



Svensk Djupstabilisering
Swedish Deep Stabilization Research Centre

Arbetsrapport 2 I
2002-06

Erfarenhetsbank – Etapp 2: Erfarenhetsåterföring

Magnus Karlsson
Göran Holm
Leif Säfström

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, www.swedgeo.se/sd.htm.

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, www.swedgeo.se/sd.htm.



Svensk Djupstabilisering
Swedish Deep Stabilization Research Centre

Arbetsrapport 21
2002–06

**Erfarenhetsbank – Etapp 2:
Erfarenhetsåterföring**

Magnus Karlsson, Banverket
Göran Holm, Statens geotekniska institut
Leif Säfström, Vägverket Region Mälardalen

Förord

Svensk Djupstabilisering (SD) baserar verksamheten på sin FoU-plan som bl a innehåller ett antal stora FoU-projekt. För att öka underlaget för dessa forskningsprojekt satsar SD på kompletterande mätningar/analyser i lämpliga förstärkningsprojekt. Redovisningen av dessa mätningar/analyser granskas inte av SD utan redovisade resultat och framförda åsikter är författarens. Redovisningarna är arbetsrapporter inom SD. Även delredovisningar av FoU-projekt inom SD sker i SD:s arbetsrapportserie. Rapporter i SD:s arbetsrapportserie skall endast användas internt inom SD och inte spridas utanför SD.

Det arbete som redovisas i föreliggande arbetsrapport är Etapp 2 av FoU-området ”Erfarenhetsbank”. Projektet fokuserar på en insamling och utvärdering av kalk-cementpelarprojekt, där någon form av avvikelser från förväntat beteende m m inträffat. Underlag för att optimera metodens användning och minska riskerna samt förslag till förbättringar har erhållits.

Författare till rapporten är magnus Karlsson, Banverket, Göran Holm, SGI, och Leif Säfström, Vägverket.

Linköping i juni 2002

Göran Holm
Projektledare för SD

Arbetsrapport

Beställning
(endast för
medlemmar av SD)

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

Innehållsförteckning

Förord

1. Inledning	4
2. SD-projekt ”Erfarenhetsbank för kalkcementpelare”	4
3. Erfarenhetsbank etapp 2 - Erfarenhetsåterföring	4
3.1 Initiering av projektet	4
3.2 Faktainsamling via enkät mellan oktober 1998 – juni 2000	5
3.3 Omstart av projektet under vintern 2000	5
3.4 Intervjuer med nyckelpersoner mellan december 2000 – januari 2001	6
3.5 Work-shop om erfarenhetsåterföring i september 2001	6
3.5.1 Allmänt	6
3.5.2 Sammanfattning av workshop	7
Allmänt	7
Hållfasthet	7
Pelarform	8
Kontrollmetoder	9
Skred/deformationer	9
Installation	11
3.5.3 Slutsatser av workshop	12
4. Sammanfattning	13
4.1 Allmänna kommentarer	13
4.2 FoU-behov	14
4.3 Insatser för att minska risker med djupstabilisering	15
Bilaga 1 Angående projektet ”Avvikelser vid jordstabilisering med kalk-cementpelare och/eller med masstabilisering”	16
Bilaga 2 Avvikelser vid jordstabilisering med kalk-cementpelare och/ellr masstabilisering. Delrapport – Enkät svar och översiktlig analys	21
Bilaga 3 Sammanställning av inkomna svar vid intervjuer dec 2000–jan 2001	25
Bilaga 4 Workshop om erfarenhetsåterföring – Kallelse	29
Bilaga 5 Workshop om erfarenhetsåterföring – Synpunkter vid grupparbeten	32

Erfarenhetsbank - Etapp 2:

Erfarenhetsåterföring

1. Inledning

Föreliggande projekt ”Erfarenhetsbank - Etapp 2 – Erfarenhetsåterföring” är en fortsättning av SD-projektet ”Erfarenhetsbank för kalkcementpelare”. Projektet fokuserar på kalkcementpelarprojekt där någon form av avvikelser inträffat. Enligt den ursprungliga planen skulle erfarenheter av sådana projekt samlas in via en enkät. Det insamlade materialet skulle användas för att prioritera forskningsinsatserna inom SD samt för att statistiskt visa orsaker till avvikelser och visa i hur stor omfattning avvikelser inträffar, dels jämfört med kalkcementpelarprojekt som genomförts utan problem, dels jämfört med andra förstärkningsmetoder.

Det visade sig vara svårt att få in material via en enkät, varför projektet försenades och informationsinsamlingen fick ske via intervjuer och en work-shop. Förseningarna ledde till att syftet att kunna bidra vid prioritering av FoU-insatser inom SD inte kunde uppfyllas. Det har inte heller varit möjligt att göra några statistiska analyser av det insamlade materialet.

I föreliggande arbetsrapport presenteras istället arbetsgången och det insamlade materialet. Materialet har sammanställts så att avvikelser som inträffat vid kalkcementpelarprojekt redovisas tillsammans med deras förmodade orsaker och åtgärder som har eller kan vidtas för att avvikelser inte ska upprepas. Dessutom redovisas det kunskaps- och FoU-behov som identifierats under arbetets gång.

2. SD-projekt ”Erfarenhetsbank för kalkcementpelare”

SD-projektet ”Erfarenhetsbank för kalkcementpelare” drevs mellan 1995–1997 och redovisades som rapport 1 i SD:s rapportserie. Syftet med projektet var att samla in, sammanställa, strukturera och till viss del analysera erfarenheter kring djupstabilisering med kalkcementpelare. Inom projektet skapades en databas för att hålla ordning på, bearbeta och presentera den insamlade informationen. Databasen omfattar cirka 170 objekt där allmän information insamlats och 57 objekt där en mer detaljerad informationsinsamling skett. Den insamlade informationen omfattar huvudsakligen byggobjekt genomförda mellan 1985–1995. Samtliga objekt är genomförda i Sverige och är spridda från Västernorrlands län i norr till Hallands och Kalmar län i söder.

3. Erfarenhetsbank etapp 2 - Erfarenhetsåterföring

3.1 Initiering av projektet

Ett förslag på fortsättning av projektet ”Erfarenhetsbank för kalkcementpelare” togs fram i februari 1997. Syftet med fortsättningsprojektet var att fokusera på projekt där någon form av avvikelser erhållits, exempelvis oväntade observationer vid pelarinstallation, avvikande hållfasthet från förväntad hållfasthet, avvikande storlek på deformationer jämfört med förväntade deformationer, skred etc.

Erhållna resultat skulle ligga till grund för prioritering av forskningsområden i SD:s FoU-plan, klargöra orsaker till avvikelser och om möjligt att med statistisk visa orsaker till avvikelser samt också påvisa i hur stor omfattning avvikelser inträffar jämfört dels med kalkcementpelarprojekt som utförs utan problem, dels jämfört med andra förstärkningsmetoder.

Faktainsamlingen skulle ske genom en enkät som skulle distribueras till lämpliga personer i branschen med hjälp av SD:s teknikstödsgrupp.

Enligt tidplanen skulle faktainsamlingen ske under sista kvartalet 1997 och därefter skulle resultatet sammanställas och slutredovisning av projektet ske i mars 1998.

Projektstarten sköts upp och en nystart skedde i september 1998.

3.2 Faktainsamling via enkät mellan oktober 1998 – juni 2000

Enkäten utformades och skickades till representanter för beställare, materialleverantörer, forskare, konsulter och entreprenörer i oktober 1998. Det betonades att svaren skulle behandlas konfidentiellt. Detta för att inte riskera att peka ut objekt/företag eller individer och på så sätt påverka svarsfrekvensen i negativ riktning. Enkätsvaren begärdes in senast 1998-11-20. Enkät och följebrev redovisas i bilaga 1.

Endast ett fåtal svar erhöles trots påminnelser från utredarna. Även SD:s styrgrupp engagerade sig för att öka svarsfrekvensen och enkäten sändes ut på nytt i mitten av april 1999 tillsammans med ett följebrev från SD:s styrgrupp och en förlängd svarstid till mitten av maj 1999. Även SD:s ordförande engagerade sig och skrev ett brev till medlemmarna med en uppmaning att besvara enkäten. Ingen av dessa åtgärder hade någon effekt på antalet inkomna svar.

Förnyade uppmaningar att besvara enkäten gjordes sedan under hösten utan resultat. Endast nio, mer eller mindre komplett ifyllda enkätsvar erhöles under det år arbetet med enkäten pågick. Detta får ses som ett stort misslyckande. Projektdeltagarna har själva kännedom om fler fall där avvikelser inträffat än de som inkommit via enkäterna.

Sommaren 2000 sammanfattades projektresultatet i en delrapport "Enkätsvar och översiktlig analys", daterad 2000-06-30. Delrapporten redovisas i bilaga 2.

3.3 Omstart av projektet under vintern 2000

Personalförändringar ledde till att en ny projektgrupp tillsattes. Det konstaterades att projektet fortfarande var relevant och angeläget, men att faktainsamling via en enkät inte var en framkomlig väg. Obenägheten att besvara enkäten kunde inte övervinnas med påminnelser, förlängda svarstider och uppmaningar från styrgruppen. Inte heller beslutet att avvikelserna skulle redovisas så att de inte blev projektanknutna hjälpte.

Den svaga svarsfrekvensen kan exempelvis bero på att man är rädd att förknippas med misslyckanden, hög arbetsbelastning eller att man inte ser meningen med projektet.

Projektgruppen beslöt därför att överge enkäten som medel för informationsinsamling och istället anordna en "work-shop" där frågorna skulle behandlas. För att inte börja en work-shop helt "tomhänta" beslöts att vissa nyckelpersoner skulle intervjuas vad gäller avvikelser/erfarenheter. Efter att resultatet av intervjuerna sammanställts skulle work-shopen genomföras.

3.4 Intervjuer med nyckelpersoner mellan december 2000 - januari 2001

Intervjuerna genomfördes av Jonatan Strömgren, Vägverket Region Mälardalen. Intervjuerna genomfördes med "nyckelpersoner" från beställarsidan, konsulter, forskare och entreprenörer, som valts ut av projektgruppen. Totalt intervjuades nio personer.

Intervjuerna resulterade i en lista med 62 fall av projektberoende avvikelser. Dessa är sammanställda i bilaga 3.

En tolkning av resultatet visar:

- Cirka 50 % av fallen kan kopplas till utförandet. Dessa avvikelser är i form av kraterbildningar, rörpelare, morotspelare, avsaknad av pelare, hävningar, kalkpuffar, höga porttryck, skred vid sidan av installationsområdet etc.
- Cirka en tredjedel av fallen kan kopplas till dimensionering/projektering. Här är avvikelserna i form av låg hållfasthet, snabb hållfasthetstillväxt, skred, större sättningar än prognosticerat, stor skillnad i hållfasthet vid jämförelse mellan laboratorium och fält etc.
- Resterande fall kan inte klassificeras.

3.5 Work-shop om erfarenhetsåterföring i september 2001

3.5.1 Allmänt

Med resultatet från intervjuerna som underlag anordnades en work-shop om avvikelser/erfarenhetsåterföring. Deltagare var beställare, konsulter, forskare och entreprenörer. Totalt deltog 12 personer i work-shopen. Inbjudan till work-shopen redovisas i bilaga 4. Resultatet från intervjuerna enligt avsnitt 3.4 bifogades inbjudan.

Syftet med work-shopen var att komplettera informationsinsamlingen från tidigare genomförda enkäter och intervjuer. Omfattningen och formen på det insamlade materialet samt förskjutningar i tidplanen hade gjort att syftet med projektet till viss del förändrats i jämförelse med vad som ursprungligen var tänkt inför arbetet med enkäten, se avsnitt 3.1. Istället ska insamlade erfarenheter användas som underlag för att optimera metodens användning, minska riskerna vid användandet, minska ryktesspridning samt om möjligt fokusera FoU-verksamheten inom SD 2004.

Work-shopen delades in i tre pass som omfattade:

- hållfasthet, pelarform och kontrollmetoder
- skred, deformationer/portryck
- installation.

I varje pass genomfördes grupparbeten där uppkomna avvikelser, bedömda orsaker och åtgärder som har eller kan vidtas för att avvikelserna inte ska upprepas presenterades och diskuterades. Dagen avslutades med en sammanfattning. De redovisade materialet är sammanställt i bilaga 5.

3.5.2 Sammanfattning av workshop

3.5.2.1 Allmänt

Det är inte lätt att på ett klart och entydigt sätt dela upp avvikelserna under olika rubriker. Den huvudsakliga avvikelsen är ju att förstärkningen inte fungerar som tänkt. Detta kan innebära skred, stora rörelser och/eller sättningsförlopp som avviker från vad som prognosticerats etc. Dessa avvikelser kan bero på brister i projektering/dimensionering eller i utförandet eller kombinationer därav.

Nedan följer en genomgång av de vid work-shopen identifierade avvikelserna. Avvikelseerna är här uppdelade under samma rubriker som användes vid work-shopen.

3.5.2.2 Hållfasthet

Avvikelse: Vid laboratorieförsök utförda på olika laboratorier erhålls ofta olika hållfasthet hos de laboratorieinblandade proverna.

Orsak: Orsaken till detta kan vara att olika förfarande vid inpackning och olika lagrings-temperatur används vid laboratorierna.

Åtgärd: För att minska skillnaderna i resultat behövs att förfarandet vid inblandning och lagring av laboratorieprover standardiseras. En sådan standard bör innehålla en del för lera och en del för torv (tidig utläggning av arbetsbädd vid stabilisering av ytligt liggande torv).

Avvikelse: Skillnad i hållfasthet mellan laboratorieinblandade prover och pelare i fält.

Orsak: Ett flertal faktorer inverkar. De fysikaliska förutsättningarna kan skilja mellan fält och laboratorium, exempelvis jordförhållanden, blandningsarbete, temperatur etc. Empirin mellan hållfasthet och hållfasthetstillväxt hos pelare i fält och laboratorieinblandade prover har brister.

Åtgärd: Laboratorieresultat bör användas för att se om det går att stabilisera den aktuella jorden och tillsammans med erfarenheter avseende relationen mellan hållfasthet i fält och på laboratorium ge underlag för en preliminär dimensionering. Dimensioneringsförutsättningarna bör sedan verifieras genom provning av pelare i fält. Detta kan medföra extra kostnader som kan vara välmotiverade för att säkerställa slutprodukten. För vissa mindre projekt kan man avvika från detta arbetssätt, se SGF 2:2000, avsnitt 8.4.3.

Provning i fält kan av praktiska skäl behöva göras en kort tid efter installation. För att använda resultat från sådan provning behövs en ökad kunskap om hållfasthetstillväxten med tiden. Ett alternativ till detta är att provningen görs efter ca 1 månad och vid skillnader mellan provningsresultat och dimensioneringsförutsättningar justeras produktionen.

Empirin mellan fältresultat och laboratorieinblandade prover måste förbättras.

Avvikelse: Varierande hållfasthet, både hög och låg, i enskild pelare och ofta dålig prognos av hållfastheten mot djupet.

Orsak: Orsaken till detta bedöms bero på dels att de olika jordlagren inte undersökts i tillräcklig omfattning med avseende på stabiliseringseffekten, dels inverkan av lufttryck och luftmängd vid tillverkningen av pelarna och dels maskin- och förarberende.

Åtgärd: För att kunna göra en jordtyp- och jordlagerföljdbaserad installation krävs att en tolkad jordprofil tas fram. Sannolikt behövs i vissa fall mer geotekniska undersökningar än vad som ofta görs idag. Eventuellt kan metoder som ger en övergripande bild användas (geofysik).

En annan åtgärd kan vara att evakuera luften samt använda ett installationsförfarande som utgår från de aktuella jordlagerförhållandena, det vill säga att variera inblandningsarbete/inblandningsmängd längs pelaren.

3.5.2.3 Pelarform

Avvikelse: Ett antal avvikelser med avseende på geometrin har noterats. Det rör sig om pelare med mindre diameter än förväntat (800 mm pelare som blir 600-700 mm), minskande diameter mot djupet (morotspelare), låg hållfasthet i pelarnas centrala delar (rörpelare), pelarstruktur (kulor), kraterbildning (2-3 m djupa) speciellt vid kraftig torrskorpa och felaktig pelarlängd vid pelares avslutning mot fasta bottenlager. Vid installation av pelare i skivor kan det vara svårt att få rätt geometri på skivorna.

Orsak: Orsaken till felaktig pelarform bedöms främst härröra från installationen.

Inblandningsutrustningen bedöms ha inverkan på pelarformen, speciellt vid "sega" jordar. Lufttryck/luftmängd kan vara en viktig faktor.

Orsaken till rörpelare har i ett fall bedömts vara att skräp fastnat i verktyget.

Orsaken till avvikande pelarlängd kan vara svårigheten att tränga in i fasta bottenlager med det konventionella blandningsverktyget.

Åtgärder: Åtgärder mot avvikelser i pelarform kan var minskad luftmängd vid utmatning eller omhändertagande av returluften, vidareutvecklad inblandningsteknik avseende bland annat blandningsverktygets utformning, utmatningshålets riktning och lä-

ge, bättre utbildade förare samt bättre kvalitetssäkring, bland annat genom omedelbar avvikelserapportering.

Ökad kunskap behövs om vilka faktorer som har störst inverkan på pelarformen. Framschaktning av pelare bör användas för att studera pelarformen. Detta är dock endast möjligt för de övre delarna.

3.5.2.4 Kontrollmetoder

Avvikelse: Avvikelser eller problem med dagens kontrollmetoder finns främst avseende dels svårigheter att med sondering upptäcka dåliga avsnitt/zoner i pelare, framförallt på stora djup, dels att FOPS med dagens installationssätt ger 1,5 till 2 gånger högre mätvärden jämfört med resultaten från KPS och dels att KPS kan gå ur pelaren.

Orsak: Det finns brister i befintliga metoder. Dessa är främst inriktade på att bestämma hållfastheten i pelarna. Det finns ingen bra metod för att kontrollera pelarform/homogenitet längs hela pelaren

Åtgärd: Sondering med KPS-sondering bör utföras med förborring med Jb-stål. Förborring av KPS har fungerat ner till 20 m djup. FOPS bör endast användas i undantagsfall i och med att metoden ger för höga hållfasthetsvärden.

Det är viktigt att kontrollen är representativ och tillförlitlig. Man erhåller alltid en spridning i provningsresultaten. Vilken spridning kan accepteras inom pelare och mellan pelare?

Ett statistiskt synsätt bör användas vid utvärdering av provningsresultaten. Ett statistiskt synsätt bör också användas vid dimensionering av förstärkningar. Kontroll av pelare bör göras vid olika tidpunkter efter tillverkning. Kontrollmetoder är ett område där utveckling bör ske.

3.5.2.5 Skred/deformationer

Avvikelse: Skred vid utförandet av pelare (i slänter och i anslutning till vattendrag), skred vid upplastning av bank, skred i yttlig organisk jord, skred i gränsen till förstärkningar i skärningar och större rörelser än förväntat vid installation.

Orsak: Skred eller stora rörelser/hävningar kan uppkomma på grund av en rad orsaker som kan bero på både projektering och dimensionering av förstärkningen samt utförandet.

Olämplig installationsordning eller för högt tempo vid installationen kan vara en orsak.

Fullgoda pelare erhålls inte alltid i den övre delen och/eller i anslutning till fast botten och detta beaktas inte alltid vid projektering/dimensionering.

Andra exempel på orsaker till skred och stora rörelser är att löst material i ytan och i kratrar inte ersätts med bra material, upplastningens geometri och utförandetempo är inte som förutsatt, porttrycksökning och även kvarvarande tryck av totaltrycksökningen, andra missbedömningar i projekteringen som att förstärkningsutbredning i sidled är för liten, pelarnas funktion längs glidytan (aktiv zon, skjuvzon, passiv zon) är osäker etc.

Åtgärd: Var restriktiv med pelare i slänter (GK 3 och SK 3), minska horisontalkrafter och förändra hanteringen av lufttryck vid installation.
Förutsätt vid dimensionering att pelare i anslutning till fast botten av berg/morän inte når fast botten.

Var noga med att avlägsna lös jord/lerslam och ersätt detta med friktionsmaterial. Fyll igen kratrar med friktionsmaterial.

Skriv tydliga anvisningar för utförandet (installation, upplastning och uppföljning). Det krävs ökad kunskap om hur porttryck byggs upp och klingar av samt om förskjutningar under utförandet.

Följ upp rörelser med slangställningsmätare och bälgslangar och följ upp porttrycksutvecklingen.

Använd aktiv design. Detta kan förutsätta bättre geotekniskt underlag och bättre kontroll än i dagsläget.

Dessutom är det viktigt med rätt kompetens hos utföraren.

Övergångszonen mellan olika förstärkningar måste studeras speciellt. Detta gäller exempelvis gränsen mellan urgrävning/pelarförstärkning, gränsen mellan pelarförstärkning/bankpålning, gränsen mellan pelarförstärkning/oförstärkt mark mm.

En fråga som ställdes var hur progressiva brott borde hanteras.

Avvikelse: Större/mindre sättningar än prognosticerat.

Orsak: Brister i projekteringen, exempelvis brister i nuvarande dimensioneringsmodell, kan vara en orsak. Vid förstärkning som inte når fast botten kan en missbedömning av pågående sättningar under förstärkning leda till att större deformationer än förväntat erhålls. Sättningsuppföljning med krönpeglar ger i vissa fall en begränsad information.

Åtgärd: Följ upp rörelser med slangställningsmätare och bälgslangar och följ upp porttrycksutvecklingen.
Använd inte för optimistiska lösningar vid projekteringen, utan ligg på säkra sidan. Detaljprojektera övergångar mellan olika förstärkningsåtgärder.

Använd aktiv design. Detta kan förutsätta bättre geotekniskt underlag och bättre kontroll än i dagsläget.

3.5.2.6 Installation

Avvikelse: Avvikelse i geometrin, det vill säga pelarnas planläge och/eller lutning avviker från projekterat utförande. Det är särskilt viktigt att undvika sådana avvikelser vid utförande av pelare i skivor.

Orsak: Brister i planläge kan bero på fel i utsättning eller att maskinoperatören brister i noggrannhet. Brister när det gäller lutning kan bero på fel i maskinutrustningen eller på grund av att maskinoperatören brister i noggrannhet.

Åtgärd: En bättre positionering kan erhållas med hjälp av GPS. Använd lutningsgivare på maskinerna. Dessutom kan egenkontrollen förbättras, så att avvikelser från projekterat läge och lutning inte uppstår.

Avvikelse: Problem med bindemedelshalt/bindemedelsproportion avviker från den projekterade.

Orsak: Problem med bindemedelshalten kan bero på om bindemedlet är verksblandat eller om man använder separata tankar.

Åtgärd: Förbättringar vad gäller verifiering av utförandet kan reducera problemen.

Avvikelse: Problem med fördelning av bindemedel i tvär- och/eller längdled, vilket resulterar i pelare med felaktig form och funktion.

Orsak: Bindemedelsfördelningen kan exempelvis påverkas av ojämna jordlager och tillverkningsproceduren (tillverkningstid, rotationshastighet, stigning etc.)

Åtgärd: Dessa avvikelser kan till viss del undvikas om man har ett bra geotekniskt underlag där jordlagerföljden är rätt tolkad. Vid en komplicerad jordlagerföljd kan pelarna eventuellt bli homogenera om man blandar in bindemedel både på vägen ner och upp, alternativt att två konventionella pelare tillverkas i samma punkt. En annan åtgärd för att få en homogenare pelare är att i vissa jordar tillsätta peptiseringsmedel som gör leran mer lättflytande.

Saknas pelare i botten kan detta bero på verktygets utformning. Vid användning av normalverktyget blåses bindemedlet ut ovanför bygeln vilket gör att pelarens nedre del kan bli ofullständig. Detta problem kan antagligen åtgärdas genom modifiering av verktyget. En annan lösning som föreslås för att förbättra pelarna i botten är att blanda in bindemedel på vägen ner, men det är tveksamt om det hjälper om dagens blandningsverktyg används.

Avvikelse: Pelare med stor teoretisk diameter (800 mm) erhåller en mindre diameter i verkligheten.

Orsak: Skälet till detta kan vara maskinberoende.

Åtgärd: Fältförsök för att klargöra orsaken och göra att beställare vågar beställa 800 mm pelare kan vara en lösning.

Avvikelse: En grupp avvikelser består av kraterbildningar, blow-outs, innestängd luft och bildning av lervällning.

Orsak: Dessa fenomen antas till största delen bero på lufttryck/luftvolym vid installation. Trycket kan variera beroende på utrustning. Maskiner har olika storlekar på tankar och olika kompressorer.

Åtgärd: En större stigning ger en mindre mängd luft per meter pelare jämfört med lägre stigning. En 800 mm pelare har en lägre mängd luft per kubikmeter pelare jämfört med en 600 mm pelare vid samma längd och samma mängd stabiliseringsmedel per kubikmeter.
Vid låga mängder stabiliseringsmedel bör man eventuellt vidta åtgärder för att minska mängden luft.
Luftmängden kan minskas genom att ha en kort installationstid (om luftflödet är konstant), ha en stor stigning (hur påverkas blandningsarbetet?) och justera trycket när man närmar sig markytan. En annan lösning är att ta hand om returluften.

Avvikelse: Avvikelser kopplade till arbetsmiljö utgörs huvudsakligen av läckage av bindemedel.

Orsak: Orsaken bedöms vara att rutiner vad gäller arbetsmiljö är bristfälliga eller inte följs.

Åtgärd: Bristerna kan avhjälpas med bättre rutiner.

3.5.3 Slutsatser av workshop

Följande slutsatser/rekommendationer kan ges:

1. Det behövs mer kunskap om inblandningsproceduren. Vilka faktorer har störst inverkan på slutresultatet. Lufttrycket och luftmängden bedöms ha en stor inverkan på tillverkningsresultatet. Inblandningsverktygets utformning är en annan viktig parameter. Hur och med vilken noggrannhet ska installationsparametrarna verifieras? Det gäller exempelvis utmatningstryck, vridmoment, stigning, rotationshastighet och bindemedelsmängd. Vilka parametrar är kritiska?
2. Resultat från fältundersökningen används för att verifiera antagna designvärden. KPS fungerar bra om förborring sker med 44 mm Jb-stål. FOPS ger 1,5-2 gånger högre mätvärden vid jämförelse med KPS. Med dagens installationssätt bör FOPS därför endast användas i undantagsfall.

Erhålls "dåliga" resultat krävs tilläggskontroll och då bör pelare tas upp. Kontrollmetoder som visar pelarform och homogenitet saknas.

3. Standardisering av laboratorieinblandning och lagring av prover måste ske. Förbättra empirin mellan hållfasthetsbestämningar på laboratorium och i fält.
4. Det upplevs som om det gått slentrian i projekteringen av kalkcementpelarförstärkningar. Studera speciellt övergångar mellan pelarförstärkningar och andra metoder eller oförstärkt mark. Försök använda en mer nyanserad bild av pelarnas hållfasthetsvariation mot djupet. För att kunna göra en jordtyp- och jordlagerföljdbaserad installation behöver en tolkad jordprofil tas fram. Sannolikt behövs i vissa fall mer geotekniska undersökningar än vad som ofta görs. Eventuellt kan metoder som ger en övergripande bild användas (geofysik). Notera speciellt pelarnas egenskaper i ytan och i anslutning till fast botten. Användning av pelare för att stabilisera permanenta slänter bör ske med försiktighet, dvs dimensionera i GK3 och SK3. Det är viktigt att ha bättre kontroll på hållfasthetens variation med tiden. Att veta hur hållfastheten växer till med tiden skulle möjliggöra provning efter kort tid.
5. Tydliga anvisningar om utförandet (installation, upplastning och uppföljning) krävs. Det finns behov av ökad kunskap om hur portryck byggs upp och klingar av samt om förskjutningar under utförandet.
6. Aktiv design bör användas (prognos, uppföljning, åtgärd). I projekteringskedet dimensioneras förstärkningen och prognoser görs vad gäller rörelser och portrycksutveckling. Prognoserna verifieras i fält. Vid avvikelser vidtas åtgärder. Hur ska upphandling och reglering ske?
7. Hur skall spridning i egenskaper hanteras? Vilken spridning kan accepteras inom en pelare och mellan pelare (statistiskt synsätt bör användas). Kan en homogenare produkt erhållas genom att man exempelvis utför inblandning av bindemedel även på vägen ned alternativt gör två konventionella pelare i samma punkt.

4 Sammanfattning

4.1 Allmänna kommentarer

De i projektet identifierade avvikelserna kan användas för att identifiera FoU-behov, minska riskerna vid användning, optimera metoden samt minska eventuell ryktesspridning om avvikelser.

Det har visat sig svårt att samla in kunskap om inträffade avvikelser. Datainsamling via en enkät var inte en framkomlig väg. Huvuddelen av materialet har erhållits via intervjuer med ”nyckelpersoner” i branschen samt via den avslutande work-shopen.

Materialet redovisas projektneutralt. Den ursprungliga intentionen att bygga vidare på en statistisk presentation var inte möjlig att genomföra.

En tolkning av de insamlade materialet visar att cirka hälften av avvikelserna kan kopplas till utförandet och cirka en tredjedel av fallen kan kopplas till projekteringskedet.

4.2 FoU-behov

Följande FoU-områden kan identifieras med utgångspunkt från det i projektet insamlade materialet.

- **Vidareutvecklad inblandningsteknik**

Det är viktigt att kunna säkerställa en effektiv inblandning och att minimera risken för att avsedd inblandning inte uppnås.

Kännedom om de grundläggande fysikaliska händelser som inträffar vid pelartillverkning och hur de olika ingående parametrarna påverkar resultatet är en förutsättning för en vidareutveckling av inblandningstekniken.

Ett projekt inom SD/SD 2004 benämnt "Vidareutvecklad inblandningsteknik" har påbörjats. Målsättningen är att få bättre kunskap om hur bindemedlet sprids i jorden, hur över- och undervingarna på blandningsverktyget påverkar spridning och inblandning av bindemedlet, vilken inverkan lufttryck och flöde har samt stigningens och rotationshastighetens inverkan på inblandningsresultatet. För att få svar på dessa frågor utförs ett omfattande fältförsök, där man låter de olika parametrarna variera. Bearbetning av fältdata och analys utförs i början av år 2002.

Efter utvärderingen kan det visa sig att det finns behov att gå vidare med djupare studier av de kritiska parametrarna.

- **Metodbeskrivningar för laboratorieinblandningar av lera respektive torv**

Detta är ett viktigt projekt för att erhålla likvärdiga provresultat oberoende av vilka laboratorier som används. Detta ingår som ett projekt under avsnitt 2.6.1 i FoU-planen.

- **Förbättra empirin mellan laboratorieinblandningar och pelare i fält**

En förbättrad empiri skulle kunna leda till att laboratorieinblandningar kan användas som underlag för dimensioneringen i större utsträckning och att kontroller i fält endast utförs för verifiering av laboratorieresultaten.

- **Ökad kunskap om hållfasthetstillväxt med tiden**

Ökad kunskap om hållfasthetstillväxt med tiden som kopplas till empiri mellan hållfasthetsbestämningar i fält och på laboratorieinblandade prover kommer att öka möjligheterna att optimera dimensioneringen.

- **Portryck**

Det krävs ökad kunskap om hur portryck byggs upp och klingar av samt om förskjutningar under utförande.

- **Beräkningsmodeller**

Utveckla och verifiera beräkningsmodeller för stabilitet och sättningar.

- **Förbättra kontrollmetoderna för pelare i fält**
Det gäller vid kontroll av såväl hållfasthet som pelarform/homogenitet. Ökad kunskap kommer till viss del att erhållas genom verifieringsprojekt inom SD 2004 samt inom det pågående projektet ”Utveckling av beräkningsmodell för sättningsprognoser”.
- **Statistiskt synsätt vid dimensionering och kontroll**
En spridning erhålls alltid i provningsresultaten. Hur stor får spridningen i resultatet vara för att en pelare ska vara godkänd respektive för förstärkningen som helhet?
- **Upphandling – aktiv design**
Behov/önskemål om att i byggskedet kunna optimera metoden genom så kallad aktiv design har framförts. Är dagens upphandlingsformer anpassade för detta eller behöver en utveckling ske?
- **Projekterfarenhetsdatabas**
En databas skapades i SD-projektet ”Erfarenhetsbank för kalkcementpelare” som omfattar information om cirka 170 kalkcementpelarprojekt, som är utförda mellan 1985-1995. En uppdatering av databasen kan ge värdefull information. Till viss del kan en uppdatering ske inom SD 2004.

4.3 Insatser för att minska risker med djupstabilisering

Följande insatser/åtgärder för att minska risker med djupstabilisering har identifierats:

Projektering:

- Användning av pelare för att stabilisera permanenta slänter bör ske med försiktighet, det vill säga dimensionera i GK3 och SK3.
- Ta fram en tolkad jordprofil med identifiering av eventuellt svårstabiliserade jordlager.
- Förutsätt att pelare i anslutning till fast botten av berg/morän inte når fast botten.
- Övergångszonen mellan olika förstärkningar måste studeras speciellt. Detta gäller exempelvis gräns mellan urgrävning/pelarförstärkning, gräns mellan pelarförstärkning/bankpålning och gräns mellan pelarförstärkning/oförstärkt mark.
- Tydliga anvisningar för utförandet (installation, upplastning och uppföljning). Verifiera egenskaper och förväntat beteende genom provpelare och uppföljning. Följ upp rörelser med slangättningsmätare och bälgslangar och följ upp portrycksutvecklingen. Använd aktiv design (förbered alternativa åtgärder). Detta kan förutsätta bättre geotekniskt underlag och bättre kontroll än i dagsläget.
- Använd KPS, vid större djup används KPS med förborring. Använd FOPS restriktivt med dagens installationssätt.

Utförande:

- Ta fram en säkrare registrering och dokumentation av bindemedelsfördelningen.
- Utveckla och anpassa inblandningsverktyget efter rådande förhållanden.
- Utveckla metoder för att minska/ta hand om lufttryck/luftvolym vid installation.

Utbildning:

- Genomför utbildningsinsatser riktade mot olika grupper som maskinförare, handläggare, projektledare och upphandlare.

Bilaga 1

Angående projektet "Avvikelser vid jordstabilisering med kalk-cementpelare och/eller med masstabilisering"

Bäste kollega!

Som du vet florerar diverse **rykten** om oväntade händelser som skett då kalk-cementpelare och/eller masstabilisering använts. I syfte att ta fram **fakta** om vad som verkligen hänt och i vad mån detta beror på kalk-cementpelarna/masstabiliseringen genomförs ovan rubricerade projekt på uppdrag åt Svensk Djupstabilisering (SD).

Syftet med projektet är alltså att ta reda på **fakta** om vilka typer av avvikelser som kan uppkomma vid användning av kalk-cementpelare/masstabilisering, i vilken omfattning avvikelserna förekommer, vilka konsekvenser dessa avvikelser har samt om det finns några förklaringar till varför avvikelserna uppkommit. På detta sätt kan vi **få bort ryktesfloran** kring kalk-cementpelare och samtidigt **få klarhet** i vilken typ av framtida FoU-insatser som erfordras för att förbättra metoden ytterligare.

Som en första del av projektet sänds bifogad enkät ut till beställare, entreprenörer, geotekniska konsulter och andra organisationer som ingår i SD. Därefter sammanställs resultaten och i de fall då avvikelserna och omständigheterna kring dessa är väldokumenterade utförs en fördjupad analys. Inkomna svar på enkäten och den fördjupade analysen behandlas **konfidentiellt** och kommer att sammanställas och redovisas på sådant sätt att ingen koppling kan göras till specifika projekt, företag eller personer.

Jag är tacksam om Du fyller i **hela** enkäten, men naturligtvis skall Du använda svarsalternativet "Vet ej" på frågor som du inte kan besvara. Det är dock av **största vikt** att Du noga anger projektets/objektets namn samt kontaktpersoner hos beställare/KC-entreprenör/geoteknisk konsult så att vi har möjlighet att komplettera Din enkät genom att ta kontakt med berörda parter. Kopiera enkäten om du har information om flera projekt. Fyll i enkäten och sänd den **senast 981031** till:

Magnus Ruin
Statens geotekniska institut
581 93 Linköping

Magnus Karlsson
Banverket
781 85 Borlänge

Några exempel på projekt där det **ryktas** att oväntade händelser inträffat framgår av bifogad lista (i dagsläget har vi dock inga många fall ingen klar bild av sanningshalten i dessa **rykten**).

Tveka inte att kontakta mig om Du har några frågor eller synpunkter.

Tack på förhand!

Torbjörn Edstam
Projektledare
tfn 013-20 18 40

Exempel på projekt där det **ryktas** att oväntade händelser inträffat:

- Arlandabanan: skred under järnvägsbank pga ytligt torvskikt
- Askersund: dåliga pelare vid masstabilisering
- Borlänge: schakt i silt som kalvade
- Eskilstunatrakten: morotsformade pelare
- Norrköping: skred under vägbank
- Håby: fortgående sättningar efter lång tid
- Ljungskile: stora horisontalrörelser
- Eidsvoll: kollapsade
- Göta älv: oväntat stora rörelser vid pelarinstallationen och oväntat långlivade porövertryck
- Göteborg: vägbank som rörde sig oväntat mycket
- Holmsveden: dåliga pelare vid cellstabilisering
- Orust: skred i vägbank
- Hudiksvallstrakten: oväntat låg hållfasthet i pelarna
- Osvold: schakt för brostöd som kalvade
- Reverum: skred i vägbank intill en å.
- Solvalla: schakt som kalvade
- Läggesta: rörelser
- Svealandsbanan: järnvägsbank med fortgående sättningar (framförallt under kontaktledningsfundament)
- Upplands-Väsby: Skred i stationsområdet i samband med pelarinstallation
- Vretstorp: skred under vägbank (orsakad av ytligt torvlager?)
- Kungsbackatrakten: skred någon gång kring 1990.
- Norrala: skred i vägbank

Uppgiftslämnare

Namn Företag

Tfn E-post

Allmän projektinformation:

Projektnamn/Objekt Byggnadsår

Kontaktperson hos KC-entreprenören:

Kontaktperson hos geokonsulten:

Kontaktperson hos beställaren:

Konstruktionstyp som stabiliserats (välj endast ett alternativ): Vägbank Vägskärning Järnvägsbank Järnvägsskärning Naturlig slänt VA-ledning Schakt Hus, bro eller annan styv konstruktion Annat, nämligen Vet ej**Stabiliseringssyfte : (välj endast ett alternativ):** Huvudsakligen sättningsreducering Huvudsakligen stabilitetshöjning Annat, nämligen Sättningsutjämning i anslutning till styv konstruktion (vägport e.dyl.) Vet ej**Översiktlig beskrivning av jorden som stabiliserats:***Stabiliserad jordprofil (välj endast ett alternativ):* Lera Gyttja och lera Torv och lera Torv och gyttja Torv, gyttja och lera Vet ej*Övriga utmärkande drag:* Riklig förekomst av silt/sandskikt Riklig förekomst av sulfid Annat, nämligen**Installationsdata:***Stabiliseringsdjup: (välj endast ett alternativ):* Ned till fast botten Ej ned till fast botten Annat, nämligen Vet ej*Installationsmönster (välj endast ett alternativ):* Singulära pelare Skivor Skivor och singulära pelare Masstabilisering Masstabilisering och pelare Annat, nämligen Vet ej*Typ av stabiliseringsmedel som använts (välj endast ett alternativ för pelare resp. masstab.):*

Pelare: K/C 100/0 K/C 50/50 K/C 0/100 Annat, nämligen Vet ej

Masstab.: K/C 100/0 K/C 50/50 K/C 0/100 Annat, nämligen Vet ej

Mängd stabiliseringsmedel som använts (välj endast ett alternativ för pelare resp. masstab.):

Pelare: ca 80 kg/m³ ca 100 ca 150 ca 200 Annat, nämligen Vet ej

Masstab.: ca 100 kg/m³ ca 150 ca 200 ca 250 Annat, nämligen Vet ej

Rotationshastighet vid pelarinstallationen (välj endast ett alternativ):

<100 varv/minut 100-150 150-200 >200 Vet ej

Stigning vid pelarinstallationen (välj endast ett alternativ):

<15 mm/varv 15-20 20-25 >25 Vet ej

Placering av pelarna mht belastningssituationen:

I "aktiv zonen" I "passiv zonen" I "skjuvzonen" Vet ej

"Omrörningsarbete" vid masstabiliseringen:

ca min/m³ Vet ej

Skede(n) då det avvikande beteendet observerades:

Vid "pelarinstallation" Vid provning Vid byggnation Efter "trafikpåsläpp" Vet ej

Typ av avvikande beteende och åtgärd:

Observationer vid installationen av pelarna/masstabiliseringen:

Mycket kalkpuffar Stora kraterbildningar Stora markhävningar (ca.....cm)

Stora markförskjutningar (ca.....cm) Stora porövertryck (ca.....kPa)

Annat, nämligen

Vet ej om någon avvikande beteende observerades i detta skede

Vidtogs någon åtgärd? Vet ej Nej Ja, nämligen

Observation vid provning/framgrävning av stabiliserad jord:

Oväntat låg hållfasthet (ca % lägre än förväntad hållfasthet)

Oväntat hög hållfasthet (ca % högre än förväntad hållfasthet)

Oväntat stor variation i hållfastheten, nämligen

Ojämn fördelning av stabiliseringsmedlet över pelarens tvärsnitt, nämligen

Ojämn fördelning av stabiliseringsmedlet längs pelaren, nämligen

Annat, nämligen

Vet ej om någon avvikande beteende observerades i detta skede

Vidtogs någon åtgärd? Vet ej Nej Ja, nämligen

Observationer vid byggnation och tillhörande åtgärder:

- Oacceptabelt stor sättning, nämligen ca cm , vilket är ca.....% större än förväntat
- Oacceptabelt stor differenssättning, nämligen ca..... vilket är ca.....% större än förväntat
- Skred
- Annat (t.ex. höga porövertryck, kraftig sidorörelse, etc), nämligen:
- Vet ej om någon avvikande beteende observerades i detta skede
- Åtgärd som vidtogs:.....

Observationer efter "trafikpåsläpp" och tillhörande åtgärder:

- Oacceptabelt stor sättning, nämligen ca cm , vilket är ca.....% större än förväntat
- Oacceptabelt stor differenssättning, nämligen ca..... vilket är ca.....% större än förväntat
- Skred
- Annat (t.ex. höga porövertryck, kraftig sidorörelse, etc), nämligen:
- Vet ej om någon avvikande beteende observerades i detta skede
- Åtgärd som vidtogs:.....

Förklaring till avvikelsen:

-
- | | | | |
|--|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Är orsaken till avvikelsen utredd och redovisad i rapportform? | <input type="checkbox"/> Ja | <input type="checkbox"/> Nej | <input type="checkbox"/> Vet ej |
| Finns en väl underbyggd teori till varför avvikelsen uppkom? | <input type="checkbox"/> Ja | <input type="checkbox"/> Nej | <input type="checkbox"/> Vet ej |
| Finns en hypotes om varför avvikelsen uppkom: | <input type="checkbox"/> Ja | <input type="checkbox"/> Nej | <input type="checkbox"/> Vet ej |
- Kort beskrivning av teorin/hypotesen avseende avvikelsen:
-
-

Övriga upplysningar:

.....

.....

.....

.....

.....

Tack för hjälpen!

Skicka den ifyllda enkäten till:

Magnus Ruin
Statens geoteknisk institut
583 93 Limköping

Magnus Karlsson
Banverket
781 85 Borlänge

Bilaga 2

Avvikelser vid jordstabilisering med kalk-cementpelare och/eller masstabilisering

Delrapport – Enkät svar och översiktlig analys

Datum: 2000-06-30
Objekt: 1-9811-618
Kontaktpersoner: Torbjörn Edstam

Innehållsförteckning

1	Inledning	23
2	Hittills utfört arbete	23
3	Läget i juni 2000	23
4	Översiktlig analys av inkomna enkätsvar	24
5	SLUTSATSER	24
	BILAGA A - Sammanställning av hittills inkomna svar	25

Avvikelser vid jordstabilisering med kalk-cementpelare och/eller masstabilisering

Delrapport – Enkät svar och översiktlig analys

Inledning

På uppdrag av Svensk Djupstabilisering har en inventering skett av "oväntade händelser" i samband med jordstabilisering med kalk-cementpelare och/eller masstabilisering. Inventeringen har utförts av Statens geotekniska institut, i samarbete med Banverket.

I begreppet "oväntade händelser" ingår t.ex.:

- observationer vid installationsfasen (t. ex. stora markhävningar eller porövertryck)
- observationer vid provning/framgrävning av den stabiliserade jorden (t. ex. varierande pelardiameter eller låg hållfasthet).
- oacceptabla sättningarna eller skred som utbildats i samband med byggnationen.

Syftet med projektet är att ta reda på fakta om vilka typer av avvikelser som kan uppkomma vid användning av kalk-cementpelare och/eller masstabilisering, i vilken omfattning avvikelserna förekommer, vilka konsekvenser dessa avvikelser har samt om det finns några förklaringar till varför avvikelserna uppkommer. På detta sätt kan man i framtiden förbättra metoden ytterligare genom att reducera antalet avvikelser, styra FoU-verksamheten samt få bort eventuella rykten.

Hittills utfört arbete

Som en första del av projektet sändes en enkät ut till beställare, entreprenörer, geotekniska konsulter och andra organisationer som ingår i SD. Enkäten sändes ut i slutet av oktober 1998 och såväl föregicks som följdes upp med telefonsamtal till adressaterna. Dessa utgjordes av SD:s kontaktperson inom respektive företag/organisation. Avsikten var ursprungligen att sammanställa enkät svaren under våren 1999. Det dåliga gensvaret resulterade dock i förseningar varpå förnyade uppmaningar gjordes under hösten 1999, bl.a. med hjälp av Björn Paulsson, Banverket/SD.

Läget i juni 2000

I stort sett samtliga SD:s medlemsföretag/organisationer har skickat in någon form av svar på den utsända enkäten. I många fall har dock svaret varit av typen "...vi har inget att bidra med...".

I skrivande stund har 9 st, mer eller mindre komplett, ifyllda enkätsvar inkommit. Dessa svar är sammanställda i Bilaga A. Eftersom vissa uppgifter kan uppfattas som känsliga sker redovisningen på ett sådant sätt att ingen koppling kan göras till specifika projekt, företag eller personer.

Översiktlig analys av inkomna enkätsvar

Eftersom antalet inkomna enkäter, med någorlunda komplett ifylld information, enbart är 9 st är det inte motiverat att göra någon djuplodande analys. En översiktlig genomgång av de *rapporterade* fallen visar dock följande:

- Enbart 9 st *rapporterade* fall har inkommit. I branschen förekommer rykten om betydligt fler fall än så. Författaren till denna rapport vet om flera icke inrapporterade fall då incidenter inträffat.
- Samtliga *rapporterade* fall har inträffat under åren 1993-1998. Tidigare incidenter har definitivt inträffat, men ingen information om dessa har inkommit.
- Samtliga *rapporterade* fall är kopplade till förstärkning i anslutning till väg- eller järnvägsbanor. Detta speglar sannolikt det faktum att djupstabilisering huvudsakligen förekommer vid infrastruktur projekt.
- I samtliga *rapporterade* fall där *enbart pelare eller masstabilisering* använts har en låg hållfasthet erhållits; i vissa fall även med stor hållfasthetsvariation i den stabiliserade jorden. Trots detta verkar de *rapporterade* konsekvenserna, i form av skred och sättningar, vara begränsade, vilket indikerar att kompletterande förstärkningsåtgärder vidtagits i sådana fall, dock ej nödvändigtvis genom kompletterande djupstabilisering.
- I de *rapporterade* fallen anges olika *hypoteser* till de uppkomna incidenterna, men någon återkommande hypotes finns ej. De *hypoteser* som anges kan delas in i följande kategorier: den naturliga jordens sammansättning var annan än förväntat, blandningsutrustningen och installationstekniken är inte färdigutvecklad, kontrollmetoderna avseende den stabiliserade jordens egenskaper är inte tillräckligt noggranna samt att metoden tillämpas trots att den inte är lämplig.

SLUTSATSER

Det fåtal enkäter som inkommit ger sannolikt ingen bra bild av verkligheten, men det kan konstateras att observerade oväntade händelser vid djupstabilisering i vissa fall troligen inte beror på metoden som sådan. Vissa incidenter tyder dock på att tillverknings- och kontrollmetoderna behöver vidareutvecklas.

En möjlig väg att få mer direkt information och en öppen diskussion om incidenter vid djupstabilisering är att organisera en nationell "workshop" med detta tema. Liknande internationella konferenser har organiserats tidigare inom geotekniken, t.ex. "International Conference on Foundation Failures" i Singapore 1997.

Bilaga 3

Sammanställning av inkomna svar vid intervjuer dec 2000 – jan 2001

Nr.	Konstruktions- typ	Stabiliseringssyfte	Jordtyp	Stabiliseringstyp	Oväntad observation	Orsak	Byggnads- år
1	Vägbank och vägskärmning	Terrasstabilisering	Lermorän	Masstabilisering. Kalk/cement	Låg hållfasthet	Teori: För låg vattenkvot i lermorän vid inblandningstillfället	1998
2	Järnvägsbank	Stabiliteshöjning	Lera	Singulära pelare till fast botten. Kalk/Cement 50/50 80 kg/m ³	Låg hållfasthet	Okänd	1995
3	Järnvägsbank	Sättningsreducerande	Gyttja och lera	Svävande singulära pelare Kalk/Cement 100 kg/m ³	Låg hållfasthet	Teori: Finns, men ej angiven i enkäten	1994
4	Järnvägsbank	Sättningsreducerande	Lera	Svävande singulära pelare Kalk/Cement 50/50 100 kg/m ³	Stora kraterbildningar vid installatonen. Cylinderformade pelare. Övre delen av pelarna lös.	Hypotes: Felaktigt blandningsverktyg, pneumatisk spräckning i jorden	1994-1995
5	Järnvägsbank	Stabiliteshöjning	Torv och gyttja	Masstabilisering till fast botten Lohjamix 200 kg/m ³	Stora markhävningar Stor variation i hållfastheten med lågt genomsnittsvärde. Oacceptabla sättningsar.	Teori: Metoden ej färdigutvecklad ännu	1996
6	Vägbank	Sättningsreducerande	Torv, gyttja och lera	Massstabilisering med singulära pelare under till fast botten: Lohjamix 100-150 kg/m ³	Masstabiliseringen blev bra, men pelarnas hållfasthet blev mycket dålig.	Okänd.	1997
7	Vägbank	Stabiliteshöjning	Lera	Singulära pelare till fast botten Kalk/Cement 50/50 100 kg/m ³	Låg hållfasthet Pelarnas diameter minskar med djupet	Hypotes: Pelarmaskinen klarar inte av att tillverka 800 mm pelare.	1997
8	Vägbank	Sättningsreducerande	Torv och lera	Singulära pelare till fast botten Kalk/Cement 50/50 80 kg/m ³	Ojämn pelare i torven. Skred vid byggnation	Saknas. Förekomsten av torv var dock inte känd då pelarna installerades. Inget anmärkningsvärt noterade dock vid pelarsonderingen.	1995
9	Vägbank	Stabiliteshöjning	Gyttja och lera	Singulära pelare till fast botten Kalk/Cement 50/50	Stor variation i hållfastheten med lågt genomsnittsvärde.	Saknas	1993

Nr.	Konstruktionstyp	Stabiliserings-syfte	Stabiliseringsstyp	Jordtyp	Observation	Orsak	Byggnadsår
1	Järnvägsbank Mälardalen		KC-pelare	Lera	Mkt olika hållfasthet på pelare trots likartade markförhållanden	Ej känd, examensarbete utfört på Chalmers	1994?
2	Järnväg- underfart	Stabilitets- höjning inför schaktning	Singulära pelare till fast botten		Skred i samband med schakten	Ej tillräcklig S _F i projekteringen. Borde varit skivor	1994?
3	Hus Kista	Stabilitets- höjning	Block till fast botten	Lera med Silt o sand Skikt	Mkt snabb hållfasthetstillväxt, 150-200 kPa efter 3-5 dygn	Goda jordförhållanden	2000
4	Provpelare Uppgrävda		Singulära pelare		Ojämn pelare, lösa kulor ist. för hela pelare	Ej jämnt tmatningstryck, svag kompressor i komb med speciellt "seg" lera	
5	Göteborg				Pelarmaskin går sönder och blåser ut kalk över bilparkering	Hydraulslang brast	1999
6	Ljungskile			Lera	Blow-out från pelare. Ca 10 min efter installation sker explosion i marken, lera och luft ca 10 m upp i luften	Låg w, kalken reagerar mkt snabbt med leran → kraftig värmeutveckling	ca 1993
7	Vägbank – skärning Ljungskile	Stabilitets- höjning av slänt	Skivor, h ~10 m	Lera	Skred i nedkant av förstärkning. Rörelsen skedde på ca 10 m djup i gränsen först/oförst.	Pelarna gick ej helt ned till fast botten	ca 1993
8	Vägbank – skärning Uddesvalla	Stabilitets- höjning av slänt	Gitter	Kvicklera	Skred i kanten av förstärkningen	Fel i geometriska utformningen av konstruktionen	
9	Vägbank Tjörn	Terrasstabilisering	Singulära pelare φ=600 mm	Lera	Stora kratrar 1-2 m djupa i torrskorpan	Hård torrskorpa → mtrl trycker och transporteras i sidled	perioden 90-95
10	Järnvägs- bank Söder Kungsbacka	Stabilisering av nytt spår bredvid det gamla			Kratrar, tvärfallsproblem med det befintliga spåret.	Hård torrskorpa, underliggande mtrl trycks i sidled	perioden 90-95
11	Järnvägs- bank? Kungsbacka				Smala pelare, φ=100 mm, följde med upp vid OKPS	Problem med verktyget för OKPS, kalken blåste rakt ner → cementpelare runt vajern. Sliten bussning?	perioden 90-95
12	Vägbank	Placering av nya pelare mellan gamla i syfte att höja banken	Singulära pelare placerade mellan befintliga pelare		Hela banken rörde sig	Enorma horisontalkrafter	perioden 90-95
13	Fjärås		Singulära pelare		Diametern på pelarna var för liten i toppen, men ökade med djupet	Övre delarna "strypta" p g a stora horisontalkrafter	perioden 90-95
14	Vägbank Sättinge		Singulära pelare		Vissa pelare "tomma" i centrum. KC i pelarnas yttre delar, lera i mitten	Omblandningen störd p.g.a. ex. halm/gräs på blandningsverktyget.	perioden 90-95
15	Järnvägs- bank? Kungsbacka				Låg hållfasthet, aktiv design på platsen med 40-44 kg KC/m.?	Organiska innehållet större än förväntat?	perioden 90-95
16	Järnvägs- bank Torrekulla			Mkt lös lera	Pelaren "försvann" vid 3-4 m djup för att sedan återkomma vid 5 m. Detta fenomen inträffade på ett flertal provpelare. Ingen hållfasthet.	Ingen teori	
17	Vägbank? Söodertälje			Sensitiv lera	Mkt uppträngande lera. Hela förstärkningen täckt med ~0,3 m omrörd lera	Sensitiv lera, väller upp i hålet	1995
18	Järnväg Malmby				"Pelare som grynkorv." Ett flertal upptagna pelare föll isär, dock ej alla - vissa var hela.	Ingen teori	1995
19	Järnväg Ljungskile	Stabilisering av befintligt spår	Pelare snett inunder befintlig jv.bank		Vid schakt i närheten sjönk banken 20-30 cm	Geometrin på djupet stämde ej	ca 1995
20	Söder Göte-	Stabilisering av spont	KC-pelare i passivzon i spantschakt. Pelare i rutmönster.		En spont kollapsar.		ca 1990

	borg						
21	Skärning Kungsbacka		Singulära pelare		Ras i skärningen		
22	Vägbank Orust	Stabiliserande	C-pelare		Ras i C-pelarförstärkning efter det att överlasten lagts på.	Pelarna för hårda. Samverkande effekt med omgivande jord uteblev → beräkningsmodellen stämde ej	ca 1993
23	Bank och bro Häby	Sättningsreducerande			Bank och bro grundlagd på KC-pelare sätter sig.	Vet ej. Fel dimensionering, fel utförande?	ca 1993
24	Järnvägsbank, Svealandsbanan				Rörpelare, vissa pelare "tomma" i centrum.	För hög rot.hast? Kombination av tryck, v_r , jordens egenskaper.	
25	Vägbank Norrköping				Rörpelare, vissa pelare "tomma" i centrum. 25% fick kompletteras	För hög rot.hast? Kombination av tryck, v_r , jordens egenskaper.	
26	Järnväg Arlanda- banan		600 och 800 mm pelare		Rörpelare, större andel av 800 mm pelare hade denna effekt jämfört med 600 mm pelare.	Maskinutrustningen	
27	Järnväg Svealands- banan		Provpelare, singulära		1,5-2 ggr högre hållfasthetsvärden på pelare testade med OKPS jämfört med vanlig sondering		
28	Vägbank Eskilstuna		600 mm och 800 mm pelare		Morotsformade pelare, rätt mängd stabiliseringsmedel men koncentrerat till mitten.	Maskinutrustningen. För litet utblåsningshål?	
29	Vägbank Askersund		Masstablisering 2-2,5 m i "ytan". KC-pelare under	Sulfidhaltig lera	Bildades inga pelare under masstabliseringen. Märken fanns efter omblandningsverktyget, dock inget stabiliseringsmedel.	Ingen teori	
30	Järnvägsbank Arlanda- banan				"Hittade" inga pelare vid sondering. Grävde fram → märken fanns efter omblandningsverktyget, dock inget stabiliseringsmedel. Diagrammen visade utmatad mängd.	Ingen teori. Hur trovärdiga är utmatningsdiagrammen?	
31	Bettna		Masstablisering		Mycket stor skillnad på lab och fältvärden på Lohjamix. I fält blev värdena betydligt lägre än i lab. Man erhöll den hållfasthet som använts vid dimensionering vid användning av den ena typen av maskinutrustning (två olika typer användes).	Slaggprodukter behöver bättre blandningsarbete än KC.	
32	Järnvägsbank Upplands Väsby	Stabilitetshöjande	Pelare i block		Skred ledde till att maskin välte	Stora horisontalkrafter, höga porttryck, lutande mark.	1989?
33	Vagnhärad	Stabilitetshöjning av slänt			Skred i samband med pelarinstallation.	Vibrationer, tryckökning i marken	1982?
34	Vägbank Norrköping				Skred	Orsaken ej bestämd. Ledning parallell med vägen kan ha gett brottanvisning	
35	Holma			gyttja	Litet skred		
36	Holma			gyttja	Uppflytning av lös lera	Utblåsningstrycket tillräckligt för att lyfta den lösa jorden	
37	Vägbank	Sättningsreducerande	KC-pelare intill bankpålning		Större sättningar än beräknat. Rejäl sättningssvacka. Stora rörelser med inklinometer.	Pelarna ej lika starka i detta pertiet som i de andra. Ingen teori varför.	
38	Väg- och järnvägsbank Norråla			Sulfidhaltig lera	Vägbanken rörde på sig		
39	Vägbank Holmsveden		Cellstabilisering av myr	Torv	Skred	Inblandningsförsök ej gjorda på värsta området. För mycket överlast lastades på.	
40	Vägbank Enköping- Bålsta		Kalkpelare	Skikt med organisk jord, lera under	Bra pelare i den organiska jorden, pelare borta under organiska skiktet (8-10 m djup). De växte dock till igen med ökat djup	Ingen teori	1985?
41	Järnvägsbank Bålsta- Kungsängen			Skikt med organisk jord, lera under	Bra pelare i den organiska jorden, pelare borta under organiska skiktet (~4 m djup). De växte dock till igen med ökat djup	Ingen teori	

42	Bettna		Singulära pelare	Skikt med organisk jord, lera under	Bra pelare i den organiska jorden med en sorts maskin, klumpar med en annan. I leran bestod pelarna av klumpar.	Problem med trycket?	
43					Pyser luft vid pelarsondering	Luft innesluten i pelaren. Ojämnt utblåsningstryck-kalken och cementen kommer som puffar med luft mellan.	
44	Bettna		Singulära pelare		Pelare sjunker 1-2 m, relativt vanligt förekommande		
45					Pelare som "pärlband", klumpar	Ojämnt tryck p g a motståndet för högt i leran. Ngn typ av luftdränering behövs	
46					Bubblar i kringliggande pelare	För högt utmatningstryck	
47					Kalkpuff utefter pelaren under borrhningen	Verktyget sjunker ej → övertryck → kalkpuff	
48	Hus Söder Göteborg	Stabilisering, grundläggning av hus	Singulära, 12-14 m KC-pelare		Från markytan 2-3 m hål, pelarna borta översta metrarna.	Vattenbärande skikt. Trycket pressar ut vattnet, bindemedlet följer med. Har hänt vid "viss storbladig vegetation". Justering av utblåsningshålets placering gav bättre resultat	
49	Huddinge			Mossigt sankmarksområde	Från markytan 1-2 m hål, pelarna borta översta metrarna.	Se pkt 49	
50	Kungsbacka	Grundläggning av platta			Från markytan ~2 m hål, pelarna borta översta metrarna.	Se pkt 49	
51	Stinneröd				Blow out från pelare	För låg w, förmår ej släcka kalken	
52	Järnvägsbank Vestfold				Skred vid sidan av KC-pelarininstallationen, dock ej i pelarområdet	Utfäst av vibrationerna vid KC-pelarininstallationen?	
53	Grundsbro				"Rörpelare", inget bindemedel i mitten av pelaren	"Vegetationsklump" på blandningsverktyget → centrumstången får för stor diameter.	
54			Pelare i skivor och gitter		Svårt att garantera att pelarna sitter i överlapp.	Borren studsar mot intilliggande pelare	
55	Småland			Gyttja	Skred		
56					Skred i KC-pelarförstärkning i byggskedet	Fanns torv som man ej hittat i sonderingar → dåliga pelare	
57	Järnvägsbank Kungsängen		Provpelare	Lera	Mkt kraftig hävning ~1 m. 100 m bort, annan entreprenör 0,5 m djupa kratrar. Pös och bubblade i marken 10-15 m från installationen.		
58	Holma				Kratrar 0,2-0,4 m djupa		
59					4 st olika lab fick identiska jordprov. Inblandningsförsök gav mkt stor spridning i hållfasthet.		
60	Vägbank				Slangsättningsmätning visade kraftiga V-formade sättningar.		
61	Kiviko Finland	Stabilitetshöjande	Masstabilisering av mosse		Mycket stor spridning av hållfastheten på pelarna	Utförandemiss, rötterna till träden togs ej bort innan installation	
62	Göta Älvdalen				Mycket höga porttryck i samband med installation. De stod kvar länge.		

Bilaga 4

Svensk Djupstabilisering

Swedish Deep Stabilization Research Centre

Datum/Date

2001-06-27

*Vår ref/Our ref**Ert datum/Your date**Er ref/Your ref*

Enligt sändlista

Kallelse till "Workshop om erfarenhetsåterföring"**Bakgrund**

SD har sedan några år drivit projektet "Erfarenhetsåterföring" med syfte att samla in erfarenheter från användningen av kalkcementpelare och masstabilisering. Denna erfarenhetsinsamling är främst inriktad mot erfarenheter avseende avvikelser gentemot projekterat beteende, förväntade egenskaper m m.

Ett grundmaterial har samlats in med början 1998 genom enkäter och intervjuer med ett antal personer (beställare, konsulter och entreprenörer). Det har varit svårt att få in erfarenheterna. Under senhösten 2000 gjordes en runda personliga intervjuer som gav en hel del ytterligare information. För att få en så bra erfarenhetsåterföring som möjligt anordnas nu ett workshop. Detta ger också en möjlighet till diskussion och utbyte av erfarenheter.

De insamlade erfarenheterna ska användas som underlag för att:

- optimera metodens användning
- minska riskerna vid användandet
- fokusera FoU-verksamheten

Genomförande av workshop

Diskussionerna kommer att ske teknikanknutet och inte projektanknutet.

Workshopen kommer att omfatta tre pass enligt nedan. I varje pass görs först grupparbeten (tre grupper) samt därefter gruppvis redovisning. Avslutningsvis görs en sammanfattning av hela workshopen. Varje pass (grupparbete) skall omfatta presentation och diskussion av

- 1) uppkomna avvikelser,
- 2) bedömda orsaker och
- 3) åtgärder som har eller kan vidtas för att inte avvikelserna ska upprepas.

Program

08.30 – 09.00 Samling, kaffe med fralla

09.00 - 11.30 Hållfasthet - pelarform - kontrollmetoder

11.30 - 12.30 Lunch

12.30 - 14.30 Skred - deformationer/portryck

14.30 - 15.00 Kaffe

15.00 – 16.30 Installation

16.30 – 17.00 Sammanfattning

Tid: 2001-09-11 kl 09.00-17.00

Plats: Södra Paviljongen Konferenscenter, Vasagatan Centralstation, Stockholm (hette tidigare SJ Konferenscenter)

Workshopen utgör en viktig och avslutande del av erfarenhetsåterföringen. Det är därför av stor vikt att de kallade medverkar.

Vi bifogar en sammanställning på de erfarenheter som kommit in som ett underlag för workshopen. Vi hoppas att ni tar med er mer erfarenheter.

Var god anmäl deltagande **senast 2001-09-04** per e-mail till birgitta.sahlin@swedgeo.se eller på bifogade svarsblankett.

Välkomna!

SVENSK DJUPSTABILISERING

Leif Säfström

Magnus Karlsson

Göran Holm

tel: 070-592 49 36

0243-44 54 98

013-20 18 61

e-mail: leif.safstrom@vv.se

magnus.karlsson@banverket.se

goran.holm@swedgeo.se

Sändlista:

Beställare:	Magnus Karlsson, Anders Hallingberg, Leif Säfström Jan Ekström	Banverket HK Banverket Västra Banregionen Vägverket Region Mälardalen Vägverket Region Väst
Konsulter:	Torbjörn Edstam Tord Sjödahl Per Engström Peter Carlsten Per Löfling	J & W Tyréns VBB-VIAK SCC VV Konsult
Forskare:	Ingmar Forsgren Stefan Larsson Göran Holm Roland Tränk	CTH KTH SD SGI
Entreprenörer:	Håkan Eriksson Juha Helin Matti Kivelö Per-Evert Bengtsson Lars Holmqvist	Hercules LC Markteknik Skanska Peab
Materialtillv.:	Håkan Pihl S-E Johansson Torbjörn Carlsson	Nordkalk Cementa Merox

Bilaga 5

Workshop om erfarenhetsåterföring 2001-09-11

Synpunkter framkomna vid grupparbeten

1. Hållfasthet – pelarform – kontrollmetoder

1.1 Uppkomna avvikelser

Grupp 1

Hållfasthet

Låg hållfasthet

Varierande i enskild pelare, hög och låg

Kravprofil ej helt klar

Pelარform

Geometri, diameter, morotsform, rör, kulor. Skivor rätt geometri svårt

Fel längd och lutning.

Dålig anslutning mot ”hård” botten

Hål (2-3 m sjunkning)

Kontrollmetoder

kontroll av ”rätt pelare”. Representativt prov – tillförlitlighet - trovärdighet

Rättvänd pelarsondering - Omvänd pelarsondering

Grupp 2

Hållfasthet

Stor skillnad mellan olika lab

stor skillnad lab-fält

Dålig prognos av pelarhållfasthet mot djupet

Pelარform

Utrustningen har stor betydelse i sega jordar. Morotspelare. (Vad har det för betydelse om pelaren har dålig form?)

Tillverkningen, beror på hur tätt pelarna står

Kontrollmetoder

Med rätt utförande ger pelarsonderingen ett bra mått på hållfastheten

Omvändsondering – X-metod används vid tillverkning

Dåliga avsnitt i pelare döljs. Dåliga pelare på stora djup döljs

Grupp 3

Hållfasthet

Olika resultat på labinblandning beroende på laboratorium

Man ”måste” avvika från SGF 2:2000 mht att ”dimensionering” skall baseras på fältvärden

Luften inverkar, lufttryck och luftmängd

Pelarförm

Morotspelare

Rörpelare

800 pelare som blir 600-700 mm

Kontrollmetoder

Är man kvar i pelaren eller ej vid KPS

FOPS ger 1,5-2 ggr KPS

Hantering av spridning i sonderingsresultat (fältkontroller). Vilken spridning kan accepteras inom pelare och mellan pelare?

1.2 Bedömda orsaker

Grupp 1

Hållfasthet, pelarförm, kontrollmetoder

Jordlagervariation (Jordens typ, lagerföljd)

Variabel bindemedelsfördelning – maskinberoende – förarberoende – inblandningsarbete (stigning varvtal)

Empiri lab-fält ger fel budskap

Jorden hänger med i verktyget

Grupp 2

Pelarförm

Kratrar uppstår. 0-0,5 m ok, 2 m inte ok. Speciellt när vi har en kraftig torrskorpa

Pelare i kulform

Rörpelare – tillverkning (skräp i verktyget)

Rotationshastighet, stigning

Vi spräcker jorden med högt utrustningstryck

Grupp 3

Hållfasthet

Olika metoder för inpackning och olika temperatur för lagring.

För att klara 2:2000 måste man ha extra etablering=provfält=hög kostnad

Pelarförm

Otillräcklig luftmängd eller utmatningshålets placering

Otydliga orsaker

Utförande – verktyget kan fastna i saker, otillräcklig blandning

Utblåsningshålet

Lufttryck nu 7-8 bar tidigare 4-5 bar eller luftmängd

Kontrollmetoder

Sonden går snett vid KPS

FOPS-pelaren blir annorlunda än övriga pelare

Spridning i resultat erhålls alltid

1.3 Åtgärder som har eller kan vidtas för att inte avvikelserna ska upprepas

Grupp 1

Hållfasthet, pelarform, kontrollmetoder

Evakuering av luften. Jämnt utflöde av bindemedel.

Installation mer beroende av jordlagerförhållanden, inga fixa värden utan projektspecifika

Installationsordning

Kontroll i stor pelarvolym

Idealet en checklista

Alltid provpelare

Grupp 2

Hållfasthet

Standardisera lab inblandningsmetod inklusive lagringstemp

Föreskriv lagringstemperatur

Välj bindemedel beroende på jordart

Lab inblandning visar att det går att stabilisera. Använd provpelare för att bestämma egenskaperna

Tag fram tolkade profiler – Mer grundundersökningar ger mer information

Utnyttja nya metoder för att få övergripande bild, resistivitet – georadar.

Pelarform

Bättre utbildade maskinförare

Avvikelser skall rapporteras snarast

Utveckla utrustningen, verktyget

Minska mängden luft vid utmatning

Kvalitetssäkring

Kontrollmetoder

Testa pelare vid olika tidpunkter

Använd förborring, 44 mm Jb-stål

Grupp 3

Hållfasthet

Ordna standard för labinblandning och lagring. Kan vara olika standard för t ex lera, torv etc

Dimensioneringsförutsättningar baserat på lab skall verifieras genom fältkontroller

Alternativ 1 prova vid låg ålder

Alternativ 2 kör produktion och prova efter 1 månad och därefter justera något. (Fungerar i stora projekt.)

Pelarform

Metod för att kontrollera om det blir morotspelare

Schakt

Primära: Försök sortera vilken faktor som har störst betydelse, luftmängd, lufttryck

Studera:

- utmatningstryck
- utblåsningshålets riktning och läge
- att luft kan tillåtas komma ut
- hur ta hand om luft (och därmed undvika att pelare sjunker ned)
- om och hur olika jordar är olika känsliga eller bearbetbara

Kontrollmetoder

Förborring före KPS fungerar till 20 m

FOPS bör endast utnyttjas i de fall där inget annat fungerar. FOPS visar i varje fall att man för en kemisk reaktion och att pelaren är kontinuerlig

Statistisk värdering av mätresultat

Statistiskt angreppssätt vid dimensionering

2. Skred – deformationer/portryck

2.1 Uppkomna avvikelser

Grupp 1

Skred – deformationer/portryck

Större rörelser än prognos under installation och efter belastning

Större portryck

Stor omgivningspåverkan – sidorörelser, hävning

Schakter – Flera skred (skärning)

Mass-stabilisering på pelare

Kratrar fylls inte med ”bra” material

Grupp 2

Skred

Skred i ytlig organisk jord

Dåliga pelarna i anslutning till fast botten

Skred vid installation av pelare nära vatten

För smal förstärkning

Höga portryck från installation

Skred vid upplastning

Deformationer/portryck

Deformationer vid installation

Bank och bro sätter sig

Överdimensionering? Överdrivna sättningsprognoser

Dåligt dränerande pelare

”Dåliga prognoser”

Grupp 3

Skred

a) Skred vid upplastning

b) Skred vid utförande (slänter)

c) Lägre hållfasthet i övre lager än förutsatt vid dimensioneringen.

d) Skred i gränsen på förstärkningar i skärningar

e) Stora förskjutningar i övre lager

f) Har rörpelare eller morotspelare konstaterats vid något skred?

Deformationer

Större sättningar än förväntat (fall med 10-15 m pelare 20 kg/m KC 600 mm 30 m lera)

2.2 Bedömda orsaker

Grupp 1

Skred – deformationer/portryck

Jordartsberoende. Skikt i jorden. Söt/salt lera

Luftrycket vid installation

Eventuell inverkan av temperaturhöjning

Portrycksökning och även kvarvarande tryck av totaltrycksökning

$F_c < 1,0$ för oförstärkt slänt

”övert” kryplast problem

Verkningssätt avviker från prognos, – pelarstopp – skikt i pelare – pelarbotten

Grupp 2

Skred

Projektering – förundersökningar

För stor last på mellanliggande lera

Horisontella krafter på pelare

Upplastningens geometri inte den som förutsatts

Deformationer/portryck

Last över kryplast

”Dålig” beräkningsmodell, inte karakteristiska egenskaper

Svårt bestämma egenskaper

Svårt bestämma permeabilitet

Grupp 3

Skred

a) Kan vara höga portryck

b) Olämplig installationsordning eller för högt tempo i utförande

c) ”Normalt” erhålls ej ”fullgoda” pelare i övre delen vilket ofta försummas vid projektering

Funktion i glidytor olika delar, skjuvning - passiv

d) Brist i projektering, ej beaktat att oförstärkt lera skall ha tillräcklig säkerhet efter förstärkning (lokalstab)

e) Missbedömning av möjligheterna att stabilisera jordlager (skikt)

Projekteringsmiss

Miss i kontrollen

För snabb upplastning

Deformationer

Pågående sättningar under förstärkningar

Brist i projektering och beräkningsmetod

2.3 Åtgärder som har eller kan vidtas för att inte avvikelserna ska upprepas

Grupp 1

Skred – deformationer/portryck

Lätta på ”trycket”. Förändra hanteringen av luftrycket vid installation. Återgång av luften till markytan

Uppföljning av rörelser och portryck med aktiv design (Bättre geotekniskt underlag och geoteknisk kontroll)

Prognos med åtgärdsplan

Försiktig projektering på säkra sidan och inte för optimistiskt

Glöm inte förenklad "instrumentering" ibland bra underlag "siktlinjer".

Indirekt mätning

Schakter – Pelare på aktiva sidan

Bättre uppbyggnad av bank med eventuell förändring av banken/upplastningen

Grupp 2

Skred

- mer förundersökningar
- förutsätt att pelarna inte finns i anslutning till berg/morän (bottenlager)
- avvikelser från vad som är normalt
- lutningsgivare på maskinen
- mät portryck, aktiv design
- minska horisontalkrafter, säkerhet $F > 1,0$
- undvik att använda pelare för att säkra slänter
- följ anvisningar om upplastningssekvenser
- lägg ut arbetsbädd (0,3-0,5 m)

Deformationer

Ordningsföljd för pålnings-kalkcementpelare

Använd kalkpelare

Använd arbetsbädd

Variera modul och lasten

Pelarsondering ger skjuvhållfasthet ger modul?

Grupp 3

Skred

- Se skred vid utförande, pkt b) och att deformationer mäts med slangställningsmätare och bälgslangar
Mark/krön peglar ger begränsad info eftersom uppfyllnad görs innan mätning kan påbörjas
Projektören ger prel.upplastningssteg, liggstider, prognoser
- Tydliga anvisningar om utförandeordning – krävs kunskap om portrycksuppbyggnad och förskjutningar under utförande – krävs kunskap om hur portryck avklingar
Lösning: Aktiv design med prognos på bl a portryck som sedan följs och kontrolleras i fält. Olika hantering av stabilitet beroende på komplexitet – riskvärdering + konsekvensanalys – GK3, SK3 – hur hantera progressivt brott
- Mer nyanserad bild av pelarnas hållfasthetsvariation med djupet
- Övergångszon mellan olika förstärkningar måste man studera speciellt, t ex gräns urgrävning/pelarförstärkning, gräns pelarförstärkn./bankpåln., gräns förstärkt/oförstärkt
- Bättre kunskap om oförstärkt jord och funktion samt egenskaper hos pelarförstärkningen

Deformationer

Bättre dimensioneringsmetoder

3 Installation

3.1 Uppkomna avvikelser

Grupp 1

Planläge, nivå pelarbotten och lutning avviker
Kraterbildning, lerslam
Krav på "hållfasthet" uppfylls ej - Härdningstid
Bindemedelshalt uppfylls ej
Proportioner i bindemedel uppfylls ej
Förväntad fördelning i tvärsnitt uppfylls ej
Oklarhet i "stopp"-nivå
Stigning och varvtal avviker
Arbetsmiljö (Läckage av bindemedel via luft osv.)
"Projekteringsfel"

Grupp 2

Avvikelse i plan. Viktigt med överlapp i skivor
Slentrian i utformning av kc-pelarförstärkningar
Verksblandat eller separata tankar?
Slentrian i beskrivning av kontroll i FFU
Kan vi ändra verktygets form? Blandning topp/botten
Var kommer bindemedlet?
Hur evakuerar man luften?

Grupp 3

- a) Ojämn pelarkvalitet. Morotspelare, rörpelare
- b) Ingen pelare i botten
- c) Vart tar pelare vägen när man tillsätter stabiliseringsmedel $\times \text{kg/m}^3$
- d) 800 pelare blir 700 mm?
- e) Krater, blow-out, innestängd luft, lervälling

3.2 Bedömda orsaker

Grupp 1

Problem med utsättningsdel vid komplicerad geometri
Slarv i redovisning geoteknik
"Luftrycket"
Process-styrningen fungerar ej helt enligt planerna
Rutiner vad gäller arbetsmiljö fungerar ej helt

Grupp 2

Otillräcklig förstärkning av kanterna av pelarområdet

Grupp 3

- a) Ojämma jordlager. Tillverkningstid. Rotationshastighet
- b) Verktygets utformning

- c) krater eller välling
Volymen verkar bli mindre än vad man hade från början
- d) Maskinberoende?
- e) Lufttryck/luftvolym

3.3 Åtgärder som har eller kan vidtas för att inte avvikelserna ska upprepas

Grupp 1

- Bättre positionering (GPS)
- Bra och precist geotekniskt underlag
- Förbättra egenkontrollen
- Förbättra "avluftningen"
- Förbättra rutiner för arbetsmiljö
- Tillverka pelare även på väg ner

Grupp 2

- Verifiera utrustningstryck, vridmoment, stigning, rotationshastighet, mängd
- Det är värt att utveckla verktyget !! för att förbättra blandningen. verka för att entreprenörerna skall få bonus genom att utveckla utrustningen.
- Undersök bättre förstärkningsområdets utkanter

Grupp 3

- a) Köra ytterligare en gång eller blåsa ut stabiliseringsmedel både på vägen ned och upp
Tillsätta peptiseringsmedel (göra leran mer lättflytande)
- b) Kan man göra klump i botten, kan man kontrollera detta i ett försök
Tillverka pelare på vägen ned i ca 1 m övergång
- c) Luftmängd och inneslutningar
- d) Varför projekteras det ej 800 mm pelare
Ingen "vågar" beställa detta
Håby test
- e) Minsta trycket längs pelare
Vid låga mängder stabiliseringsmedel bör man vidta åtgärder för att minska mängden luft
800 mm pelare har lägre mängd luft per m³ pelare än 600 mm pelare vid samma mängd stabiliseringsmedel/m³
Olika storlekar på tankar hos olika entreprenörer. De har dessutom olika kompressorer. OBS en lägre stigning ger större mängd luft/m pelare än större stigning
Luftmängden minimeras genom – kort installationstid (luftflöde går konstant) – stor stigning – trycket justeras uppåt

Avslutande kommentarer av Göran Holm

Viktiga erfarenheter och synpunkter som framkommit vid workshopen är bl a:

1. Luften, lufttryck och luftmängd har stor inverkan på kc-pelarna. Mindre luft, ta hand om luften.
2. Standardisering av laboratorieinblandning och lagring av prover måste ske
3. KPS fungerar bra om förborring sker och Jb-stål 44 mm används
4. FOPS ger ofta 1,5-2 ggr högre hållfasthet än KPS
5. Aktiv design bör användas (prognos-uppföljning-åtgärd)
6. Studera speciellt övergångar mellan kc-pelarförstärknigar och andra metoder eller oförstärkt område
7. Användning i slänter bör ske med försiktighet. GK3 och SK3
8. Använd ev arbetsbädd för att få bra kontakt pelare-bank. Inblandad lera efter pelarinstallation?
9. Pelartillverkning även på vägen ner
10. Verifiera installationsparametrarna (utmatningstryck, vridmoment, stigning, rotationshastighet, mängd bindemedel)

Publikationer utgivna av Svensk Djupstabilisering

Arbetsrapport

- 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 Bredenberg
- 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 portryck 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. Grunnförsterkning med kalksementpælar (1999)**
Stein Christensen, Arnstein Watn, Steinar Nordal, Arnfinn Emdal, Torbjörn 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.**
Västkustbanan, delen Sättinge – 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
Ronny Andersson, Arvid Jacobsson & Karin Axelsson

Rapport

- 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. Provbank 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



Svensk Djupstabilisering

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