varit 4 130 st. Antalet deltagare i de två av SD anordnade internationella konferenserna har varit mycket stort, 165 respektive 278 personer.

Mindre goda erfarenheter är relaterade till inledningsfasen av hela verksamheten som tog längre tid än planerat. Detta berodde bl.a. beroende på svårigheter att hitta rätta personer för projekten, exempelvis till doktorandprojekt, att forskarna hos medlemmarna som arbetat åt SD på deltid och ofta har blivit försenade samt att tidsförskjutningar i projekt har försvårat samordningsvinster. Här kan också nämnas de svårigheter som uppkommit att hitta platser för fältförsök som varit både lämpliga och tillgängliga vid rätt tidpunkt. Även de diskussioner som gällt offentliggörande kontra "hemlighållande" av resultat, som resulterat i att publikationerna i serien Rapporter offentliggjorts omgående, medan serien Arbetsrapporter i ett första skede endast var tillgängliga för SD-medlemmarna internt och först under senare år successivt gjorts allmänt tillgängliga.

Slutligen kan nämnas att SD har stått som förebild för Vägverkets FUD-centra.

FORTSATT SAMVERKAN OCH UTVECKLINGSBEHOV

Implementering

Implementeringen av SD:s resultat bör fortsätta genom att företag och organisationer tar ansvar för förmedla och tillämpa kunskaperna inom respektive företag/organisation. Detta kan exempelvis göras genom information till projektledare och geotekniker hos beställare, uppdragsledare och geotekniker hos konsulter och geotekniker m.fl. hos entreprenörer. Implementering bör också utföras genom kurser, nationella möten samt vid framtagande av branschgemensamma dokument.

De framtagna resultaten och föreslagna metoderna bör verifieras ytterligare i samband med förstärkningsprojekt. Förslagsvis utförs detta i samarbete mellan beställare-konsult-entreprenör.

Forskning och utveckling

En fortsatt forskning och utveckling behövs och bör omfatta i första hand:

- **kontrollmetoder.** Förbättrad produktionsmässig tillförlitlig kontrollmetod(-er) tas fram och ”standardiseras” baserat på SD:s arbete och internationell forskning samt bedrivs som ett samverkansprojekt mellan beställare (t.ex. Vägverket och Banverket) och entreprenörer.
- **funktionsupphandling.** Beställare (t.ex. Vägverket) bör ta en ledande roll för projektet där funktionskrav och kontrollmetoder är viktiga delar och där beställare och entreprenörer samverkar. Ett underlag för arbetet är den workshop som SD genomförde och som rapporterats i SD Arbetsrapport 32.
- **verifieringsprojekt.** Projekt genomförs under ledning av beställare för ytterligare verifiering av ny beräkningsmetod för sättningar (se Rapport 17 Appendix) och beräkningsmetod för stabilitet (provbänk till brott).
- **CEN-standard för inblandning och tillverkning av prover** av stabiliserad jord på laboratorium bör utarbetas.
- **jordkemi.** Fördjupade studier av t.ex. kemiska reaktioner genomförs under ledning av materialindustrin i samarbete med högskolor/institut.
- **stabilisering/solidifiering av förorenad jord och muddermassor.** En studie genomförs av effekten av stabilisering/solidifiering vid olika förhållanden och kombinationer avseende föroreningar, jordtyp/muddermassor och bindemedel. Pilotförsök i fullskala utförs i anslutning till verkliga projekt. En svensk vägledning för efterbehandling av förorenad jord och muddermassor genom stabilisering/solidifiering tas fram. Arbetet utförs i ett brett samarbete mellan industrin (t.ex. konsulter, entreprenörer, materialleverantörer), beställare och högskolor/institut.
- **klimatpåverkan.** En utredning görs avseende inverkan av klimatförändringar på djupstabiliseringsmetoden och dess tillämpningar t.ex. avseende långtidfunktion och beständighet under ledning av beställare i samarbete med högskolor/institut.

Internationell samverkan

Det finns ett intresse hos europeiska och andra internationella organisationer att samverka inom djupstabilisering, bl.a. avseende metoder för laboratorieinblandning (tillverkning av provkroppar) samt sammanställning i databaser av egenskaper hos stabiliserad jord (ren och förorenad. Även för utbyte av forskningsresultat finns ett stort internationellt intresse. Nästa internationella konferens om djupstabilisering (Deep Mixing) kommer att hållas i Japan 2009.

Finansiering

Utifrån de goda erfarenheterna av den breda finansieringen av SD:s verksamhet bör ett fortsatt brett finansieringsstöd vara möjligt. Den grundläggande forskningen bör kunna finansieras av exempelvis Formas. Den tillämpade forskningen och verifieringen av forskningen bör kunna finansieras av slutanvändare/beställare och industrin.

BILAGA 1

SVENSK DJUPSTABILISERING – ORGANISATION

Svensk Djupstabilisering (SD) har varit ett centrum för forskning och utveckling inom djupstabilisering med kalkcementpelare med syfte att bedriva FoU-verksamhet som ger säkerhetsmässiga, funktionsmässiga och ekonomiska vinster som tillgodoser svenska intressen hos samhället och industrin. Verksamheten har finansierats av medlemmarna och genom anslag från Byggforskningsrådet/Formas, Svenska byggbranschens utvecklingsfond och Kommunikationsforskningsberedningen. SD har haft sitt säte vid Statens geotekniska institut (SGI) och letts av en styrgrupp med lika antal representanter från industrin och samhället/forskarvärlden.

På SD:s hemsida www.swedgeo.se/Sd finns information om metoden, FoU-verksamheten, publikationerna (nedladdningsbara) och medlemmarna (inklusive länkar).

Styrgruppsledamöter

Ronny Andersson	Cementa	1995-2006	ordf 2001-2006
Stefan Dahlin	Hercules	2001-2006	
Ulf Juvel	Svenska kalkföreningen	1996-1996	
Jan Hartlén	JH GeoConsulting	1995-1996	
Juha Helin	LCM	2001-2005	
Lars Holmquist	LC Markteknik	1995-2000	
Magnus Karlsson	Banverket	2001-2006	
Bertil Lindberg	Hercules	1999-2000	
Per Löfving	Vägverket	1997-2000	
Jan Pettersson	Skanska	1996-1998	
Leif Pettersson	Vägverket	1995-1996	ordf 1995-1996
Håkan Pihl	Nordkalk	2001-2006	
Björn Paulsson	Banverket	1995-2000	ordf 1997-2000
Bengt Rydell	SGI	1997-2006	
Eskil Sellgren	WSP	1996-2006	
Leif Säfström	Vägverket	2001-2006	
Alf Wikander	Nordkalk	1997-2000	
Björn Sellberg	BFR/Formas, adj	1996-2006	

SD:s projektledare

Göran Holm	SGI	1995-2006
------------	-----	-----------

Medlemmar i SD

Myndigheter	Vägverket	www.vv.se
	Banverket	www.banverket.se
	Luftfartsverket	www.lfv.se
Materialindustrin	Cementa	www.cementa.se
	Nordkalk	www.nordkalk.com
	SSAB Merox	www.merox.se
	Svenska Mineral	www.svenska-mineral.se
Entreprenörer	LCM	www.lcm.se
	Hercules	www.hercules.se

Konsulter	Skanska	www.skanska.se
	WSP (J&W)	www.wspgroup.se
	Tyréns	www.tyrens.se
	Ramböll (SCC)	www.ramboll.se
	Sweco	www.sweco.se
Forskningsorganisationer	Golder (-2001)	www.golder.se
	Chalmers	www.chalmers.se
	KTH	www.kth.se
	LTU	www.ltu.se
	LTH	www.lth.se
Forskningsfinansiärer	SGI	www.swedgeo.se
	BRF/Formas	www.formas.se
	SBUF	www.sbuf.se

BILAGA 2

KORTFATTADE PROJEKTBEKRIVNINGAR AV ETT URVAL AV PROJEKTEN

I det följande ges kortfattade beskrivningar av ett urval av de genomförda projekten med hänvisningar till de fullständiga rapporterna. Urvalet har gjorts utifrån de frågeställningar som oftast uppkommer vid utredningar om lämpliga förstärkningsmetoder, vid dimensionering och vid utförande av förstärkningar. Samtliga publikationer utgivna av SD finns förtecknade i Bilaga 3.

VÄGLEDNING

Djupstabilisering med bindemedelstabiliserade pelare och masstabilisering – en vägledning Rapport 17 (2006). Rolf Larsson

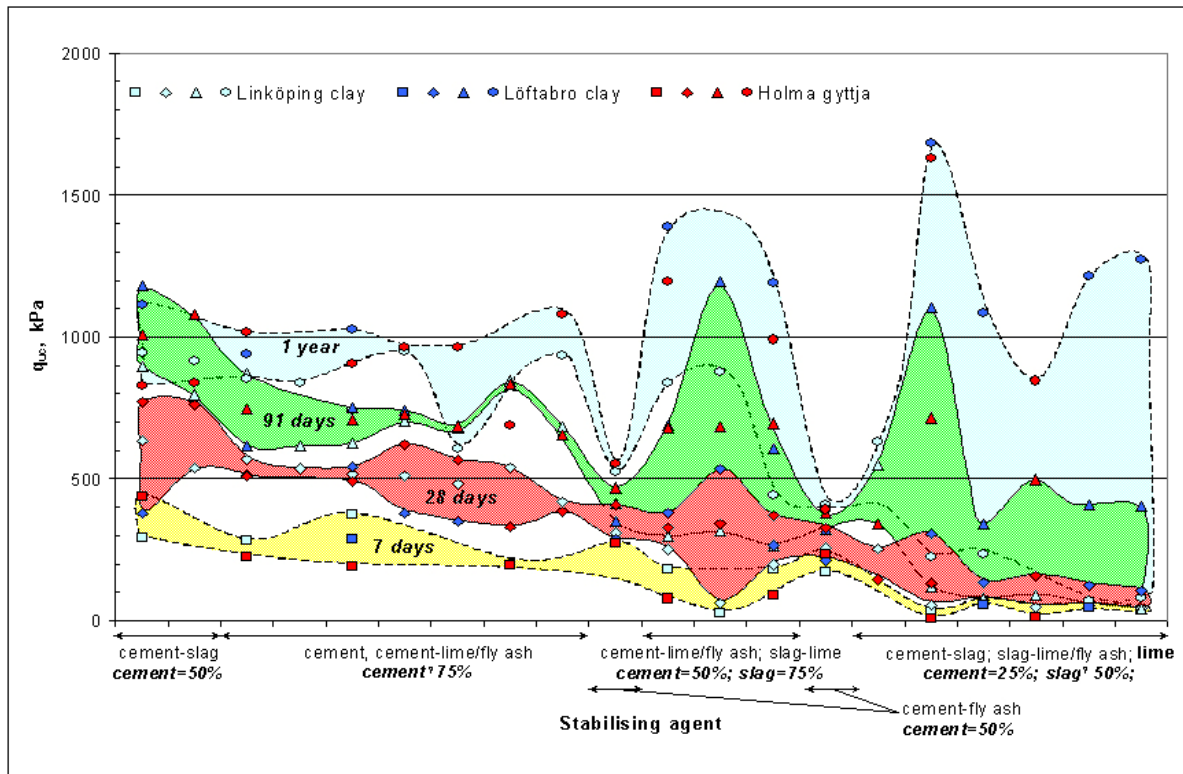
Syfte	Att för de vanligaste och beprövade tillämpningarna utgöra en uppdaterad vägledning för utförande och dimensionering av djupstabilisering av jord genom inblandning av bindemedel. Syftet är också att ge en bakgrund och förståelse för hur bindemedelsstabiliserad jord fungerar och de begränsningar för utnyttjandet av det stabiliserade materialet som gäller vid de förenklade dimensioneringsregler som oftast används. Syftet är vidare att översiktligt beskriva vad som bör beaktas när metoden utnyttjas för andra tillämpningar samt de nya dimensioneringsmetoder som är under framtagning för att bland annat hårdare och starkare pelare skall kunna utnyttjas än de som inryms i de förenklade dimensioneringsmetoder som normalt används idag.
Resultat	Rapporten är uppdelad på en huvuddel och ett antal appendix där olika aspekter på bindemedel, tillverkning, tekniska egenskaper hos bindemedelsstabiliserad jord, provning och kvalitetskontroll. I dessa appendix ges också referenser till var huvuddelen av uppgifterna är hämtade och var ytterligare information kan sökas. I huvudtexten ges endast några referenser till litteratur som behandlar tillämpningsområden som ligger något utanför de traditionella och mer väletablerade.

STABILISERAD JORDS EGENSKAPER

Strength of Stabilised Soils. A Laboratory Study on Clays and organic Soils Stabilised with Different Types of Binders. Rapport 16 (2006). Helen Åhnberg

Syfte	Att öka kunskapen om hållfastheten hos stabiliserad jords, med inriktning på hur olika typer av bindemedel inverkar på hållfasthetstillväxten efter inblandning och hur stabiliserad jord uppträder ur hållfasthetssynpunkt vid olika spännings- och dräneringsförhållanden.
Resultat	En övergripande slutsats är att typen av bindemedel kan ha stor inverkan på den hållfasthetstillväxt som sker efter inblandning. Typen av bindemedel har däremot normalt mindre betydelse för den stabiliserade jordens egenskaper. Spännings-töjnings samband styrs främst av den hållfasthetsnivå som uppnåts snarare än av typen av medel som blandats in. Beteendet hos stabiliserad jord liknar i mycket det hos cementerade och överkonsoliderade naturliga jordar. Samma typ av parametrar som används för beskrivning av hållfasthet hos naturlig jord kan därmed användas också för stabiliserad jord. I figuren visas exempel på ungefärlig spridning hos uppmätt hållfasthet

vid olika tider efter inblandning i lera och gyttja vid olika kombinationer av bindemedel (bindemedelsmängd 100 kg/m³).

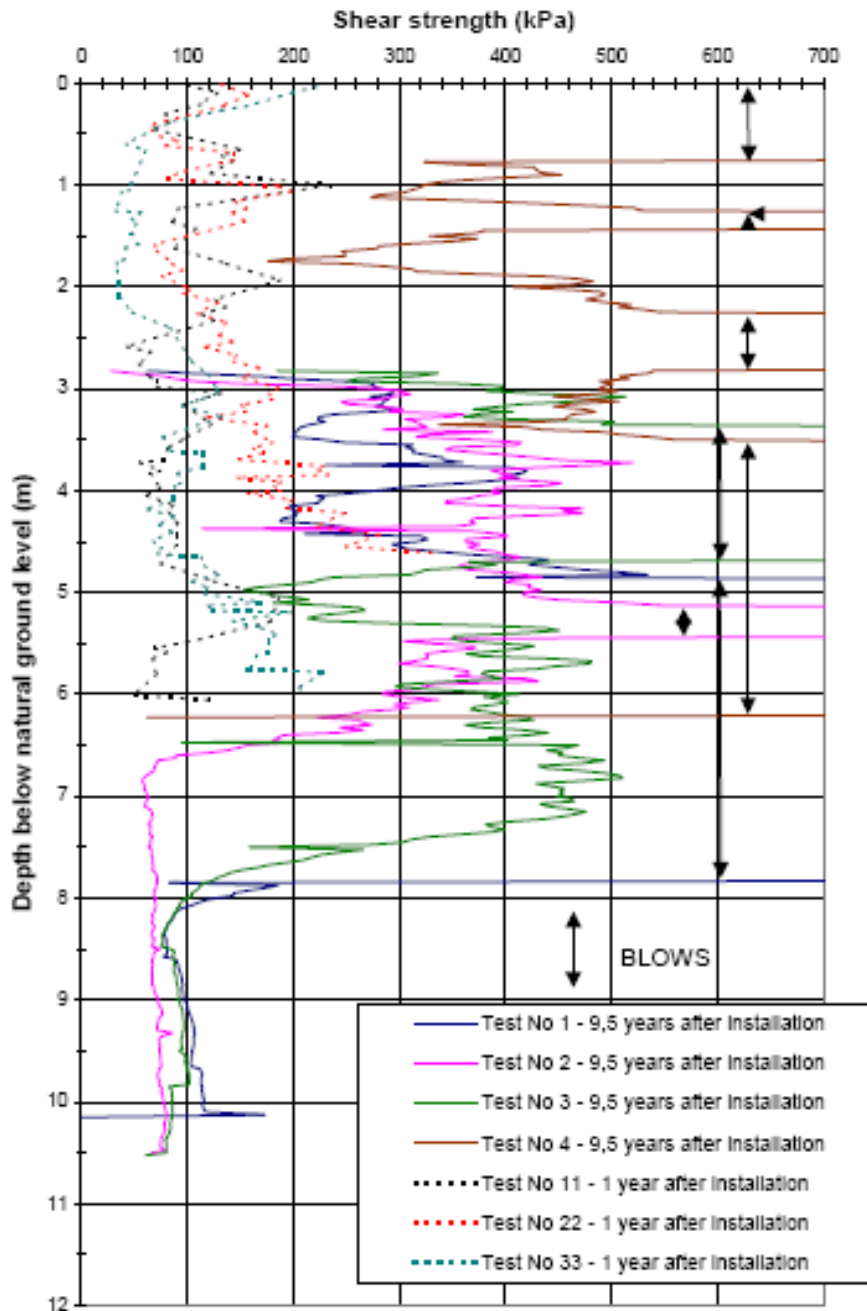


Hållfasthet hos laboratorieblandade prover med olika bindemedel och vid olika tidpunkter. (Strength of laboratory mixed samples with different binders and at different times after mixing).

Långtidsegenskaper hos kalk-cementpelare. En studie av 10 år gamla kalkcementpelarförstärkningar

Arbetsrapport 34 (2005). Hjördis Löfroth

Syfte	Undersöka hur kalkcementpelares egenskaper förändras under lång tid, speciellt hållfasthet samt urlakning av kalcium från pelarna till omgivande lera.
Resultat	Undersökningarna av 9,5 år gamla kalkcementpelare i Kungsbacka visar att hållfastheten ökat under perioden 1 år till 9,5 år efter pelarinstallationen längs hela pelaren, dvs både i den gytjtig leran ner till 2,5 m djup och i leran däunder, se nedanstående figur. Den utvärderade hållfastheten efter 9,5 år är ca 2 ggr större än hållfastheten efter 1 år. Trenden är inte lika tydlig för 11 år gamla kalkcementpelarna i Munkedal. En hållfasthetsökning har konstaterats i de övre 3-4 m av pelarna. Därunder syns ingen hållfasthetsökning. En annan studie har visat att hållfastheten hos kalkcementpelare är ca 1,3 ggr högre 2,5 år efter installationen jämfört med 210 dagar efter installationen.



Hållfasthet hos kalkcementpelare i Kungsbacka 1 respektive 9,5 år efter installation.
(Strength of limecement columns 1 and 9,5 years after installation).

Beständighet hos djupstabilisering

Arbetsrapport 36 (2005). Sven-Erik Johansson, Helen Åhnberg, Håkan Pihl.

Syfte Öka kunskapen om beständighet hos stabiliserad jord och tänkbara skademekanismer.

Resultat Stabiliserad jords långtidsegenskaper är goda och hållfastheten tillväxer normalt under lång tid. De hållfasthetsuppbyggande produkterna är i sig stabila. Lakförsök visar att angreppshastigheten är låg vid lågt vattenutbyte. Resultaten indikerar att efter 100 år är djupet för påverkat material i storleksordningen några cm. Inhomogenitet och/eller rinnande vatten verkar vara de största riskfaktorerna.

Dynamisk påverkan på stabiliserad jords egenskaper

Arbetsrapport 39 (2006). Per-Evert Bengtsson, Magnus Karlsson

- Syfte Öka kunskapen om hur upprepade cykliska lastväxlingar påverkar en kalkcementstabiliserad jord för att indikera vilka nivåer på den cykliska belastningen som kan leda till negativ påverkan.
- Resultat Utförda cykliska triaxialförsök efterliknande fallet tunn järnvägsbank på en stabiliserad lös lera med tunn torrskorpa visar att den cykliska lasten inte har en degraderande effekt på hållfastheten upp till en skjuvspänningsnivå av 0,61 á 0,80 av den odränerade skjuvhållfastheten.

Masstabilisering

Rapport 5 (2000). Nenad Jelusic

- Syfte Bestämna relevanta undersökningsmetoder för bestämning av hållfasthets- och deformationsegenskaper i masstabiliserad jord, samt en genomgång av utförda masstabiliseringsprojekt i Finland och Sverige.
- Resultat Pelarsondering och pelarvingssondering (s.k. Finsk vinge) har givit kvalitativa kunskaper om de mekaniska egenskaperna i den stabiliserade torven, medan SASW-mätningar tillsammans med CPTU-sonderingar har givit kunskap om spridningen.

KEMISKA REAKTIONER

Kemiska reaktioner, olika bindemedels funktion vid djupstabilisering

Rapport 9 (2001). Mårten Janz, Sven-Erik Johansson

- Syfte Studera/beskriva olika bindemedels funktion i olika jordar baserat på de kemiska reaktionerna.
- Resultat Cement reagerar med vattnet i jorden och ger en snabb hållfasthetstillväxt. Även kalk reagerar med vattnet och bildar kalciumhydroxid. Det är dock reaktionsprodukterna från den långsamma sekundära reaktionen mellan kalciumhydroxiden och mineral i jorden med puzzolana egenskaper som ger hållfasthetstillväxten. I dispergerade leror med låg plasticitet kan kalciumhydroxiden även ge en stabiliserande effekt genom att ett jonbyte sker mellan positiva joner på lerkornens ytor och kalciumjoner. Förutsatt att det valda bindemedlet har önskad funktion i aktuell jord så bestäms slutresultatet av vattenbindemedelstalet, *vbt*, dvs kvoten mellan markens vattenhalt och mängden tillsatt bindemedel. Hög vattenhalt i jorden kräver således mer bindemedel för att samma *vbt* och stabiliseringseffekt skall uppnås. Generellt kan sägas att reaktiviteten ökar med finheten hos cement och slagg. Temperaturen har stor betydelse för reaktionshastigheten och slutresultatet. Speciellt påverkas puzzolanreaktionerna negativt av en låg temperatur.
- Anm. Även rapport 2 (1997) och arbetsrapport 38 (2006) behandlar ämnet.

Kemiska reaktioner vid stabilisering av jord

Arbetsrapport 38 (2006). Sven-Erik Johansson, Helen Åhnberg, Håkan Pihl

- Syfte Klarlägga om man via analys av porvattnet kan förutsäga stabiliseringseffekten vid olika kombinationer av jordar och bindemedel.
- Resultat För att koppla porvattenanalysresultat till hållfastheter hos stabiliserad jord krävs en större variation i jonsammansättning och jonkoncentrationer än vad

som varit fallet i undersökningen. Porvatten analys kan vara till hjälp att hitta extrema avvikelser i vattnets sammansättning och därmed begränsa urvalet av bindemedel. Det är dock inte en metod som kan klassa normala porvatten och jordar med avseende på förväntad hållfasthet hos den stabiliserade jorden.

Kalktypens inverkan på stabiliseringsresultatet. En Förstudie

Rapport 2 (1997). Helen Åhnberg, Håkan Pihl

- Syfte** Orienterande undersökningar av kalktypens inverkan på stabiliseringseffekten i olika leror.
- Resultat** Typen av kalk som används kan ha stor betydelse för stabiliseringsresultatet även då skillnaderna i egenskaper som bränningsgrad, kornstorlek, CaO-halt m.m. är relativt små. Lagring av kalk i behållare utan lock medförde att efter sju veckor var uppmätt släckningsvärme mindre än 10 % av den som erhöles från kalk som lagrats med lock. Undersökningen visade på stor inverkan av halten av CaO-aktiv, som i sin tur återspeglas i andra egenskaper som släckningsreaktivitet och halt CO₂ hos kalken. Andra faktorer som kan ha relativt stor inverkan var BET-yta och silikatinnehåll.

Stabilisering av organisk jord med cement- och puzzolanreaktioner

Rapport 3 (2000). Karin Axelsson, Sven-Erik Johansson, Ronny Andersson

- Syfte** Visa på möjligheterna att stabilisera gyttja och torv samt att tjäna som underlag, avseende bl.a. metodik och försöksplanering, för vidare utveckling av masstabilisering och för en fördjupad studie. De stabiliseringsmedel som användes var cement (4 olika sorter), osläckt kalk, finsand, finmald granulerad masugnsslagg samt olika restmaterial från industrin.
- Resultat** Resultaten från stabiliseringsförsöken visar att olika cementsorter och olika kombinationer av stabiliseringsmedel skiljer sig åt avseende effekt. I gyttjan var stabilisering med enbart svensk SH-cement effektivast, men i några fall var svensk std-cement lika bra. Alla kombinationer av stabiliseringsmedel gav i gyttjan sämre resultat än enbart cement. I torven gav blandningar med cement och finmald granulerad masugnsslagg bäst resultat. Även stabilisering med enbart cement (standard- och snabb-cement) gav bra resultat.

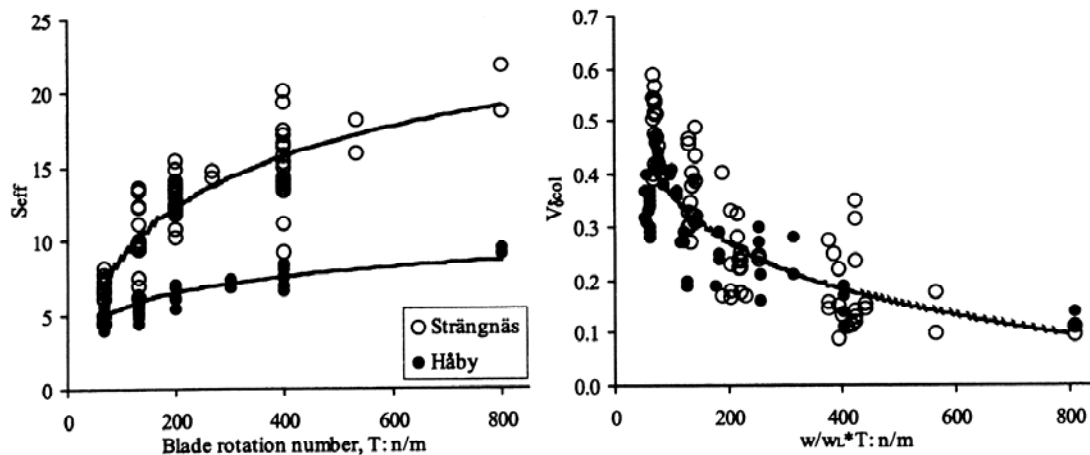
INBLANDNING AV BINDEMEDEL

Mixing Processes for Ground Improvement by Deep Mixing

Rapport 12 (2004). Stefan Larsson

- Syfte** Skapa grundläggande kunskap om mekanismer och inverkan vid inblandning av bindemedel i jordar, utveckla metodik för att studera inverkan på homogeniteten hos den stabiliserade jorden samt diskutera erforderlig blandningskvalitet.
- Resultat** Antalet blad hos inblandningsverktyget och uppdragningshastigheten har signifikant inverkan på stabiliseringseffekten och variationskoefficienten för hållfastheten hos den stabiliserade jorden. Dessa två faktorer kan kopplas samman till "blade rotation number", som är antalet passager av blad hos inblandningsverktyget per meter pelare. I figuren visas dels stabiliseringseffekten (Seff= antal gånger hållfastheten ökat) som funktion av "Blade rotation number" och dels homogeniteten hos den stabiliserade

jorden uttrycket som variationskoefficienten som funktion av "Blade rotation number" multiplicerat med kvoten vattenhalten dividerat med flytgränsen.



Stabiliseringseffekt och variationskoefficient hos kalkcementpelare som funktion av "blade rotation number" (Stabilisation effect and coefficient of variation of limecement columns versus "blade rotation number").

Inblandningsmekanismer vid djupstabilisering med kalk-, kalk/cementpelare och cementpelare

Arbetsrapport 3 (1998). Stefan Larsson

- Syfte** Utifrån litteraturstudier samt blandningsprocesser och erfarenheter inom processindustrin beskriva rådande kunskapsläge kring blandningsmekanismer och blandningsprocesser i relation till djupstabilisering med kalkcementpelare.
- Resultat** Blandningsmekanismerna laminär skjuvning, extensionellt flöde, distributiv blandning och molekylär diffusion beskrivs. Även blandningsprocessens tre moment beskrivs, neddrivning av blandningsverktyget med uppbyggnad av jordens struktur, dispersion och molekylär diffusion.
- Anm.** Även Rapport 6 och Arbetsrapporterna 23, 27 och 29 behandlar detta ämne.

Peptisering vid djupstabilisering

Arbetsrapport 24 (2003). Matilda Hoffstedt, Sven-Erik Johansson

- Syfte** Genom tillsats av peptiseringsmedel minska lerans styvhet och härigenom få en bättre inblandning av bindemedlet. Studera olika peptiseringsmedels effektivitet och inverkan på slutresultatet.
- Resultat** Vattenglas befanns vara bäst fungerande tillsatsmedel. 1-2% av stabiliseringsmedlets vikt erfordrades. Tillsatsmedlet måste blandas in i leran före bindemedlet, i praktiken lämpligen under neddrivningen av blandningsverktyget. Ca en halv minuts verkningstid är tillräcklig för att få leran bearbetbar. Observeras bör att spridning av tillsatsmedlet utanför den blivande pelaren ger en lös gränsszon.

Gränszonen kalkcementpelare-jord

Arbetsrapport 26 (2003). Sven-Erik Johansson

- Syfte Genom laboratorieförsök studera bindemedlets inverkan på gränszonens egenskaper.
- Resultat I laboratoriestudien, i vilken enbart cement användes som bindemedel, konstaterades att konsistensen i gränsområdet stabiliserat och ostabiliserat material är lösare än omgivande material. Enligt den teori om jonbyte som framförs i rapporten borde effekterna av detta vara något större när enbart cement används som bindemedel än när en blandning av kalk och cement används.

A laboratory model study on the transition zone and the boundary layer around lime-cement columns in kaolin clay

Arbetsrapport 31 (2004). Mirja Kosches

- Syfte Genom laboratorieförsök studera gränszonens egenskaper vid olika bindemedel samt vid torr respektive våt inblandningsmetod.
- Resultat I laboratorieförsöken skapades pelare med ca 50 mm diameter i en preparerad kaolinlera. Migrationen av kalciumjoner ökar skjuvhållfastheten i övergångszonen runt pelarna. Övergångszonen var ca 30 mm efter 90 dagar. Sensitiviteten ökade förutom vid bindemedlet kalk/cement 70/30. Vid våt inblandningsteknik och enbart cement som bindemedel erhöles en negativ effekt på skjuvhållfastheten i övergångszonen.

FÖRSTÄRKNINGARS VERKNINGSSÄTT**Deformation behaviour of lime/cement column stabilized clay**

Rapport 7 (2000). Sadek Baker

- Syfte Modifiera beräkningsteorier för sättningar så att hänsyn tas till styvhetsskillnader mellan pelare och omgivande jord vid beräkning av konsolideringsförloppet. Öka kunskapen om materialegenskaper för att bättre förutsäga deformationer hos kalkcementstabiliserad jord under ständig last.
- Resultat Tre matematiska modeller har tagits fram, två numeriska och en analytisk. Lastspridning, sättningsbelopp, hydraulisk konduktivitet och sättningsutveckling med tiden för de olika metoderna samt traditionellt använd metod beskrivs.

Provbanks Rv45/Nordlänken. Bankar på kalkcementpelarförstärkt jord – Beräkningsmodell för sättningar

Rapport 15 (2006). Claes Alén, Per-Evert Bengtsson, Göran Sällfors, Sadek Baker

- Syfte Utveckla en beräkningsmodell för sättningar som på ett relevant sätt beskriver uppträdet av kalkcementpelarförstärkningar med inriktning mot pelare som ej går till fasta bottenlager.
- Resultat Beräkningsmodellen utgår från att deformationsegenskaperna hos såväl oförstärkt som stabiliserad lera kan beskrivas med konventionella metoder. Samverkan mellan dessa två delar beskrivs på ett enkelt men ändå fullt realistiskt sätt, speciellt lastspridningen i jorden. Dessutom behandlas lastöverföring/sättning mellan bank och kalkcementpelarförstärkt jord respektive lastöverföring till och sättning i jorden under kalkcementpelarförstärkningen. Långtidssättningar med hänsyn till såväl klassisk konsolidering som krypning behandlas också. Någon färdig, beprövad och allmänt accepterad metod har inte hunnit utvecklas.

Kalkcementpelare i skivor - modellförsök

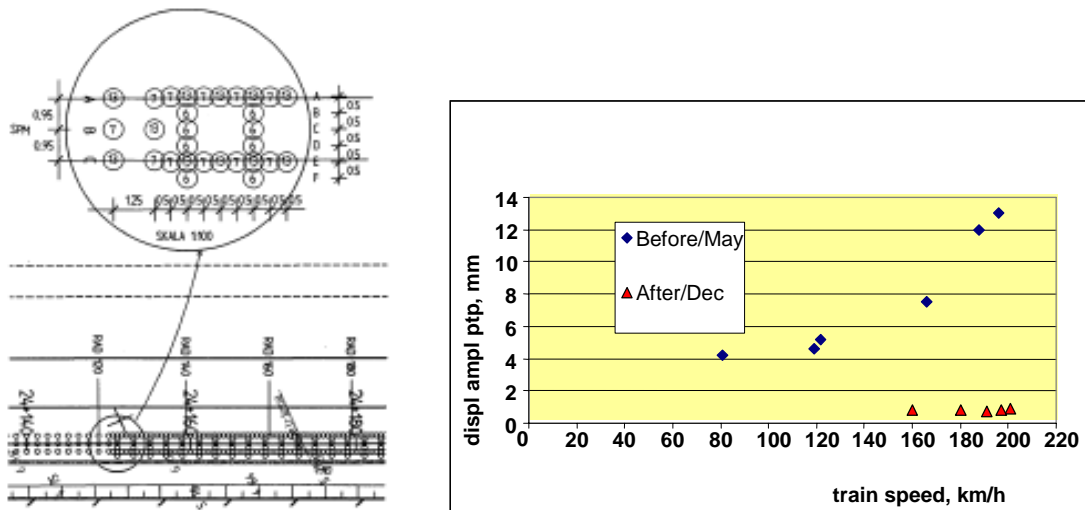
Arbetsrapport 19. Jan Honkanen, Johan Olofsson

- Syfte** Att i modellförsök studera brottmekanismer och brottlast för kalkcementpelarskivor samt jämföra resultaten med beräkningsmodeller.
- Resultat** Försöken visar att ett flertal brottmekanismer kan förekomma. Vilken brottmekanism som uppkommer tros vara beroende av faktorer som tvärsnittets geometri, tillverkningsmetod och den normalkraft som finns i skivan. När förstärkningen bestod av överlappande (singulära) pelare observerades att dessa spruckit upp vertikalt i överlappningszonerna. Vid försöken med rektangulärt tvärsnitt observerades både momentbrott, där plastiska leder utvecklades och jordbrott där leran plasticerades innan skivan gick till brott.
- Anm.** En fördjupad analys av dessa modellförsök pågår (dec 2006) och planeras publiceras som Rapport 18 i SD:s rapportserie under 2007.

Vibrationsdämpning vid höghastighetståg

Rapport 10 (2002). Göran Holm, Bo Andreasson, Per-Evert Bengtsson, Anders Bodare, Håkan Eriksson

- Syfte** Förstärka sträcka med stora vibrationsproblem vid höga tåg hastigheter samt mäta och dokumentera vibrationer och rörelser före och efter förstärkning.
- Resultat** Kalkcementpelarförstärkningen utfördes enligt figuren nedan. Förstärkningen eliminerade vibrationsproblemet genom att skapa en styv grund under järnvägsbanken. Effektiviteten hos kalkcementpelarförstärkningen var mycket bra. Rörelserna vid 200 km/tim reducerades med en faktor 15, se figuren nedan.



*Layout av kalkcementpelarförstärkning samt rörelser före respektive efter utförd förstärkning.
(Layout of deep mixing and displacements before and after deep mixing).*

Provbanks på kalk/cementpelarförstärkt gyttja och sulfidhaltig lera i Norrala

Rapport 4 (1999). Rolf Larsson

- Syfte** Avsikten med den uppförda provbanken var att prova om högre hållfastheter kunde utnyttjas i kalk/cementpelare i gyttja och sulfidhaltig lera än de som vid aktuell tidpunkt ansågs vara användbara.
- Resultat** Resultaten visar på nödvändigheten av att alla jordlager som skall förstärkas ingår i förundersökningarna och att förstärkningseffekterna provas separat i dessa. Kontrollen av pelarnas kvalitet och förstärkningseffekterna i fält måste också vara omfattande och inkludera hela pelarlängden så att en fullständig bild av resultatet erhålls. Vid stabilitetsberäkningar måste beräkningar utföras med såväl odränerad som kombinerad analys och med beräkningar som inkluderar samtliga möjliga svaghetszoner. Eftersom den kombinerade analysen också täcker in ett farligaste helt odränerat fall, kan det räcka med en kombinerad analys i enlighet med de riktlinjer som anges i VÄG 94, (Vägverket 1994).

MÄTNINGAR VID INSTALLATION AV KALKCEMENTPELARE**Rörelser och portryck vid kalkpelarinstallation. Redovisning av mätresultat**

Arbetsrapport 6 (1998). Åke Johansson

- Syfte** Mätning av rörelser och portryck vid kalkpelarinstallation på Eka Chemicals fabriksområde vid Göta Älv, Bohus
- Resultat** Portrycket ökade omedelbart vid kalkpelarinstallationen. Portrycksökningen var stor och utjämnningen skedde relativt långsamt. Hävningen och sidorörelserna var av storleksordningen 10-15 respektive 15-20 cm.

KC-pelarförstärkning av instabil slänt, E4, delen Nyland-ullånger, Västernorrlands län. Åtgärder och mätningar

Arbetsrapport 8 (1998). Leif Viberg, Bertil Eriksson, Stefan Johansson

- Syfte** Dokumentera resultatet av mätningar vid kalkcementpelarförstärkning av områden som skredat under byggnadstiden.
- Resultat** Portrycks- och rörelsemätningar redovisas. Indikationer på avståndsinverkan ges.

LABORATORIE- OCH FÄLTPROVNING**Metod för laboratorieinblandning och provkroppstillverkning**

Rapport 14 (2006). Martin Holmén

- Syfte** Ta fram en metodbeskrivning för inblandning och tillverkning av provkroppar av stabiliserad jord (torv) på laboratorium.
- Resultat** Metodbeskrivning för inblandning och tillverkning av provkroppar av stabiliserad torv. Underlagsrapport
- Anm.** Arbetarapporterna 14, 16, 20 och 28 behandlar det successiva utvecklingsarbetet.

Kalk och kalkcementpelare - jämförelse mellan laboriestabilisering och pelarinstallation

Arbetsrapport 18 (2001). Erika Haglund, Evelina Nilsson

Syfte	Finna samband mellan egenskaper hos prover tillverkade i laboratorium och egenskaper hos pelare tillverkade i fält med motsvarande inblandning av bindemedel.
Resultat	De insamlade erfarenheterna från 13 projekt utförda under 1994-2000 i Mälardalsregionen och på västkusten visar att hållfastheten hos pelare i fält oftast är lika eller högre än hållfastheterna hos laborietillverkade prover för marin lera på västkusten, medan projekten i Mälardalen uppvisar alltifrån hälften så stor till flera gånger större hållfasthet hos pelare i fält än hållfastheten hos laborietillverkade prover. Förslag ges till hur god stabiliseringseffekt skall erhållas i högsensitiv lera, jord med mycket hög vattenkvot samt sulfidhaltig lera.

Djupstabilisering med kalkcementpelare – metoder för produktionsmässig kvalitetskontroll i fält

Rapport 8 (2001). Morgan Axelsson

Syfte	Identifiera relevanta parametrar för kontroll av kalkcementpelare, ge en översikt av de kontrollmetoder som användes vid tidpunkten för forskningsprojektet samt prova nya metoder och metoder under utveckling.
Resultat	En metod att skapa ett centrumhål i pelare direkt vid tillverkningen föreslås. Det skulle möjliggöra val av flera sonderingsmetoder samt sondering av längre och fastare pelare. Elektronisk mätning av spetsmotståndet föreslås. Utvärdering av traditionell pelarsondering visade att bärighetsfaktorn bör vara 15 istället för 10 som normalt använts.

Seismisk kontrollmetod för kalkcementpelare

Arbetsrapport 35 (2005). Niklas Dannewitz, Håkan Eriksson, Håkan Mattson, Rolf Larsson, Göran Holm

Syfte	Utnyttja befintlig seismisk mätutrustning med tillhörande datainsamlings- och analysmetoder för att utveckla en tillförlitlig och praktisk användbar fältmetod för kontroll av kalkcementpelares egenskaper.
Resultat	Utförda laborieförsök visar att det finns ett bra samband mellan skjuvvågshastighet och odränerad skjuvhållfasthet. Mätningarna enligt down-hole tekniken ger förbättrade möjligheter att kontrollera pelare på större djup jämfört med traditionella kalkpelarsonderingar. En fördel med seismisk kontrollmetod är att det är en icke-förstörande provning, vilket gör att samma pelare kan provas vid flera tidpunkter så att hållfasthetstillväxten med tiden kan studeras. För att möjliggöra seismiska mätningar på ett rationellt sätt har en metod för installation av plastslangar i kalkcementpelare utvecklats. Metoden kan användas på alla idag verksamma typer av pelarmaskiner.

ÖVRIGA STUDIER OCH UTREDNINGAR

Erfarenhetsbank för kalkcementpelare

Rapport 1 (1997). Torbjörn Edstam

- Syfte** Samla in, sammanställa, strukturera och till viss del analysera erfarenheter kring djupstabilisering med kalkcementpelare.
- Resultat** Den insamlade informationen innefattar drygt 5 miljoner meter kalkcementpelare som installerats i Sverige (från Västernorrlands län i norr till Hallands och Kalmar län i söder), huvudsakligen under tidsperioden 1985-1995. Slutsatserna behandlar allmänna frågeställningar, inblandningsförsök, sonderingsresultat och funktion. Förutom rapporten har en databas skapats.

Stabiliserad jords egenskaper. Påverkan på miljön

Arbetsrapport 30 (2003). Karsten Håkansson

- Syfte** Beskriva hur och i vilken omfattning kemiska reaktioner mellan jord och stabiliseringsmedel påverkar omgivande jord samt beskriva förändringar i miljöpåverkan i förhållande till det ursprungliga materialet.
- Resultat** Utlakade mängder enligt tillgänglighetstest från de två lerorna (Linköpingslera och Löftabrolera (västkusten)) stabiliserade med kalk/cement, cement/Merit5000 eller kalk/Merit5000 är för flertalet av de studerade ämnena lägre än för naturmaterial (morän, bergkross, naturgrus, moränlera). Endast för Linköpingsleran stabiliserad med kalk/cement var värdet för kobolt något högre än för naturmaterial.

LCA för djup- och terasstabilisering

Rapport 11 (2003). Tomas Rydberg, Ronny Andersson

- Syfte** Att med livscykelanalysmetodik kartlägga och deklarerar metoder och material för djup-, mass- och terasstabilisering så att metodernas miljöpåverkan kan värderas vid val av lösning.
- Resultat** Miljöpåverkan har kvantifierats och värderats genom EPS- och ET-metoden samt utifrån miljöpåverkanskategorierna resurser (främst energi), klimatförändringar (uttryckt som GWP –Global warming potentials) fotokemiska oxidanter (oxidantbildning), utsläpp av försurande gaser (försurning) samt eutrofiering (övergödning). Som exempel på jämförelser med andra metoder kan nämnas att djupstabilisering är miljömässigt ett bättre alternativ än lättfyllningsmaterial för bankbyggnad.

Stabilisering/solidifiering av förorenad jord – En förstudie

Arbetsrapport 25 (2003). Göran Holm

- Syfte** Att utifrån den svenska metoden för djupstabilisering med kalkcementpelare inklusive masstabilisering belysa området efterbehandling av förorenade mark.
- Resultat** Stabilisering/solidifiering innebär att föroreningar transformeras till en svårslakbar form, vilket gör dem mindre mobila samt att jordens hydrauliska konduktivitet minskas, vilket gör att utlakningen minskas markant. Metoden har använts i USA och UK och i viss utsträckning i Finland. Ett par projekt har också utförts i Sverige. Hinder för metodens användning är bl.a. kunskapsbrister. Forskningsbehovet beskrivs.

Anm. Under 2006 har utanför SD av SGI och Ecoloop inom Naturvårdsverkets kunskapsprogram Hållbar Sanering tagit fram rapporten "Efterbehandling av förorenad jord och muddermassor genom stabilisering/solidifiering – Lämplighet och potential för svenska förhållanden".

Kalkcementpelare som jordförstärkning – hur kan vi åstadkomma rätt funktion

Arbetsrapport 32 (2003). Niklas dannewitz, Bengt Rydell

Syfte Öka förståelsen för upphandling och kvalitetsfrågor samt ge alla parter möjlighet att utbyta erfarenheter och ge förslag till förbättringar.

Resultat En handlingsplan med åtgärder i syfte att förbättra upphandlingsförhållandena och åstadkomma rätt funktion. Förslag till ansvarig part för respektive åtgärd ges.

INTERNATIONELLA KONFERENSER

International Conference on Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilisation

Konferensen hölls 13-15 oktober 1999 i Stockholm. Proceedings (redigerad av Håkan Bredenberg, Göran Holm och Bengt Broms) innehåller 5 keynote lectures samt 40 technical papers och är publicerad av Balkema, Rotterdam, Nederländerna (ISBN 5809 108 2).

International Conference on DeepMixing. Best Practice and Recent Advances

Konferensen genomfördes 23-25 maj 2005 i Stockholm.

Rapport 13. Redigerad av Bengt Rydell m fl utgörs av proceedings omfattande Volume 1-2 och innehåller 4 keynote lectures, 3 Regional reports, 4 State-of-practice reports och 84 Technical papers.

*Framschnitt av
Kalkcementpelare.
(Limecement columns).*



BILAGA 3

PUBLIKATIONER UTGIVNA AV SD

SD:s verksamhet har publicerats i två rapportserier, **Rapport** och **Arbetsrapport**. Rapporter har granskats av SD:s styrgrupp, medan Arbetsrapporter inte granskats av SD:s styrgrupp utan är författarens åsikt.

Distribution

Samtliga publikationer är kostnadsfritt nedladdningsbara från SD:s hemsida www.swedgeo.se/Sd tom år 2008.

Publikationerna kan även beställas från Statens geotekniska institut, Informationstjänsten,
Tel: 013-20 18 04, E-post info@swedgeo.se

**Rapport**

- | | | |
|-----|---|-------------|
| 1. | Erfarenhetsbank för kalkcementpelare.
Torbjörn Edstam | 1997 |
| 2. | Kalktypens inverkan på stabiliseringsresultatet. En förstudie.
Helen Åhnberg & Håkan Pihl | 1997 |
| 3a. | Stabilisering av organisk jord med cement- och puzzolanreaktioner
Karin Axelsson, Sven-Erik Johansson & Ronny Andersson. | 2000 |
| 3b. | Stabilisation of Organic Soil by Cement- and Pozzolanic Reactions–Feasibility Study
Karin Axelsson, Sven-Erik Johansson & Ronny Andersson | 2000 |
| 4. | Provbänk på kalk/cementpelarförstärkt gyttna och sulfidhaltig lera i Norrala
Rolf Larsson | 1999 |
| 5. | Masstabilisering
Nenad Jelusic (lic-avhandling) | 2000 |
| 6a. | Blandningsmekanismer och blandningsprocesser – med tillämpning på pelarstabilisering
Stefan Larsson (lic-avhandling) | 2000 |

6b.	Mixing Processes for Ground Improvement by Deep Mixing Stefan Larsson	2000
7.	Deformation Behaviour of Lime/Cement Column Stabilized Clay Sadek Baker (dr-avhandling)	2000
8.	Djupstabilisering med kalkcementpelare – Metoder för produktionsmässig kvalitetskontroll i fält Morgan Axelsson (lic-avhandling)	2001
9a	Olika bindemedels funktion vid djupstabilisering Mårten Janz, Sven-Erik Johansson	2001
9b.	The function of different binding agents in deep stabilization Mårten Janz, Sven-Erik Johansson	2001
10.	Mitigation of Ground Vibration Induced by High Speed Trains at Ledsgård, Sweden Göran Holm, Bo Andreasson, Anders Bodare, Håkan Eriksson, Per-Evert Bengtsson	2002
11.	LCA för djup- och terrasstabilisering Tomas Rydberg, Ronny Andersson	2003
12.	Mixing Processes for Ground Improvement by Deep Mixing Stefan Larsson (dr-avhandling)	2004
13.	International Conference on Deep Mixing. Best Practice and Recent Advantages. Proceedings	2005
14.	Stabilisering av torv i laboratorium. – Metodbeskrivning, - Underlagsrapport	2006
15.	Provbanakr Riksvär 45/Nordlänken. Bankar på kalkcementpelarförsträkt jord – Beräkningsmodell för sättningar Claes Alén, Göran Sällfors, Per-Evert Bengtsson, Sadek Baker	2006
16.	Strength of Stabilised Soils. A Laboratory Study on Clays and Organic Soils Stabilised with Different Types of Binder Helen Åhnberg (dr-avhandling)	2006
17.	Djupstabilisering med bindemedelsstabiliserade pelare och masstabilisering – en vägledning Rolf Larsson	2006
18.	Svensk Djupstabilisering (SD). Ett kunskapslyft inom djupstabilisering Göran Holm, SD:s styrgrupp	2006
19.	Pelarestabilisering i skivor. Modellförsök (prel titel) Stefan Larsson	Planerad utgivning 2007

Arbetsrapport

- | | | |
|-----|---|------|
| 1. | Arlandabanan, Norra Böjen.
Sättningar hos järnvägsbank på kc-pelare.
Ulf Stjerngren, Jacobson & Widmark | 1998 |
| 2. | KC-förstärkning för schakt inom spont, Filipstad Brygge, Oslo.
Phung Doc Long, Stabilator AB & Håkan Bredenberg, Stabilator AB | 1998 |
| 3. | Inblandningsmekanismer vid djupstabilisering med kalk-,
kalk/cementpelare och cementpelare
Stefan Larsson, Tyréns | 1998 |
| 4. | Undersökning av KC-pelare med avseende på dess "homogenitet".
Roland Tränk, SGI | 1998 |
| 5. | Bestämning av egenskaper i cellstabiliserad torv.
Nenad Jelusic, Vägverket Region Mitt, Torbjörn Edstam, SGI
& Yvonne Rogbeck, SGI | 1998 |
| 6. | Rörelser och portryck vid kalkpelarinstallation.
Redovisning av mätresultat.
Åke Johansson, SGI | 1998 |
| 7. | Masstabilisering av väg 590, Askersund
Yvonne Rogbeck, SGI | 1998 |
| 8. | KC-pelarförstärkning av instabil slänt. E4, delen Nyland - Ullånger,
Västernorrlands län. Åtgärder och mätningar
Leif Viberg, SGI, Bertil Eriksson, Vägverket Produktion Mitt,
Stefan Johansson, Vägverket Produktion Mitt | 1998 |
| 9. | Grunnforsterkning med kalksementpælar
Stein Christensen, Arnstein Watn, Steinar Nordal, Arnfinn Emdal,
Torbjørn Lund & Thomas Kristiansen | 1999 |
| 10. | Dimensioneringsvägledning för djupstabilisering
Översättning av Finska Vägverkets klarlägganden 18/1997.
ISSN 0788-3722, ISBN 951-726-344-9 | 1999 |
| 11. | Historik och svenska erfarenheter av kalkstabilisering av vägtrasser
Stefan Gustafsson, Scandiaconsult | 1999 |
| 12. | Undersökning i fält av stabiliseringseffekt i organisk jord och lera
Tobias Hansson, Hercules Grundläggning AB, Yvonne Rogbeck, SGI,
& Leif Säfström, Vägverket Region Mälardalen | 2000 |
| 13. | Utvärdering av verksamheten inom Svensk Djupstabilisering
Vetenskaplig uppläggning. Måluppfyllelse av FoU-plan | 2000 |
| 14. | Stabilisering av torv i laboratoriemiljö – utveckling av referensmetod
Fredrik Larsson & Stefan Mårtensson, LTU | 2000 |
| 15. | Djupstabilisering med kalk-cementpelare – Provfält
Lars O Johansson, SGI | 2000 |
| 16. | Laboratorieunblandning för stabilisering av lera – Referensmetod
Torbjörn Edstam, SGI | 2000 |
| 17. | Kalkcementpelarförstärkning för bro – Funktionsuppföljning
Västkustbanan, delen Sätinge – Lekarekulle.
Bro över väg N359U (km 35/603)
Marius Tremblay, Vägverket | 2000 |

- | | | |
|------------|--|-------------|
| 18. | Kalk och kalk-cementpelare. Jämförelse mellan laboratoriestabilisering och pelareinstallation
Erika Haglund, Evelina Nilsson, LTU | 2001 |
| 19. | Kalkcementpelare i skovor – Modellförsök
Jan Honkonen, Johan Olofsson, KTH | 2001 |
| 20. | Stabilisering av torv. Referensmetod för laboratorieinblandning
Steg 1 – Insamling av erfarenheter
Ronny Andersson, Cementa, Arvid Jacobsson LTU, Karin Axelsson, Skanska | 2001 |
| 21. | Erfarenhetsbank – Etapp 2. Erfarenhetsåterföring
Magnus Karlsson, Banverket, Göran Holm, SGI, Leif Säfström, Vägverket | 2002 |
| 22. | International Workshop on Deep Mixing Technology for Infrastructure Development. Current practice & Research Needs
Göran Holm, SGI | 2002 |
| 23. | Studie av inverkan av faktorer i blandningsprocessen vid djupstabilisering med kalkcementpelare – Fältförsök i Håby
Stefan Larsson, Tyréns, Marcus Dahlström, LCM, Bengt Nilsson, LCM | 2002 |
| 24. | Peptisering vid djupstabilisering
Matilda Hoffstedt, Sven-Erik Johansson, Cementa | 2003 |
| 25. | Stabilisering/solidifiering av förorenad jord – en förstudie
Göran Holm, SGI | 2003 |
| 26. | Gränssonen kalkcementpelare-jord
Sven-Erik Johansson, Cementa | 2003 |
| 27. | A complementary field study on the uniformity of lime-cement columns – Field tests at Strängnäs
Stefan Larsson, Tyréns/KTH, Marcus Dahlström, LCM, Bengt Nilsson, LCM | 2003 |
| 28. | Stabilisering av torv – ringtest av referensmetod för tillverkning av laboratorieprov
Kerstin Pousette, LTU | 2003 |
| 29. | Hållfasthetsfördelning i kalkcementpelare – Fältförsök i Strängnäs
Per Hedman, Mari Kuokkanen | 2003 |
| 30. | Stabiliserad jords egenskaper. Delprojekt 5. Påverkan på miljön
Karsten Håkansson, SGI | 2003 |
| 31. | A laboratory model study on the transition zone and the boundary layer around lime-cement columns in kaolin clay
Mirja Kosches, KTH | 2004 |
| 32. | Kalkcementpelare som jordförstärkning – hur kan vi åstadkomma rätt funktion? Projektering, utförande och kontroll. Workshop Göteborg 2 december 2002 och Stockholm 24 april 2003
Niklas Dannewitz, Hercules, Bengt Rydell, SGI | 2003 |
| 33. | Stabilisering av sulfidjord. Litteratur- och laboratoriestudie
Mattias Andersson, Tomas Norrman | 2004 |

- | | | |
|------------|--|--|
| 34. | Långtidsegenskaper hos kalk-cementpelare. En studie av 10 år gamla kalkcementpelarförstärkningar
Hjördis Löfroth SGI | 2005 |
| 35. | Seismisk kontrollmetod för kalk-cementpelare
Niklas Dannewitz, Hercules, Håkan Eriksson, Hercules,
Rolf Larsson, SGI, Göran Holm, SGI | 2005 |
| 36. | Beständighet hos djupstabilisering
Sven-Erik Johansson, Cementa | 2005 |
| 37. | Vetenskaplig utvärdering av verksamheten inom Svensk Djupstabilisering
Göran Fagerlund, Bengt Åkesson | 2005 |
| 38. | Kemiska reaktioner vid stabilisering av jord
Sven-Erik Johansson, Cementa | 2006 |
| 39. | Dynamisk påverkan
Per-Evert Bengtsson, SGI, Magnus Karlsson, Banverket | 2006 |
| 40. | Stabilisering av sulfidjord – fältförsök
Yvonne Rogbeck, SGI m fl | Fältförsöket planerat till 2007 |

Proceedings från den av SD anordnade internationella konferensen **Dry Deep Mix Methods for Deep Soil Stabilisation , 13-15 oktober, Stockholm** är publicerad av Balkema, Rotterdam, Nederländerna (ISBN 90 5809 108 2).



Svensk Djupstabilisering

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