



Svensk Djupstabilisering
Swedish Deep Stabilization Research Centre

Arbetsrapport 23
2002-09

Studie av inverkan av faktorer i blandningsprocessen vid djupstabi- lisering med kalkcementpelare – Fältförsök i Håby

Stefan Larsson
Marcus Dahlström
Bengt Nilsson

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, <http://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, <http://www.swedgeo.se/sd.htm>.



Svensk Djupstabilisering
Swedish Deep Stabilization Research Centre

Arbetsrapport 23
2002–09

**Studie av inverkan av faktorer i
blandningsprocessen vid djupstabilisering
med kalkcementpelare – Fältförsök i Håby**

Stefan Larsson
Marcus Dahlström
Bengt Nilsson

Förord SD

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 ej av SD utan redovisade resultat och framförda åsikter är författarens. Redovisningarna är arbetsrapporter inom SD.

Även redovisningar av vissa FoU-projekt inom SD sker i SD:s arbetsrapportserie. Rapporter i SD:s arbetsrapportserie skall endast användas internt inom SD och ej spridas utanför SD.

I föreliggande SD arbetsrapport redovisas resultat av forskning inom området vidareutveckling av inblandningstekniken. Det här redovisade FoU-projektet omfattar fältförsök och bygger på det tidigare genomförda SD-projektet om blandningsmekanismer och blandningsprocesser (SD:s Rapport 6).

Linköping i september 2002

Göran Holm
Projektledare för SD

Arbetsrapport

Beställning

Svensk Djupstabilisering
c/o Statens geotekniska institut
581 93 Linköping

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

Innehållsförteckning

Förord SD	2
Förord	4
Sammanfattning	5
Inledning	8
Inverkande faktorer och tidigare erfarenheter	10
Val av lämplig provningsmetod	12
Metodiken i huvuddrag	14
Allmänt	14
Penetrometerförsök	14
Tillförlitlighet och begränsningar	15
Statistisk analys	16
Fältförsök	17
Provfältet	17
Studerade faktorer	17
Försökens upplägg	17
Provning	22
Okulär besiktning	22
Resultat och diskussion	23
Allmänt	23
Det övre vingparet	23
Stigning och antalet vingpar	29
Standardverktyget och Pinnborret	34
Rotationshastigheten	34
Tanktrycket och munstycket	34
Kombinationer av parametrar	36
Förslag till fortsatta studier	36
Slutsatser	37
Referenser	38
Bilaga 1 – Några tankar kring försöken	
Bilaga 2 – Okulär besiktning	

Förord

Föreliggande rapport redovisar en studie av inverkande faktorer i blandningsprocessen vid djupstabilisering med kalkcementpelare. Den för försöken framtagna metodiken ger entreprenörerna möjlighet att själva kunna studera inverkande faktorer i blandningsprocessen som grund för fortsatt redskapsutveckling. Metodiken är testad i samband med fältförsök i Håby, ca 2 mil norr om utanför Uddevalla. En rad faktorer i blandningsprocessen studerades genom statistiska analyser av utförda penetrometerförsök och genom okulära besiktningar på framschaktade pelartvärnsnitt.

Arbetet har genomförts av LCM (LC Method AB, tidigare LC-Markteknik AB) i samband med förstärkningsarbeten för vägprojekt, E6 Uddevalla - Svinesund, trafikplats vid Håby. Omfattningen av testpelarna och installationsordning är framtagna av Bengt Nilsson, LCM i samarbete med Stefan Larsson, Tyréns Infrakonsult AB. Pelarinstallationen är utförd av Mikael Svadling, assisterad av Leif Sämmsgård och Bengt Nilsson, LCM. Maskinen har beteckning M 809. Fältprovningen är utförd av Marcus Dahlström, LCM och Stefan Larsson. Pelarna installerades måndag och tisdag, vecka 50 år 2001 och testningen utfördes måndag-torsdag vecka 51. En kompletterande omgång testpelare installerades vecka 10 år 2002 och testades vecka 11. Den statistiska utvärderingen är utförd av Stefan Larsson.

Projektet är en del av Svensk Djupstabilisering som också är huvudsaklig finansiär tillsammans med LCM och Tyréns Infrakonsult AB. Författarna vill tacka Jan Ekström, Göran Holm, Magnus Karlsson, Sven-Erik Rehnman, Thord Sjödahl och Helen Åhnberg för deras värdefulla kommentarer på manuskriptet.

September 2002

Författarna

Sammanfattning

Inledning

Utvecklingen av blandningsverktyg för djupstabilisering med kalkcementpelare har varit relativt långsam sedan metoden introducerades på 1970-talet. Den främsta orsaken till den långsamma utvecklingen har sannolikt varit svårigheter att utföra tillförlitliga studier i fält. Det finns kunskap avseende inverkan av faktorer i blandningsprocessen men tidigare utförda studier är främst utförda i laboratorium och begränsade i sin omfattning. Det finns idag ett stort behov av en enkel testmetodik som kan ligga till grund för fortsatt utveckling av maskinutrustning och blandningsverktyg.

Metod och försöksupplägg

Rapporten presenterar en enkel metodik för studie av inverkan av faktorer i blandningsprocessen. Huvudsyftet med den föreslagna testmetodiken är att i en och samma studie kunna analysera ett antal inverkan av faktorer. Metodiken kan i korthet beskrivas på följande sätt:

1. Testpelare installeras med de kombinationer av de faktorer i blandningsprocessen som avses studeras. Varje kombination installeras med dubbel- eller trippelpelare.
2. Samtliga testpelare schaktas fram till ett lämpligt djup och tvärsnittet testas med ett stort antal penetrometerförsök som kompletteras med okulära besiktningar.
3. Resultaten från penetrometerförsöken utvärderas statistiskt med flerkorrelationsanalyser.

Testmetodiken är emellertid behäftad med ett antal väsentliga begränsningar:

- Pelarna testas med avseende på hållfasthetsfördelningen över pelartvärsnitt. Metoden testar inte fördelningen över pelarlängden.
- Pelare testas på en grund nivå eftersom framschaktningens djupet medför begränsningar.
- Penetrometerförsök utförs på pelare med relativt låg hållfasthet med avseende på en osäker brottmekanism och det manuella provningsförfarandet.

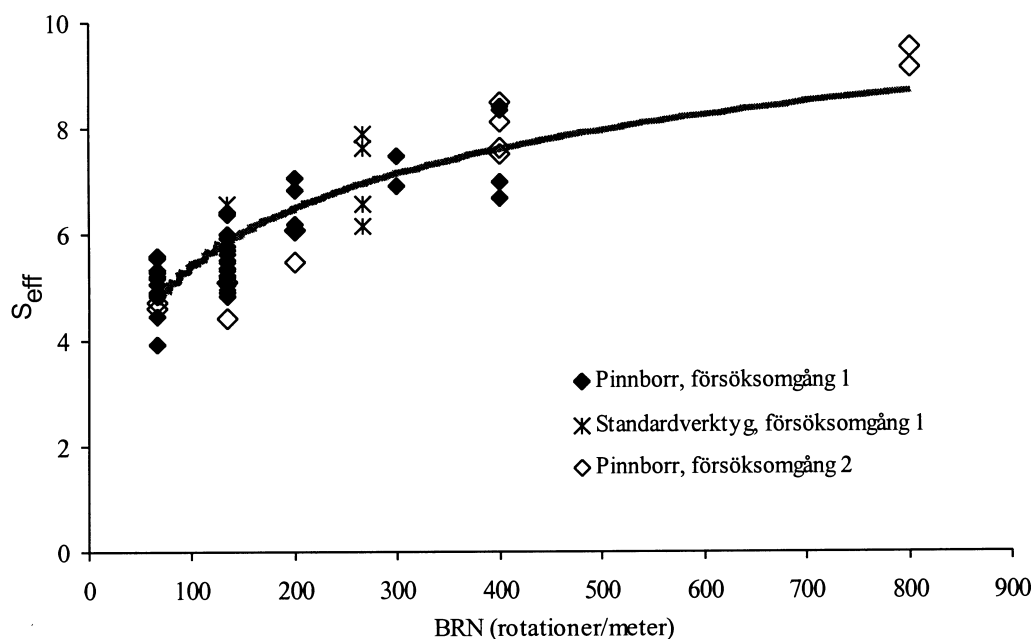
Rapporten presenterar resultat från en fältstudie i Håby utanför Uddevalla där inverkan av ett flertal faktorer analyserats med hjälp av statistiska flervariabelanalyser. Försöken utfördes i en lokal med bindemedelssammansättningen kalk/cement 50/50 % och bindemedelsmängden 28 kg per meter pelare. Totalt testades 98 pelare på två närliggande nivåer med ett antal penetrometerförsök. De studerade faktorerna är:

- Stigningen på blandningsverktyget som valts till 15 och 30 mm/varv.
- Rotationshastigheten som valts till 80 och 160 mm/varv.
- Antalet vingar på ett blandningsverktyg. För detta syfte har verktyget ”Pinnborr” studerats genom att variera antalet vingar till 0, 1, 2, 3 och 6 vingar. En jämförelse har även utförts med ett standardverktyg.
- Tanktrycket som valts till 3,5 och 5 bar.
- Munstyckets diameter som valts till 22 och 37 mm.

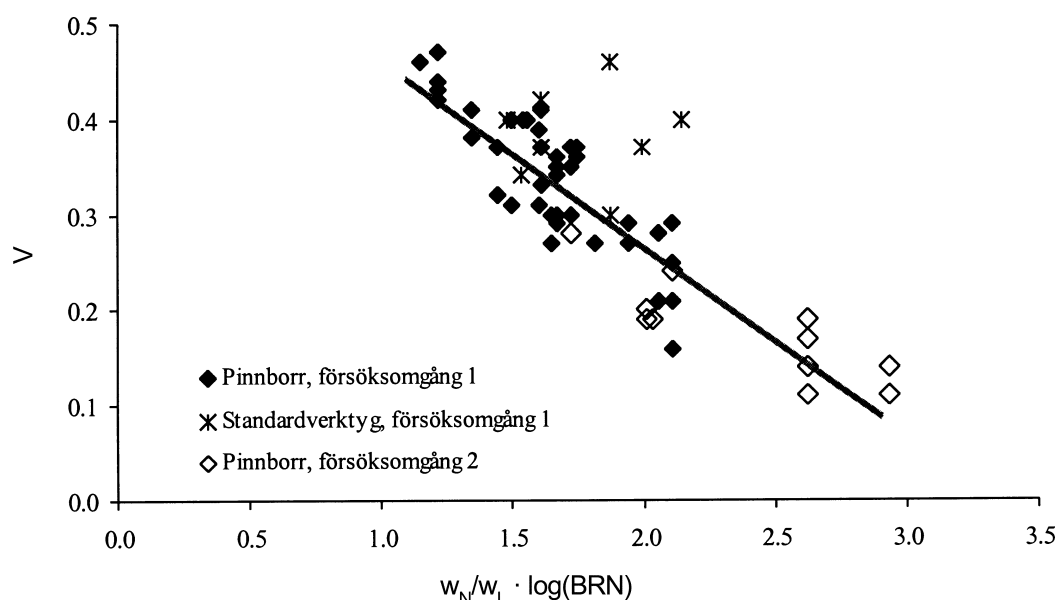
Resultat

Baserat på förstärkningseffekten och variationskoefficienten har inverkan faktorer studerats med statistiska flervariabelanalyser. Följande slutsatser kan dras av försöken.

- Försöken visar att det är möjligt att på ett enkelt och kostnadseffektivt sätt, studera inverkan av olika faktorer i blandningsprocessen.
- Det övre vingparet har en signifikant och betydande inverkan på bindemedelsspridningen. Detta visar att bindemedlet sprids i den kavitet som vingparet bildar vid rotation.
- Studien av de pelare som tillverkades utan vingar visade att pneumatisk spräckning av jorden har en underordnad inverkan på bindemedelsspridningen.
- Varken rotationshastigheten eller munstyckets storlek har någon signifikant inverkan på magnituden eller spridningen på hållfastheten.
- Stigningen och antalet vingpar har en signifikant inverkan på både magnituden och spridningen på hållfastheten. Studien indikerar att förstärkningseffekten och variationskoefficienten beror approximativt linjärt av logaritmen på antalet rotationer per meter pelare enligt Figur S1 och S2. En 10-faldig ökning av antalet rotationer per meter pelare fördubblar förstärkningseffekten och halverar variationskoefficienten.
- Jordens reologiska egenskaper har en signifikant inverkan på spridningen i hållfasthet. En empirisk anpassning av försöksresultaten indikerar att variationskoefficienten beror av kvoten mellan den naturliga vattenkvoten och flytgränsen enligt Figur S2.



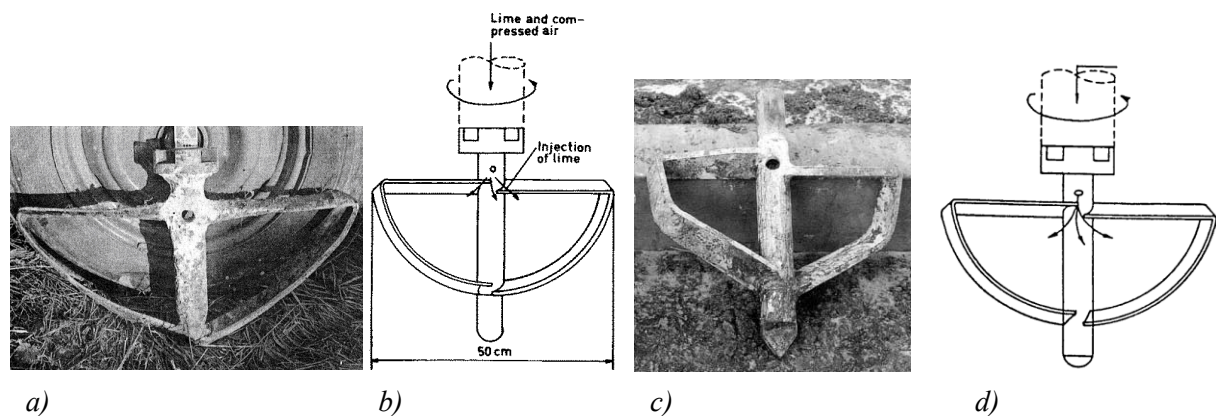
Figur S1. Förstärkningseffekten S_{eff} som funktion av antalet rotationer per meter pelare BRN.



Figur S2. Variationskoefficienten V som funktion av kvoten mellan vattenkvoten och flytgränsen gånger logaritmen på antalet rotationer per meter pelare $w_N/w_L \cdot \log(\text{BRN})$.

Inledning

Kalkpelarmetoden introducerades på 1970-talet i Sverige, men utvecklingen satte fart först i slutet av 1980-talet, i samband med en större infrastruktursatsning. Utvecklingen har främst inriktats på nya bindemedel och kombinationer av bindemedel, större och kraftigare maskiner som gett möjlighet till längre pelare och större pelardiametrar samt högre kapaciteter. Denna utveckling har lett till vidgade tillämpningsområden och metoden är idag den i Sverige mest använda jordförstärkningsmetoden för att reducera sättningar och förbättra stabiliteten för främst väg- och järnvägsbankar. Blandningsprocessen (in-situ) är dock i princip mycket lika den ursprungliga processen från mitten av 1970-talet. Blandningsredskapen har inte utvecklats i någon större utsträckning sedan ett antal olika typer provades ut under slutet av 1970-talet, Figur 1.



Figur 1. Utvecklingen av standardverktyget i Sverige.

- a) Blandningsverktyg från början av 1970-talet (Boman & Broms 1975).
- b) Verktyg från en studie där munstyckets placering testades (Broms et al. 1978)
- c) Standardverktyget från fältförsöken i Håby.
- d) Normalverktyg enl. Carlsten (2000).

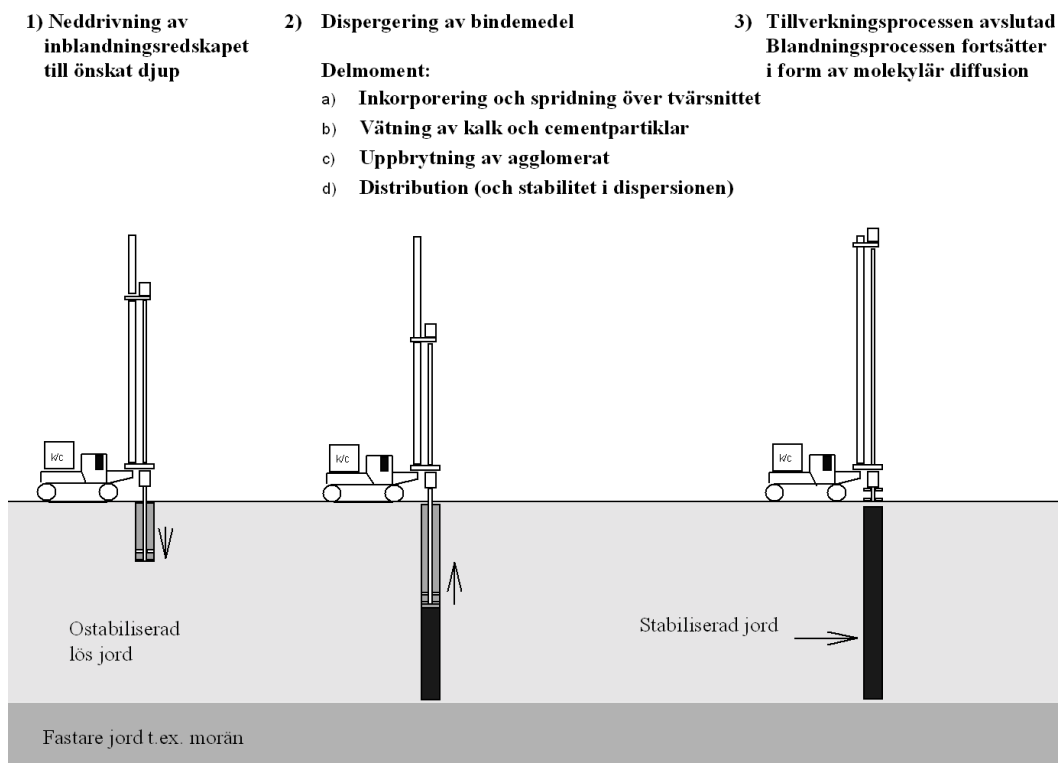
Det har skrivits mängder av allmänna beskrivningar av metoden under årens lopp, speciellt i samband med konferenser. Uppsatserna har behandlat applikationer, stabiliserad jords egenskaper, dimensionering/konstruktion, kontrollmetoder och utrustningar. Trots en stor mängd litteratur avseende "deep mixing" är det få uppsatser som behandlar blandningsprocessen (in-situ) och installationstekniken. Dessutom är de fåtal försök som utförts avseende inverkan av olika faktorer i blandningsprocessen relativt begränsade till sin omfattning och det är svårt att utifrån dessa dra generella slutsatser. Framförallt Japanska erfarenheter och studier av olika faktorer i blandningsprocessen finns sammanställda och diskuterade av Yoshizawa et al. (1997) och Porbaha et al. (2001). Motsvarande svenska erfarenheter är sammanställda och diskuterade av Bredenberg (1999) och Larsson (1999, 2000).

Det saknas idag en enkel och tillförlitlig testmetodik där inverkan av ett flertal faktorer i blandningsprocessen kan testas och studeras. Entreprenörer har idag ett stort behov av en testmetodik som kan ligga till grund för fortsatt utveckling av maskinutrustning och blandningsredskap. För konstruktörer, beställare, materialleverantörer och forskare finns också ett behov av en testmetodik. Detta främst i syfte att studera inverkan av faktorer på blandningsprocessen såsom jordens egenskaper och utveckling av olika typer av bindemedel.

Rapporten presenterar en enkel metodik för studie av blandningsprocessen med avseende på hållfasthetsfördelningen över pelartvärnsnitt där ett flertal inverkande faktorer kan studeras samtidigt. Försöksmetodiken är använd i samband med ett fältförsök i Håby utanför Uddevalla, där inverkan av ett flertal faktorer i blandningsprocessen analyserats med hjälp av statistiska metoder. Totalt testades 98 pelare i två försöksomgångar. Studien har omfattat en analys av inverkan av blandningsverktygets utformning, stigningen, rotationshastigheten, munstyckets diameter och tanktrycket. Resultat från ett stort antal penetrometerförsök på framschaktade pelartvärnsnitt är behandlade med flerfaktoranalys (variansanalys). De statistiska analyserna är kompletterade med okulära besiktningar.

Inverkande faktorer och tidigare erfarenheter

Precis som för alla material så beror egenskaperna i stabiliserad jord av dess mikrostruktur. Mikrostrukturen bestäms av sammansättningen, förhållandena under tillväxtperioden, men också av blandningsprocessen. Blandningsprocessen vid djupstabilisering med kalkcementpelare (Figur 2) är mycket komplex med ett stort antal faktorer som påverkar processen och dess resultat. Kunskapen om faktorernas inverkan och samspelet mellan olika faktorer är idag begränsad då det saknas omfattande studier både i Sverige och i övriga världen. Orsaker till detta är att kunskapen avseende de grundläggande blandningsmekanismerna är begränsade och att det idag saknas tillförlitlig testmetodik. Den främsta orsaken är dock sannolikt att det är mycket kostsamt att utföra fältstudier. Andra bidragande orsaker är att det i Sverige saknas incitament att utveckla nya blandningsverktyg och att diskussionen avseende blandningskvalitet inte aktualiserats förrän under 1990-talet.



Figur 2. Blandningsprocessen vid djupstabilisering med kalkcementpelare (efter Larsson 2000).

I samband med studier av blandningsprocessen finns det ett antal önskemål avseende försöksmetodiken och de faktorer som bör beaktas:

A. Inverkande faktorer i installationsprocessen studeras samtidigt, som:

- a) Blandningsverktygets geometriska utformning.
- b) Stigningen.
- c) Rotationshastigheten.
- d) Utmatningstrycket och mängden luft.
- e) Pelarmaskiner och förare.
- f) Belastningssituationen vid installationen.

B. Inverkan av andra faktorer studeras som:

- a) Jordens reologiska egenskaper.
- b) Olika bindemedelstyper och mängder.
- c) Spänningsförhållandet i jorden.

C. Test utförs med olika provningsmetoder.

D. Utvärderingarna sker med statistiska metoder för att underlätta analyseringen.

Listan över faktorer som kan och bör beaktas är således mycket lång och enskilda studier måste utföras med ett stort antal begränsningar. För entreprenören är det särskilt angeläget att studera faktorer under punkten A, d.v.s. faktorer som är direkt kopplade till installationsprocessen.

Det är idag väl känt att blandningsarbetet har inverkan på blandningsprocessen och bindemedelsspridningen och därmed på hållfastheten. Kunskaperna baseras främst på blandningsförsök i laboratorium och modellförsök (Chida 1982, Nishibayashi et al. 1984, Nishibayashi et al. 1985, Muro et al. 1987a, 1987b, Dong et al. 1996, Hayashi & Nishikawa 1999, Larsson et al. 1999, Aalto 2001). Endast ett fåtal studier har publicerats där försök utförts under fältförhållanden (Enami et al. 1986, Mizuno et al. 1988, Hayashi & Nishikawa 1999, Hansson et al. 2000). Det är dock fortfarande oklart hur blandningsarbetet inverkar på blandningsprocessen i olika jordar samt med olika typer av bindemedel under fältförhållanden.

Under 1970- och 1980-talet utfördes studier av blandningsverktygets geometriska utformning och dess inverkan på blandningsprocessen i Japan (Chida 1982, Nishibayashi et al. 1984, Nishibayashi et al. 1985) och i Sverige (Broms et al. 1978, Wikström 1979). Från och med 1990-talet har blandningsverktygets geometriska utformning främst studerats genom att testa verktyg mot varandra (t.ex. Dong et al. 1996, Johansson & Jons 1995, Al-Tabbaa & Evans 1999, Aalto & Perkiö 2000 och Aalto 2001). Det går emellertid inte att dra några generella slutsatser utifrån dessa studier.

Kunskapen om inverkan av rotationshastigheten är mycket begränsad liksom inverkan av utmatningstrycket och mängden luft. Då luft används för att leverera bindemedel har blandningsverktygets förmåga att packa jorden och evakuera luft ut ur jorden inverkan på blandningsprocessen. Mängden luft kan ha en betydande inverkan på hållfastheten och homogeniteten (Aalto 2001). Det har rapporterats resultat från studier där olika redskap och andra parametrar i installationsprocessen studerats i samband med fältförsök (t.ex. Hansson et al. 2000, Rogbeck et al. 2000, Nishibayashi et al. 1985). Inverkan av den belastningssituation som installationen ger upphov till är inte dokumenterad. Det finns heller inga publicerade studier som behandlar inverkan av kombinationer av inverkan av faktorer i blandningsprocessen.

Kunskapen om hur faktorer under punkt B påverkar blandningsprocessen är också begränsad till främst studier på laboratorium. Inverkan av jordens sensitivitet har studerats av Nishida et al. (1996). Inverkan av olika bindemedelstyper och mängder har studerats av Asano et al. (1996), Chida (1982), Matsuo et al. (1996) samt Nishibayashi et al. (1988). Molekylär diffusion har främst studerats i jorden utanför förstärkt jord, både i samband med fältförsök (Shen et al. 1997, Rogers et al. 2000) och i samband med laboratorieförsök (Mathew & Narasimha Rao 1997, Narasimha Rao & Rajasekaran 1996, Rajasekaran & Narasimha Rao 1997, Rogers & Glendinning 1994, 1997). Bindemedel kan dessutom spridas i omgivande jord genom sprickbildningar orsakade av blandningsverktyget och hydraulisk eller pneumatisk spräckning (Shen & Miura 1999).

En mer omfattande sammanställning av flertalet av ovan nämnda referenser och en diskussion kring påverkande faktorer finns sammanställd av Larsson (2000).

Val av lämplig provningsmetod

Blandningsprocessens huvudsakliga syfte är att dispergera bindemedlet likformigt i den volym som skall förstärkas. För att kunna analysera resultat vid studier av blandningsprocessen måste begreppet blandningskvalitet definieras. Utvärderingen av blandningskvaliteten kan dock vara svår och kostsam (Larsson 2001). Vid dessa utvärderingar bör man skilja på bindemedelsspridning och egenskaper i den förstärkta jorden eftersom egenskaper som hållfasthets- och deformationsegenskaper beror av fler faktorer än blandningsprocessen. Tillförlitliga utvärderingar av blandningskvaliteten med avseende på bindemedelsspridningen bör baseras på bindemedelsanalyser på prover tagna från olika delar av den stabiliserade jorden. Bindemedelsanalyser är dock mycket kostsamma och tidskrävande. Därför är dessa mindre lämpade som testmetod för praktiska studier av blandningsprocessen.

Det är viktigt att beakta skalan på testmetoden. Man bör fastslå en skala, där en volym med segregation av bindemedel (klumpar av oblandat bindemedel) uppfattas som ofullständigt blandad för en specificerad tillämpning. Testmetoden bör kunna detektera de klumpar av oblandat bindemedel som kan förekomma. Man bör fastslå skalan man avser då man påstår att det är spridning i bindemedelshalt eller hållfasthet. Som oftast, kanske utan att man tänker på det, är skalan förbunden till våra sinnen, i detta fall känseln och synen. Testmetoden bör ha en relativt liten skala och kunna utföras över hela pelartvärsnitt. Testning eller provtagning för utvärdering av blandningskvaliteten över hela pelarlängden kan endast utföras då hela pelare tas upp ur jorden. Processen är mycket kostsam och tidskrävande och inte praktiskt användbar för enklare studier av blandningsprocessen. Upptagning av hela pelare och provtagning för bindemedelsanalyser kan vara lämplig vid stora stabiliseringsprojekt, forsknings- och utvecklingsprojekt (Larsson 2001). Vid enklare studier kan testning och provtagning begränsas till framschaktade pelartvärsnitt på begränsat djup.

Kalkpelarsondering är olämplig som testmetod av blandningskvalitet. Det går inte att utvärdera bindemedelsspridningen eller en hållfasthetsfördelning över tvärsnittet eftersom sonden är för stor. Andra typer av sonderingsmetoder som CPT, trycksondering och vingförsök är också olämpliga eftersom det inte går att med säkerhet bestämma sondernas position över ett pelartvärsnitt. Det är dessutom inte möjligt att utföra ett större antal sonderingar i en pelare för att erhålla ett statistiskt underlag för utvärdering av blandningskvaliteten.

Studier av inverkan av faktorer i blandningsprocessen underlättas av att försöken läggs upp så att utvärderingen kan ske med statistiska metoder, exempelvis flerkorrelationsanalyser. Om ett flertal inverkan av faktorer varierar medför det att ett relativt stort antal pelare måste testas. Eftersom man kan förvänta relativt stor spridning i resultaten mellan pelare som tillverkats på samma sätt bör pelare med varje möjlig kombination av de studerade faktorerna installeras i dubbel- eller trippeltest.

Blandningskvaliteten kan exempelvis definieras som variationskoefficienten av en uppmätt parameter. Användandet av statistiska metoder för utvärdering av blandningskvaliteten kräver att ett stort antal tester görs, 20–40 test enligt Poux et al. (1991). Tabell 1 visar ett antal använda metoder i Sverige för testning och analyser på prover från pelartvärsnitt. För att ett stort antal tester och analyser skall kunna utföras på ett kostnadseffektivt, enkelt och snabbt sätt är fältpenetrometern lämplig. Vid penetrometerförsök är skalan liten och man kan därför förvänta sig relativt stora spridningar i resultaten från förstärkt jord. Detta gör metoden gynnsam då det är skillnader i blandningsprocessen som avses studeras. Försöken kompletteras lämpligen med en okulär besiktning och fotografering.

Tabell 1. Provningsmetoder för studie av hållfastheten och bindemedelsspridning på framschaktade pelartvärnsnitt.

Metod	Skala	Anm.
Fältpenetrometer	cm ³ (- dm ³)	Begränsat intervall. Om pelarna är hårda eller gryniga ger metoden inga eller missvisande resultat. Enkel, billig, osäker tillförlitlighet (manuellt handhavande). Broms & Boman (1975), Axelson & Larsson (1994), Johansson & Jons (1995), Tremblay (2000), Hansson et al. (2000), Axelsson (2001)
Fickvingsond	cm ³ (- dm ³)	Mycket begr. intervall. Oanvändbar för gryniga, fasta eller halvfasta pelare. Enkel, billig, osäker tillförlitlighet (manuellt handhavande). Axelson & Larsson (1994), Johansson & Jons (1995), Tremblay (2000)
Okulär besiktning	cm ³ -	Det visuella bilden speglar inte nödvändigtvis bindemedelsspridningen. Enkel, billig, låg tillförlitlighet. Axelson & Larsson (1994), Johansson & Jons (1995), Axelsson (2001), Tremblay (2000), Hansson et al. (2000), Holm et al. (1999)
Provkroppar, enaxliga tryckförsök el. likn.	dm ³	Ger inte möjlighet till slupmässig provtagning. Många störningsmoment från provtagning till provtryckning. Svårt, dyrt, osäker tillförlitlighet. Axelson & Larsson (1994), Johansson & Jons (1995), Tremblay (2000), Hansson et al. (2000), Axelsson (2001)
Provkroppar, kemisk analys (CaO)	valfri	Mäter direkt bindemedelshalten. Tillförlitlig. Enkelt men dyrt. Johansson & Jons (1995), Tränk & Johnson (1997), Hansson et al. (2000), Axelsson (2001), Larsson (2000, 2001)
Provkroppar, pH	valfri	Olämplig. pH-värdet stiger till ca. 12,4 redan vid mycket små bindemedelsmängder. Kan bara svara på frågan om det överhuvudtaget finns bindemedel eller inte. Larsson (2000)

Metodiken i huvuddrag

Allmänt

Huvudsyftet med den föreslagna testmetodiken är att i en och samma studie kunna analysera ett antal inverkande faktorer. Av dessa vill man kunna identifiera den eller de faktorer som har en signifikant inverkan på blandningsprocessen. Den föreslagna testmetodiken kan i korthet beskrivas på följande sätt:

1. Testpelare installeras med de kombinationer av de faktorer i blandningsprocessen som avses studeras. Varje kombination installeras med dubbel- eller trippelpelare.
2. Samtliga testpelare schaktas fram till ett lämpligt djup och tvärsnittet testas med ett stort antal penetrometerförsök som kompletteras med okulära besiktningar.
3. Resultaten från penetrometerförsöken utvärderas statistiskt med flerkfaktoranalyser.

Penetrometerförsök

En fältpenetrometer består av en fjäderbelastad cylinder, som med handkraft pressas in i pelarmaterialet. Penetrometern används för en relativ jämförelse av hållfasthet. Penetrometerförsöken utvärderas med avseende på tryckhållfastheten och variationskoefficienten över pelartvårsnitt. Hållfastheten har valts att redovisas som förstärkningseffekten, S_{eff} definierad som

$$S_{eff} = \frac{q_{pelare}}{q_{jord}} \quad (1)$$

där q_{pelare} är den utvärderade tryckhållfastheten i pelaren och q_{jord} är den utvärderade tryckhållfastheten i den omgivande oförstärkta jorden. Tryckhållfastheten kan utifrån penetrometerförsöken uttryckas enligt en bärighetsekvation, som

$$q = \frac{1}{N} \times \frac{k \times \bar{\delta}}{A} \quad (2)$$

där N är en bärighetsfaktor, k är fjäderkonstanten, A är cylinderarean och $\bar{\delta}$ är fjäderdeformationen i medeltal utvärderad som

$$\bar{\delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i \quad (3)$$

där δ_i är fjäderdeformationen för resp. försök och n är antalet penetrometerförsök (≥ 20 st). Med antagandet att bärighetsfaktorn och fjäderkonstanten är konstant över hela fältpenetrometers mätintervall kan förstärkningseffekten S_{eff} uttryckas som

$$S_{eff} = \frac{\bar{\delta}_{pelare}}{\bar{\delta}_{jord}} \quad (4)$$

Genom att normalisera fjäderdeformationen i medeltal i den förstärkta jorden med fjäderdeformationen i medeltal i den oförstärkta jorden reduceras inverkan av variationer i jordens hållfasthetsegenskaper över provområdet.

Variationskoefficienten V utvärderas som

$$V = \frac{s}{\bar{\delta}} \quad (5)$$

där s är standardavvikelsen utvärderad som

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta_i - \bar{\delta})^2}{n-1}} \quad (6)$$

Penetrometerförsöken över resp. pelartvärnsnitt bör utföras slumpmässigt. Detta kan göras genom att dela in pelartvärnsnitten i ett antal lika stora fält och sedan lotta vilka av dessa som skall testas.

Tillförlitlighet och begränsningar

Utvärderingen av förstärkningseffekten och variationskoefficienten som mått på blandningskvaliteten innebär att man antar att det finns ett samband mellan bindemedelshalten och hållfastheten. Det finns starka samband som påvisats i laborieförsök (t.ex. Åhnberg et al 1995), men under fältförhållanden så beror hållfastheten också av en rad andra faktorer såsom packningsgrad, temperatur, konsolideringsspanning och jordens kemiska sammansättning. Faktorer som inte nödvändigtvis har en signifikant eller stor inverkan på både blandningsprocessen (bindemedelsspridningen) och hållfastheten. Det är således osäkert och grovt antaget att hållfastheten är direkt proportionell mot bindemedelshalten.

Pelarna schaktas fram och testas med avseende på hållfasthetsfördelningen över tvärsnittet på en relativt grund nivå, vilket innebär att fördelningen över pelarlängden är okänd. På små djup kan spridningen i jordens egenskaper vara stor. Dessutom kan låga mottryck från omgivande jord och jordens möjlighet att röra sig i vertikalled påverka bindemedelsspridningen. Egenskaperna i pelare kan skilja avsevärt med pelarlängden (t.ex. Axelsson 2001). Det är därför inte möjligt att utifrån den beskrivna testmetodiken bedöma pelarnas kvalitet med avseende på stabiliseringens funktion.

Penetrometerförsök kan endast utföras på pelare med relativt låg hållfasthet främst med avseende på en osäker brottmekanism. Penetrometerförsöken kan ge missvisande resultat om de utförs på pelare med hög hållfasthet eftersom pelarmaterialet är sprött och spjälkas upp vid försöket. Det manuella provningsförfarandet sätter också begränsningar med avseende på möjligheten att testa pelare. Det medför att pelarna bör testas relativt snabbt efter installationen.

Den från penetrometerförsöken utvärderade variationskoefficienten $V_{utvärderad}$ innehåller en spridning som är sammansatt av en rad faktorer. Med antagandet att fel orsakade av framschaktningen, penetromern och testproceduren är oberoende av varandra kan variationskoefficienten $V_{utvärderad}$ utifrån försöksresultaten tecknas som

$$V_{utvärderad} = V_{blandning} + V_{penetrometer} + V_{schakt} \quad (7)$$

där $V_{\text{penetrometer}}$ och V_{schakt} är variationskoefficienten avseende på fel beroende på penetrometern och testproceduren respektive fel beroende på framschaktningen av pelarna. $V_{\text{blandning}}$ är variationskoefficienten beroende på ofullständig blandning. Den variationskoefficient som erhålls från ett antal penetrometerförsök ($V_{\text{utvärderad}}$) är således större än den variationskoefficient som återspeglar spridningen i hållfasthet på grund av ofullständig blandning ($V_{\text{blandning}}$). Det har inte utförts några försök för att bestämma storleken på de olika varianserna i samband med denna studie. Bidraget från framschaktningen, testproceduren och penetrometern kan vara stort vilket medför att tillförlitligheten hos penetrometerförsöken måste anses vara relativt dålig. Detta kompenseras med stora försöksserier och stöd från den okulära besiktningen. Dessutom måste tillförlitligheten avvägas mot projektets syfte i förhållande till kostnad för en mer tillförlitlig metod.

Statistisk analys

Flerfaktoranalys utgör ett redskap för förståelsen av komplexa fysikaliska fenomen och processer. Huvudinslaget är att man samtidigt (i en studie) kan studera alla ingående variablers systematiska variation, d.v.s. om det finns någon signifikant skillnad mellan medelvärdena för de uppmätta parametrarna. Man kan studera hur inverkan av mer än en faktor påverkar systemet. Om försöken syftar till att studera ett flertal faktorer och deras inbördes inverkan utförs en ”**flerfaktoranalys**”. Det är vanligt att utföra försöken där varje faktor varieras i endast två steg för att minimera antalet försök. Antalet försök ökar mångfalt med antalet steg för varje faktor. Om varje studerad faktor varieras i två steg utförs en ”**2ⁿ-faktoranalys**”. Det innebär att storleken på provserien är $r \times 2^n$, där n är antalet studerade faktorer och $r = 2$ om dubbelprover utförs. Om man exempelvis vill studera 5 olika faktorer blir antalet prov $2 \times 2^5 = 64$ prov. En nackdel med 2ⁿ-faktoranalysen är att eftersom varje faktor i analysen endast mäts vid två nivåer är det omöjligt att bedöma om effekten på grund av variationer är linjär, parabolisk eller exponentiell. Av denna orsak används normalt 2ⁿ-faktoranalysen endast som ett utsortande test. Uppföljning utförs sedan med test av de faktorer som funnits vara signifikanta, som testas vid flera nivåer.

Testerna går i princip ut på att försöka förkasta uppställda hypoteser. De uppställda noll-hypoteserna är normalt att de studerade faktorerna och dess kombinationer *inte* har någon signifikant inverkan med avseende på den studerade parametern, exempelvis variationskoefficienten. Flerfaktoranalys utförs med variansanalyser och signifikanstest, normalt med 95 % konfidens, d.v.s. noll-hypotesen kan förkastas och man är 95 % säker på att den avsedda faktorn eller en kombination av faktorer har inverkan avseende den studerade parametern. I samband med fältförsök är det dock svårt att ha kontroll över alla tänkbara yttre omständigheter och påverkande faktorer. De statistiska analyserna kan därför ge oväntade och inkorrekta resultat speciellt avseende kombinationer av inverkan av faktorer. I samband med statistiska analyser är det därför viktigt att utföra ett flertal analyser och att utföra dessa under skiftande förhållanden.

2ⁿ-faktoranalysen utförs med en variationsanalys enligt Yates’ metod, Johnson (1994). Modell och analysförfarande kan studeras i läroböcker för tillämpad statistik, exempelvis Johnson (1994).

Fältförsök

Provfältet

Provfältet är lokaliserat i Håby strax norr om Munkedal ca 2 mil norr om Uddevalla, intill motorvägsbygget E6 mellan Uddevalla och Svinesund. Provytan var 25 x 25 m². Jordens hållfasthetsegenskaper på testnivåerna, 2 respektive 2,3 m under markytan, utvärderades med konförsök på upptagna ostörda jordprover och fältpenetrometer. Intill ca var femte pelare utfördes ett tiotal penetrometerförsök på båda testnivåerna. Den relativa hållfastheten över provytan från utvärderade penetrometerförsök visas i Figur 3. Laboratorieresultat från ostörda jordprover (11st) redovisas i Tabell 2. Provtagningarnas läge framgår av Figur 3.

Studerade faktorer

Fältstudien begränsades till ett antal faktorer som är direkt kopplade till maskinutrustningen och dispergeringsprocessen. De studerade faktorerna är:

- Stigningen på blandningsverktyget som valts till 15 och 30 mm/varv.
- Rotationshastigheten som valts till 80 och 160 mm/varv.
- Antalet vingpar på ett blandningsverktyg. För detta syfte har verktyget ”Pinnborr” studerats genom att variera antalet vingpar till 0, 1, 2, 3 och 6 vingpar (Figur 4 och 5). En jämförelse har även utförts med ett standardverktyg (Figur 5a).
- Tanktrycket som valts till 3,5 och 5 bar.
- Munstyckets diameter som valts till 22 och 37 mm.

Övriga faktorer som inte är relaterade till maskinutrustningen har i största möjliga mån hållits konstanta. Till dessa hör bindemedelstyp och mängd bindemedel samt jordens reologiska egenskaper. Bindemedelssammansättningen och mängden valdes lika som för det angränsande stabiliseringsprojektet, d.v.s. kalk-cement 50/50 % och 28 kg bindemedel per meter pelare (motsvarar ca 100 kg/m³ stabiliserad jord). För att underlätta den okulära besiktningen användes Vitcement. Pelardiametern var 600 mm för pelare tillverkade med blandningsverktyg och pelarlängden var 5–7 m.

Försökens upplägg

Testpelare installerades och testades vid två tillfällen, försöksomgång 1 och 2. Vid försöksomgång 1 installerades 100 pelare varav 82 testades (pelarrad 1–4). För att validera resultat och utöka studien installerades 23 pelare, varav 16 testades vid försöksomgång 2 (pelarrad 5). Samtliga testpelares placering över testområdet redovisas i Figur 3 och installationsdata för resp. pelare redovisas i Tabell 8 och 9.

Försöksomgång 1

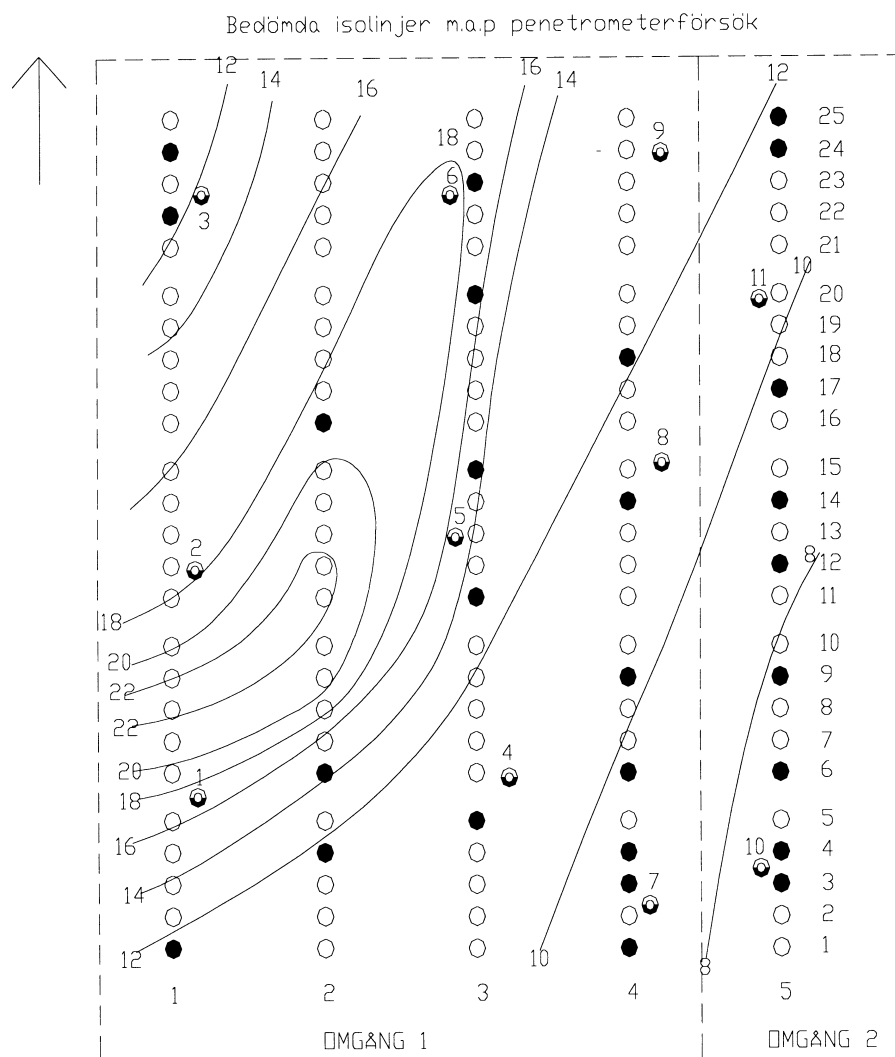
För att studera det tidiga skedet i dispergeringsprocessen installerades pelare där faktorerna enligt Tabell 3 varierades. Faktorerna varierades i två steg, låg resp. hög nivå. Den första 2ⁿ-faktoranalysen, ”Test 1, Huvudserien”, omfattar 62 st pelare. För test 1 användes 4 blandningsredskap, Figur 4.

Den andra provpelarserien, ”Test 2, Standardverktyget - Pinnborret” omfattade 18 st provpelare. Dessa installerades med faktorerna enligt Tabell 4. Figur 5a visar de använda blandningsredskapen för Test 2.

Utifrån resultat från den första försöksomgången genomfördes en tredje analys, ”Test 3, ett resp. tre vingpar”. Analysen omfattade 18 st provpelare med faktorerna enligt Tabell 5. Provpelarna som omfattas i Test 2 och Test 3 är tillverkade med tanktrycket 5,5 bar och med munstycke ϕ 37 mm.

Tabell 2. Sammanställning av laboratorieundersökningar på ostörda jordprover.

Nr	Benämning	ρ (t/m ³)	w_N (%)	w_L (%)	w_p	S_t	τ_f (kPa)	Anm
1	Grå lågsensitiv halvfast lera	1.81	45	58	25	4	38	rotträdar
2	Mörkgrå lågesnsitiv halvfast lera	1.68	53	73	32	3	40	svartmocka
3	Grå sulfidfläckig lågsensitiv halvfast lera.	1.75	53	62	22	9	27	
4	Grå mellansensitiv lös lera	1.68	67	65	26	14	17	
5	Grå lågsensitiv halvfast lera	1.78	38	46	23	5	45	rotträdar
6	Grå lågsensitiv halvfast lera	1.82	41	53	22	3	40	rotträdar
7	Grå lågsensitiv lös lera	1.66	65	63	23	9	22	snäckskal
8	Grå mellansensitiv lös lera	1.68	58	60	24	11	19	snäckskal
9	Grå mellansensitiv lös lera	1.72	56	60	23	12	26	snäckskal
10	Grå mellansensitiv lös lera	1.65	70	64	23	18	16	
11	Grå mellansensitiv lös lera	1.65	63	63	24	20	21	



Figur 3. Plan över provpelarområdet och provpelarna.



a)



b)

Figur 4. Blandningsverktygen i Test 1, "Huvudserien".

a) Verkt yg utan vingar och b) verkt yg med ett vingpar (tv   blad).



a)



b)

Figur 5. a) Pinnborret resp. Standardverkt yet. b) Pinnborret f rsett med sex vingpar (12 blad).

Tabell 3. Test 1, Huvudserien, med- utan övervingar (2^5 -faktoranalys).

Faktor	Låg nivå	Hög nivå
Med/utan övervingar	utan	med
Munstykke (mm)	22	37
Tanktryck (bar)	3,5	5,5
Stigning (mm/varv)	15	30
Rotationshastighet (varv/min)	80	160

Tabell 4. Test 2, Standardverktyget – Pinnborret (2^3 -faktoranalys).

Faktor	Låg nivå	Hög nivå
Verktyg	Standard (4 blad)	Pinnborr (6 blad)
Stigning (mm/varv)	15	30
Rotationshastighet (varv/min)	80	160

Tabell 5. Test 3, Ett resp. tre vingpar (2^3 -faktoranalys).

Faktor	Låg nivå	Hög nivå
Verktyg	ett vingpar (2 blad)	tre vingpar (6 blad)
Stigning (mm/varv)	15	30
Rotationshastighet (varv/min)	80	160

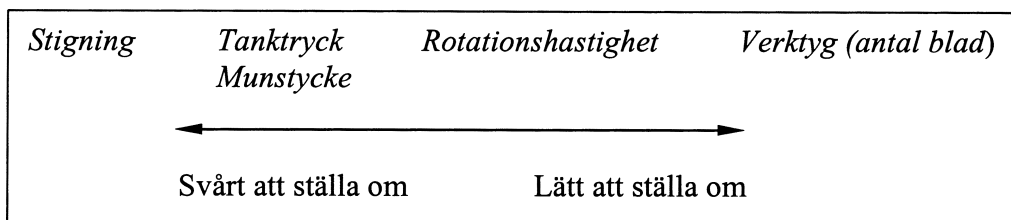
Tabell 6. Test 4, Ett, två, tre resp. sex vingpar (två-faktoranalys).

Faktor				
Verktyg	6 vingpar (12 blad)	3 vingpar (6 blad)	2 vingpar (4 blad)	1 vingpar (2 blad)
Stigning (mm/varv)	15	30		

Tabell 7. Test 5, Ett, tre resp. sex vingpar (två-faktoranalys).

Faktor			
Verktyg	6 vingpar	3 vingpar	1 vingpar
Stigning (mm/varv)	15	30	

Installationen av testpelarna skedde inte slumpmässigt eftersom det är relativt svårt att snabbt ställa om installationsprocessen utan att orsaka störningar i bindemedelsdistributionen. Nedan visas schematiskt hur de studerade parametrarna påverkar maskinprocessen och bindemedelsdistributionen (för den aktuella maskintypen, Figur 6).



Figur 6. Pelarmaskin, LCM.

För att minimera antalet pelare utan att få driftstörningar installerades alla pelare så att stigningen och tanktrycket varierades så lite som möjligt. Installationsordningen enligt denna modell medförde att mycket få pelare föll ur testserierna på grund av fel bindemedelsmängd eller fel rotationshastighet.

Försöksomgång 2

Vid försöksomgång 2 installerades 23 pelare. Analysen av försöksomgången omfattade test 4 med faktorerna enligt Tabell 6. För att vidare studera det övre vingparets inverkan på bindemedelsspridningen installerades pelare med blandningsverktyget ”Pinnborr” där det övre vingparet tagits bort. Blandningsverktyget är då försett med två vingpar där munstycket är placerat ca 20 cm ovanför det översta vingparet. För att vidare studera inverkan av antalet vingpar installerades pelare med ett ”dubbelt Pinnborr”, d.v.s. två hopsvetsade ”Pinnborr” som har 6 vingpar (12 blad), Figur 5b.

Test 5, enligt Tabell 7, omfattar en statistisk analys exklusive pelarna installerade med blandningsverktyg utan det övre vingparet.

Provning

Samtliga provningar har utförts en vecka efter installationen. Alla provpelare schaktades fram till nivåerna 2 m och 2,3 m under markytan, Figur 7a. För att kompensera för lokala variationer (i decimeterskala) i pelarens axiella riktning utfördes försöken på två pelarnivåer. Grovschakten utfördes med grävmaskin utrustad med planskopa. Innan provning planades varje pelartvärsnitt av för hand med en skyffel.

För att möjliggöra slumpvis testning med penetrometern tillverkades fyra mallar av plywood. Mallarna med diametern 600 mm delades in i rutor om 5 x 5 cm, vilket ger 104 hela fält. Av dessa 104 fält lottades 20 st ut för respektive mall där hål borrades med diametern 30 mm. I dessa 20 hål utfördes penetrometerförsöken. Vid provtagningstillfället lottades vilken av de fyra mallarna som skulle användas för respektive tvärsnitt. Totalt utfördes 2 x 20 penetrometerförsök i varje provpelare.

Alla penetrometerförsöken utfördes av en och samma person och med en och samma fältpenetrometer, Figur 7b. Penetrometern är försedd med en fjäderbelastad cylinder som pressas in i pelartvärsnittet ca 30 mm med handkraft. Penetrometern går att förse med cylindrar med olika diametrar för olika hållfasthetsintervall.



a)



b)

Figur 7. a) Framschaktning av provpelare b) Penetrometerförsök.

Okulär besiktning

För varje framschaktat pelartvärsnitt utfördes en okulär besiktning innan penetrometerförsöken påbörjades. Den okulära besiktningen omfattade fotografering samt några korta subjektiva nedtecknade kommentarer. Syftet med den okulära besiktningen är att den kan stödja eller motsäga resultaten från penetrometerförsöken eftersom de utfördes oberoende varandra. En okulär besiktning har ensamt en mycket dålig tillförlitlighet, då den endast utgör en subjektiv bedömning.

Resultat och diskussion

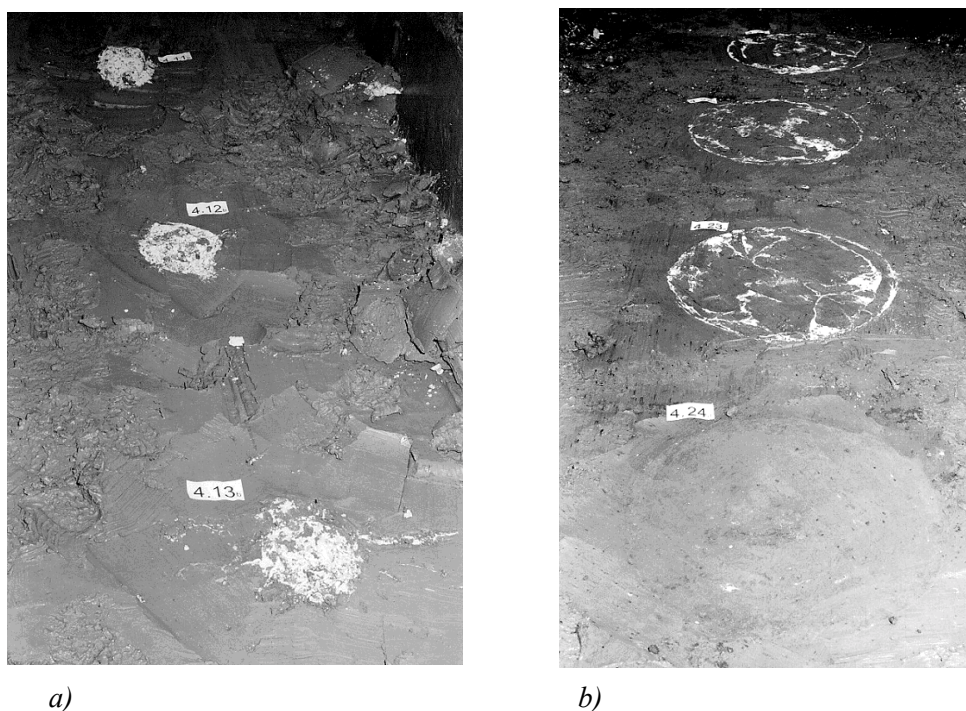
Allmänt

Diskussionen gäller för de förutsättningar som rådde vid försöken. Om en faktor påstås t.ex. ha en signifikant inverkan på blandningsprocessen gäller detta påstående endast för de parametrar, intervall och kombinationer som testades i den aktuella jorden.

De studerade faktorerna behandlas var för sig vilket innebär att diskussionen återkommer ett antal gånger till de olika flerfaktoranalyserna. Tabell 8 och 9 redovisar resultaten från alla penetrometerförsök. Resultaten från de statistiska flerfaktoranalyserna redovisas i Tabell 10–14. De resultat (F-fördelning) som i tabellerna är markerade med fet stil är signifikanta för 95 % sannolikhet.

Det övre vingparet

Huvudserien (Test 1) omfattade 64 pelare tillverkade med verktyg utan vingar och med verktyg med ett vingpar. Den okulära besiktningen visade tydligt att de 32 pelare som tillverkades utan vingar hade ett helt annat utseende än de pelare som tillverkades med ett vingpar, Figur 8. I dessa pelartvårsnitt utfördes inga penetrometerförsök, då den inre kärnan var mycket hård eller i pulverform (enbart bindemedel). Penetrometerförsök i dessa pelare ger missvisande resultat eftersom hållfastheten inte motsvarar bindemedelsmängden. Den okulära besiktningen kunde dock klart visa att det övre vingparet har en signifikant inverkan på bindemedelsspridningen över tvärsnittet. Luftstrålen har expanderat alternativt ”fräst” ut ett hålrum med diametern 10–20 cm som var fyllt med bindemedel. I några av pelarna var bindemedlet fortfarande torrt och i pulverform, vilket gjorde att det var möjligt att gräva ur bindemedlet med händerna. Vid tillverkningen av flertalet av dessa pelare kom bindemedel upp längs Kelley-stången. Det kan vara den kvadratisk formade Kelley-stången som skapar en evakueringskanal där luften leds upp ur marken. Tanktrycket var 3,5 resp. 5,5 bar vilket skall jämföras med att jordens skjuvhållfasthet plus in-situ spänningen är i storleksordningen 20–90 kPa på de testade nivåerna.



Figur 8. a) Exempel på pelare tillverkade utan vingpar. b) Till höger en rad pelare tillverkade med Standardverktyget och Pinnborret (pelaren närmast).

Tabell 8. Utvärderade resultat från penetrometerförsök i pelare tillverkade med ett vingpar.

Rad	Nr	Stign. (mm/varv)	BRN (rotationer/m)	Rot. hast. (varv/min)	Utbl. (mm)	Tanktr (bar)	$\bar{\delta}$ pelare (mm)	$\bar{\delta}$ jord (mm)	V	$\frac{w_N}{w_L}$ ¹⁾	S_{eff}	$\frac{w_N}{w_L} \cdot V$
1	6	15	133	160	37	5,5	128	20	0,38	0,63	6,4	0,24
	7	15	133	160	37	5,5	110	20	0,41	0,63	5,5	0,26
	8	15	133	160	22	5,5	132	22	0,44	0,57	6,0	0,25
	9	15	133	160	22	5,5	138	23	0,46	0,54	6,0	0,25
	18	15	133	160	22	3,5	90	14	0,36	0,82	6,4	0,30
	19	15	133	160	22	3,5	80	14	0,37	0,82	5,7	0,30
	20	15	133	160	37	3,5	73	13	0,27	0,85	5,6	0,23
	21	15	133	160	37	3,5	53	11	0,27	0,92	4,8	0,25
	23	15	133	80	37	3,5	65	11	0,29	0,92	5,9	0,27
2	25	15	133	80	37	3,5	70	11	0,29	0,92	6,4	0,27
	11	15	133	80	37	5,5	108	22	0,42	0,57	4,9	0,24
	12	15	133	80	37	5,5	132	22	0,43	0,57	6,0	0,25
	13	15	133	80	22	5,5	118	22	0,47	0,57	5,4	0,27
	14	15	133	80	22	5,5	104	20	0,38	0,63	5,2	0,24
	24	15	133	80	22	3,5	81	16	0,41	0,76	5,1	0,31
3	25	15	133	80	22	3,5	98	16	0,40	0,73	5,8	0,29
	1	30	67	80	37	5,5	54	11	0,35	0,92	4,9	0,32
	2	30	67	80	37	5,5	54	11	0,36	0,92	4,9	0,33
	3	30	67	80	22	5,5	54	11	0,29	0,92	4,9	0,27
	4	30	67	80	22	5,5	61	11	0,34	0,92	5,5	0,31
	16	30	67	160	22	5,5	55	14	0,40	0,82	3,9	0,33
	17	30	67	160	22	5,5	68	14	0,31	0,82	4,9	0,25
	18	30	67	160	37	5,5	76	15	0,37	0,79	5,1	0,29
4	19	30	67	160	37	5,5	67	15	0,32	0,79	4,5	0,25
	2	30	67	160	37	3,5	52	10	0,35	0,95	5,2	0,33
	5	30	67	160	37	3,5	56	10	0,3	0,95	5,6	0,28
	7	30	67	160	22	3,5	53	10	0,37	0,95	5,3	0,35
	8	30	67	160	22	3,5	61	11	0,30	0,92	5,5	0,27
	20	30	67	80	22	3,5	64	12	0,33	0,88	5,3	0,29
	21	30	67	80	22	3,5	62	12	0,37	0,88	5,2	0,33
	22	30	67	80	37	3,5	63	13	0,40	0,85	4,8	0,38
	23	30	67	80	37	3,5	69	14	0,40	0,85	5,3	0,34

¹⁾ Kvoten w_N / w_L är utvärderad genom interpolation av resultat från laboratorieförsök, Tabell 2.

Tabell 9. Utvärderade resultat från penetrometerförsök i pelare tillverkade med standardverktyget resp. pinnborret.

Rad	Nr	Stign (mm/varv)	BRN (rot/m)	Rot. hast. (varv/min)	Verktyg	$\bar{d}$ pelare (mm)	$\bar{d}$ jord (mm)	V	$\frac{w_N}{w_L}$ ¹⁾	S_{eff}	$\frac{w_N}{w_L} \cdot V$
1	2	15	267	160	Std	74	12	0,40	0,88	6,2	0,35
	3	15	267	160	Std	92	14	0,37	0,82	6,6	0,30
	4	15	400	160	Pinnb.	125	15	0,21	0,79	8,3	0,17
	5	15	400	160	Pinnb.	100	15	0,28	0,79	6,7	0,22
2	1	30	200	80	Pinnb.	68	11	0,29	0,92	6,2	0,27
	2	30	200	80	Pinnb.	67	11	0,25	0,92	6,1	0,23
	3	30	133	80	Std	62	12	0,46	0,88	5,2	0,41
	5	30	133	80	Std	61	12	0,30	0,88	5,1	0,27
	7	15	267	80	Std	145	19	0,37	0,66	7,6	0,25
	8	15	267	80	Std	158	20	0,34	0,63	7,9	0,22
	9	15	400	80	Pinnb.	168	20	0,27	0,63	8,4	0,17
	10	15	400	80	Pinnb.	140	20	0,30	0,63	7,0	0,19
3	21	30	200	160	Pinnb.	123	18	0,39	0,70	6,8	0,27
	22	30	200	160	Pinnb.	127	18	0,31	0,70	7,1	0,22
	24	30	133	160	Std	118	18	0,4	0,70	6,6	0,28
	25	30	133	160	Std	85	16	0,42	0,76	5,3	0,32
4	24	20	300	160	Pinnb.	90	13	0,21	0,85	6,9	0,18
	25	20	300	160	Pinnb.	97	13	0,16	0,85	7,5	0,14
5	1	30	400	160	2 Pinnb.	60	8	0,19	1,00	7,5	0,19
	2	30	400	160	2 Pinnb.	68	8	0,11	1,00	8,5	0,11
	5	15	800	160	2 Pinnb.	76	8	0,11	1,00	9,5	0,11
	7	15	800	160	2 Pinnb.	73	8	0,14	1,00	9,1	0,14
	8	15	400	160	Pinnb.	61	8	0,14	1,00	7,6	0,14
	10	15	400	160	Pinnb.	65	8	0,17	1,00	8,1	0,17
	11	15	267	160	Underv	43	9	0,48	0,97	4,8	0,47
	13	15	267	160	Underv	38	9	0,62	0,97	4,2	0,61
	15	15	133	160	Överv	51	10	0,20	0,94	5,1	0,19
	16	15	133	160	Överv	44	10	0,19	0,94	4,4	0,18
	18	30	67	160	Överv	47	10	0,28	0,94	4,7	0,27
	19	30	67	160	Överv	46	10	0,28	0,94	4,6	0,27
	20	30	133	160	Underv	58	10	0,32	0,94	5,8	0,30
	21	30	133	160	Underv	60	11	0,31	0,91	5,5	0,28
	22	30	200	160	Pinnb.	60	11	0,24	0,91	5,5	0,22
	23	30	200	160	Pinnb.	73	12	0,19	0,88	6,1	0,17

1) Kvoten w_N / w_L är utvärderad genom interpolation av resultat från laboratorieförsök, Tabell 2.

Tabell 10. Resultat från 2⁴- faktoranalys, Test 1.

Spridningskälla	$\bar{d}_{pelare}$	S_{eff}	V	$w_N/w_L \cdot V$
	F	F	F	F
Replikat	< 1	< 1	< 1	< 1
Huvudfaktorer				
Munstykke	3,3	< 1	4,5	< 1
Tanktryck	56	2,6	12	7,5
Stigning	153	17	7,1	22
Rotationshastighet	< 1	< 1	1,8	2,0
2-faktor komb.				
Munst.- Tanktr.	3,11	< 1	2,5	1,1
Munst.- Stign.	5,4	< 1	13	4,3
Munst.- Rot.	< 1	< 1	2,5	2,1
Tanktr.- Stign.	51	1,9	19	< 1
Tanktr.- Rot.	8,4	< 1	3,6	< 1
Stign.- Rot.	< 1	1,3	< 1	< 1
3-fakt komb				
Munst.- Tanktr.- Stign.	1,5	< 1	3,2	1,7
Munst.- Tanktr.- Rot.	< 1	2,3	< 1	< 1
Munst.- Stign.- Rot.	1,7	4,5	< 1	1,2
Tanktr.- Stign.- Rot.	< 1	5,6	< 1	< 1
3-fakt komb				
Munst.- Tanktr.- Stign.- Rot.	3,3	< 1	< 1	< 1

Tabell 11. Resultat från 2³- faktoranalys, Test 2.

Spridningskälla	$\bar{d}_{pelare}$	S_{eff}	V	$w_N/w_L \cdot V$
	F	F	F	F
Replikat	< 1	< 1	< 1	< 1
Huvudfaktorer				
Verktyg Std-Pinnb.	4,5	5,2	13	13
Stigning	25	15	1,8	4,5
Rotationshastighet	< 1	< 1	< 1	< 1
2-faktor komb.				
Verktyg- Stign.	< 1	< 1	< 1	< 1
Verktyg- Rot.	2,3	< 1	< 1	< 1
Stign.- Rot.	51	5,6	1,3	2,8
3-fakt komb				
Verktyg- Stign.- Rot.	< 1	< 1	1,3	1,7

Tabell 12. Resultat från 2³-faktoranalys, Test 3.

Spridningskälla	$\bar{\delta}_{pelare}$ F	S_{eff} F	V F	$w_N/w_L \cdot V$ F
Replikat	< 1	< 1	< 1	< 1
Huvudfaktorer				
Verktyg Ett- Tre vingpar	14	29	28	18
Stigning	57	8,2	< 1	17
Rotationshastighet	1,7	< 1	< 1	< 1
2-faktor komb.				
Verktyg- Stign.	2,5	< 1	8,9	< 1
Verktyg- Rot.	< 1	< 1	1,3	1,0
Stign.- Rot.	22	< 1	4,0	2,1
3-fakt komb				
Verktyg- Stign.- Rot.	10	1,5	2,0	< 1

Tabell 13. Resultat från Test 4.

Spridningskälla	$\bar{\delta}_{pelare}$ F	S_{eff} F	V F	$w_N/w_L \cdot V$ F
Replikat	< 1	< 1	< 1	< 1
Huvudfaktorer				
Antal vingpar	21	68	31	28
Stigning	1,2	7,4	< 1	1,0
2-faktor komb.				
Antal vingpar - Stigning	6,4	10	10	10

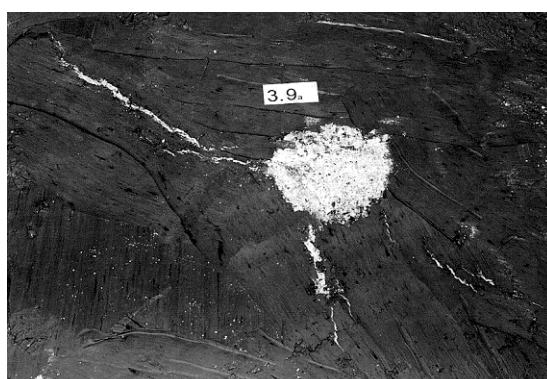
Tabell 14. Resultat från Test 5.

Spridningskälla	$\bar{\delta}_{pelare}$ F	S_{eff} F	V F	$w_N/w_L \cdot V$ F
Replikat	< 1	< 1	< 1	< 1
Huvudfaktorer				
Antal vingpar	20	73	3,8	7,5
Stigning	< 1	19	3,4	6,8
2-faktor komb.				
Antal vingpar - Stigning	1,9	4,8	2,4	< 1

Utan evakuering av luften skulle således lufttrycket räcka för att skapa pneumatisk spräckning av leran, vilket sannolikt skulle leda till att bindemedlet sprids ut längre ut från munstycket.

För att studera huruvida evakueringen av luft fungerar på ett större djup schaktades ett par pelare fram ned till 5–6 meters djup. Pelarnas utseende var detsamma för dessa pelare. Det är intressant att i fortsatta försök studera huruvida en rund stång påverkar evakueringen av luft under blandningsprocessen och hur evakueringen fungerar på större djup.

Vid besiktningen av ett antal pelare kunde man dock observera pneumatisk spräckning av leran (14 av 32 pelare). Omfattningen av denna process var begränsad från en upp till tre smala vertikala kanaler ut från pelarcentrum, se Figur 9. Kanalerna var upp till någon centimeter breda och upp till 50 cm långa. Alla kanalerna var vertikala vilket visar att jorden spruckit i horisontalplanet, i minsta huvudspänningsriktningen. Kanalerna upptar inte någon större andel av den totala bindemedelsvolymen varför pneumatisk spräckning inte kan anses som någon betydande blandningsmekanism.



Figur 9. *Pneumatisk spräckning av jorden.*

Utifrån försöksresultaten kan inkorporeringen och spridningen av bindemedel förslagsvis beskrivas på följande sätt. Det övre vingparet skär igenom jorden och skapar en kavitet där bindemedlet kan fördelas över tvärsnittsytan. Fördelningen kan dock bli ojämn eftersom flödet av bindemedel inte är konstant över ytan. Det är tydligt att luftstrålen inte skapar någon omfattande pneumatisk spräckning i jorden. En hypotes i sammanhanget blir att lufttrycket måste vara tillräckligt stort för att bindemedlet ska nå ut till kaviteten i pelarperiferin och för att skapa en luftkanal längs Kelley-stången upp ur marken. Lufttrycket bör dock inte vara så stort så att pneumatisk spräckning sker i jorden utanför pelarperiferin. På större djup med stora in-situ spänningar finns risk att kaviteten inte utbildas tillräckligt långt ut för att bindemedlet skall fördelas över hela tvärsnittet. Svårigheten med att skapa en kontinuerlig kavitet bakom det övre vingparet bör sannolikt öka med ökad pelardiameter eftersom lufttrycket sjunker då kaviteten breder ut sig mot pelarperiferin. Detta kan vara en orsak till pelare med ett avsmalnande tvärsnitt med djupet, "morötter", som observerats i andra projekt. Problemet har främst observerats i samband med pelare med diametern 800 mm. VerktYGets förmåga att skapa en kavitet kan också ha en betydande inverkan för pelare på små djup där rörformade pelare har observerats vid ett flertal projekt (t.ex. Axelsson & Larsson 1994, Axelsson 2001). I kombination med ett högt lufttryck och en stor mängd innesluten luft kan verktYget lyfta ovanliggande jordmassa och på så sätt skapa ett för stort hålrum där bindemedlet ansamlas i pelarperiferin.

Några generella slutsatser avseende lämpligt lufttryck går inte att dra utifrån försöken. I fortsatta försök kan det vara intressant att studera munstyckets placering i förhållande till det övre vingparet. En fråga är om munstyckets placering i höjddled på Kelley-stången har inverkan på processen. I Japan används sedan länge en patenterad teknik där munstycket är placerat i direkt anslutning till bladen vilket antas underlätta bindemedelsspridningen (Chida 1982). Tanken är att det behövas ett lägre luft-

tryck för att fylla kaviteten bakom det övre vingparet. På så sätt kan pelare tillverkas med större diameter och med en mindre mängd inblåst luft i marken.

För att ytterligare studera det övre vingparets betydelse för blandningsprocessen installerades fyra pelare (5.11, 5.13, 5.20 och 5.21) i försöksomgång 2 med ett ”Pinnborr” där det övre vingparet tagits bort. Den statistiska flerfaktoranalysen, Test 4 enligt Tabell 13, visade att antalet vingpar har en signifikant och stor inverkan på förstärkningseffekten och spridningen på hållfastheten. Den okulära besiktningen av de fyra pelare som installerats med två vingpar visade att de två som installerats med stigningen 15 mm/varv hade en diameter på ca 45 – 50 cm. De två undre vingparen distribuerade således inte bindemedlet över hela pelardiametern. Förstärkningseffekten är låg ($S_{eff} = 4,2$ resp. 4,8) och spridningen är mycket stor ($V = 0,48$ respektive 0,62, Figur 17). För de två pelare som installerades med stigningen 30 mm/varv var förstärkningseffekten oväntat större ($S_{eff} = 5,5$ resp. 5,8) och spridningen mindre ($V = 0,31$ resp. 0,32). Detta kan rimligt förklaras med att dessa två pelare hade en något större diameter, ca 55–60 cm. För att undersöka detta ytterligare schaktades pelarna ned ytterligare någon meter. På den djupare nivån var diametern på de två sistnämnda pelarna mindre, ca. 50 cm. Dessa pelare hade således en varierande diameter längs pelarlängden.

Studien av pelare som tillverkats med verktyg utan övervingar och studien av pelare som tillverkats utan vingar visar att det övre vingparets förmåga (geometri och rotationshastighet) att skapa en kavitet har en signifikant och stor inverkan på bindemedelsspridningen över pelartvärsnittet. De undre vingparen förmår endast att distribuera bindemedlet i en relativt liten skala, uppskattningsvis någon decimeter. Inverkan av det övre vingparet antas vara större än parametrarna stigning och antal blad.

Stigning och antalet vingpar

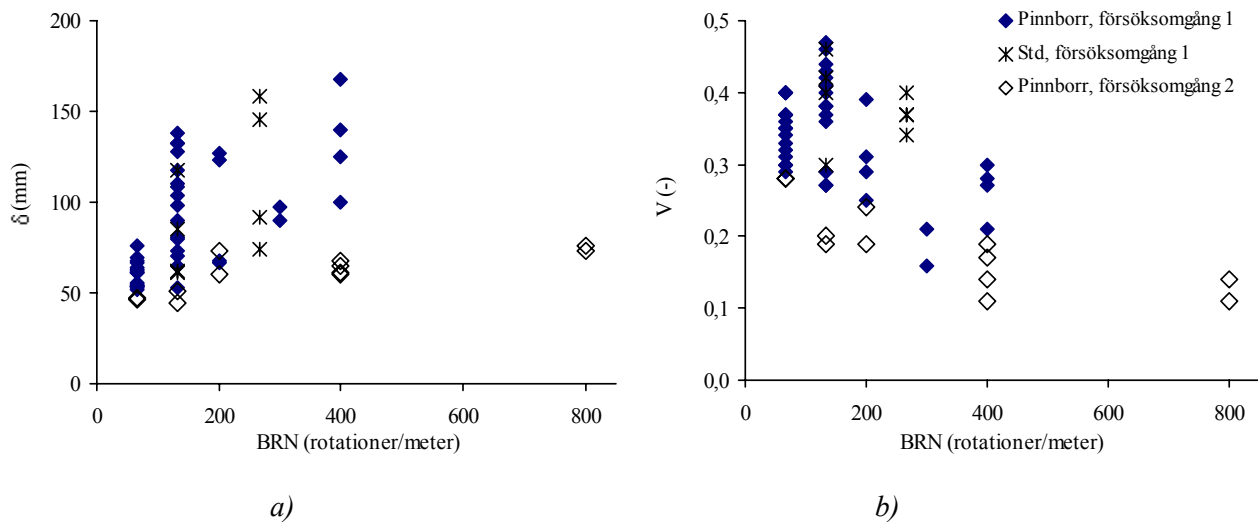
Trots att försöksplatsen valdes så att den ostabiliserade jordens egenskaper skulle vara likartade över hela provytan visade det sig vid framschaktningen att egenskaperna varierade avsevärt. Vid analyseringen av testresultaten visade det sig att jordens skiftande egenskaper hade en betydande inverkan på både magnituden på hållfastheten och variationskoefficienten. De skiftande egenskaperna medförde problem vid utvärderingen av flerfaktoranalyserna men medförde också en möjlighet att studera jordens inverkan på blandningsprocessen. Jordens odränerade skjuvhållfasthet varierade mellan 15 och 50 kPa över ytan.

För att kunna studera jordens reologiska egenskapers inverka på blandningsprocessen utfördes en översiktlig jämförelse av resultaten från alla penetrometerförsök. För att erhålla ett mått på blandningsarbetet som funktion av stigningen på blandningsverktyget s och antalet blad ΣM kan antalet rotationer per meter pelare BRN (Blade Rotation Number), tecknas som

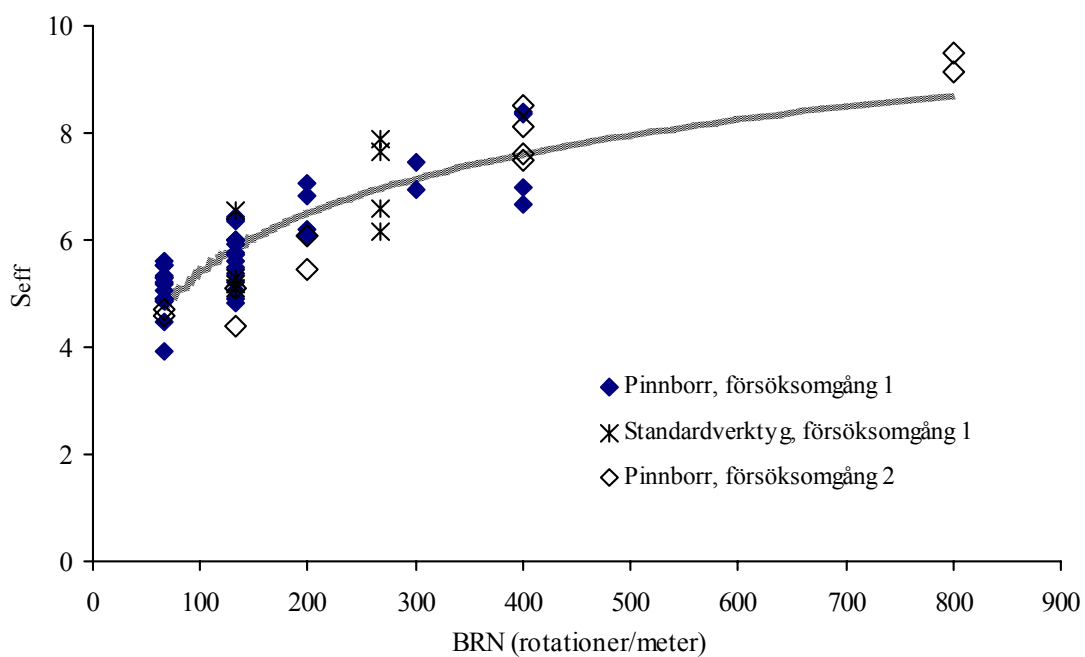
$$BRN = \sum M \times \frac{1}{s} \quad (8)$$

Antalet rotationer per meter pelare är ett indirekt mått på blandningsarbetet och har inverkan på dispersionsprocessen.

Figur 10 redovisar alla resultat från pelare installerade med Pinnborret (med ett, tre och sex vingpar) och med Standardverktyget. Resultaten representerar 2480 penetrometerförsök i 62 pelare. Figur 10a redovisar fjäderdeformationen $\bar{\delta}$ som funktion av antalet rotationer per meter pelare BRN . Resultaten visar en mycket stor spridning som går att koppla till jordens varierande egenskaper. För att kompensera för jordens varierande egenskaper dividerades hållfastheten i pelarna med jordens hållfasthet enligt Ekvation 1. Figur 11 visar förstärkningseffekten S_{eff} som funktion av antalet rotationer per meter pelare BRN . Resultaten visar att förstärkningseffekten beror av antalet rotationer per meter pelare.



Figur 10. a) Fjäderdeformationen $\bar{\delta}$ och b) Variationskoefficienten V som funktion av antalet rotationer per meter pelare.



Figur 11. Förstärkningseffekten S_{eff} som funktion av antalet rotationer per meter pelare BRN.

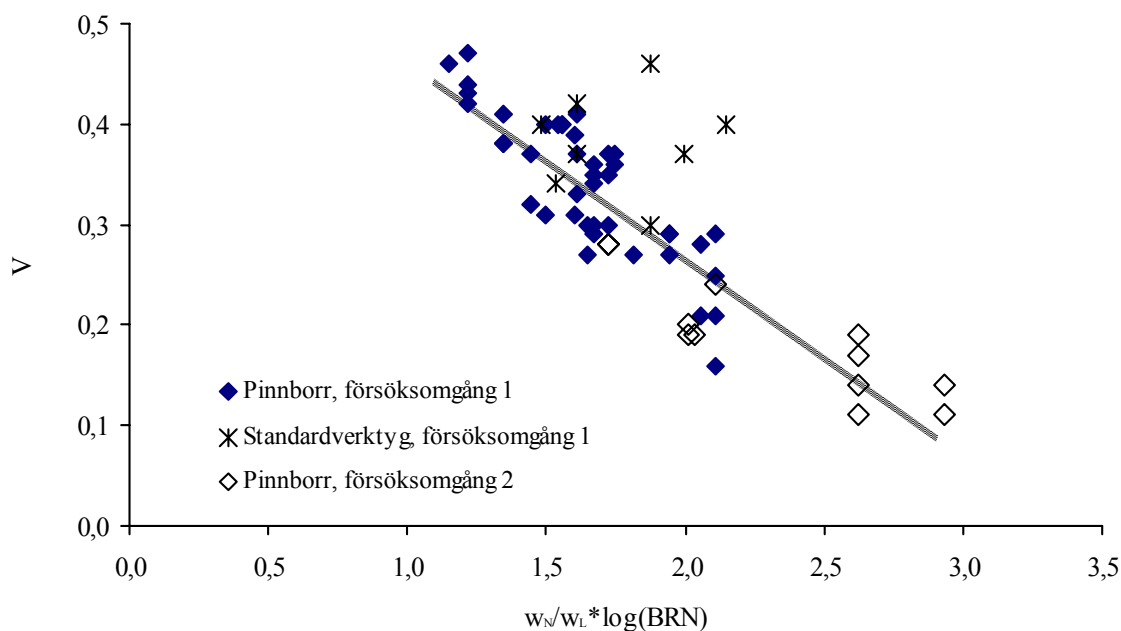
Förhållandet är approximativt logaritmiskt. Mycket grovt så fördubblas förstärkningseffekten för en 10-faldig ökning av antalet rotationer per meter pelare, inom det studerade intervallet.

I Figur 10b redovisas variationskoefficienten $V_{\text{utvärderad}}$ som funktion av antalet rotationer per meter pelare BRN . Det är mycket stor spridning i resultaten där en tydlig skillnad kan ses mellan resultat från försöksomgång 1 jämfört med försöksomgång 2. För försöksomgång 2 (Pelarrad 5) är variationskoefficienten lägre för hela det studerade intervallet. Man kan tydligt se att jordens reologiska egenskaper har en inverkan på spridningen av hållfastheten.

För att inkludera jordens reologiska egenskaper i analysen testades några parametrar empiriskt; kvoten mellan den naturliga vattenkvoten och flytgränsen w_N/w_L , flytindex I_L samt sensitiviteten S_r . Av dessa parametrar och index visade sig kvoten w_N/w_L ge den bästa anpassningen. Figur 12 visar relationen mellan variationskoefficienten med avseende på förstärkningseffekten (den uppmätta parametern) som funktion av kvoten mellan den naturliga vattenkvoten och flytgränsen multiplicerad med logaritmen på antalet rotationer per meter pelare. Ur denna redovisning erhålls ett intressant empiriskt samband mellan spridningen i hållfasthet och en enkel parameter som inverkar på jordens reologiska egenskaper. Sambandet antas ha formen:

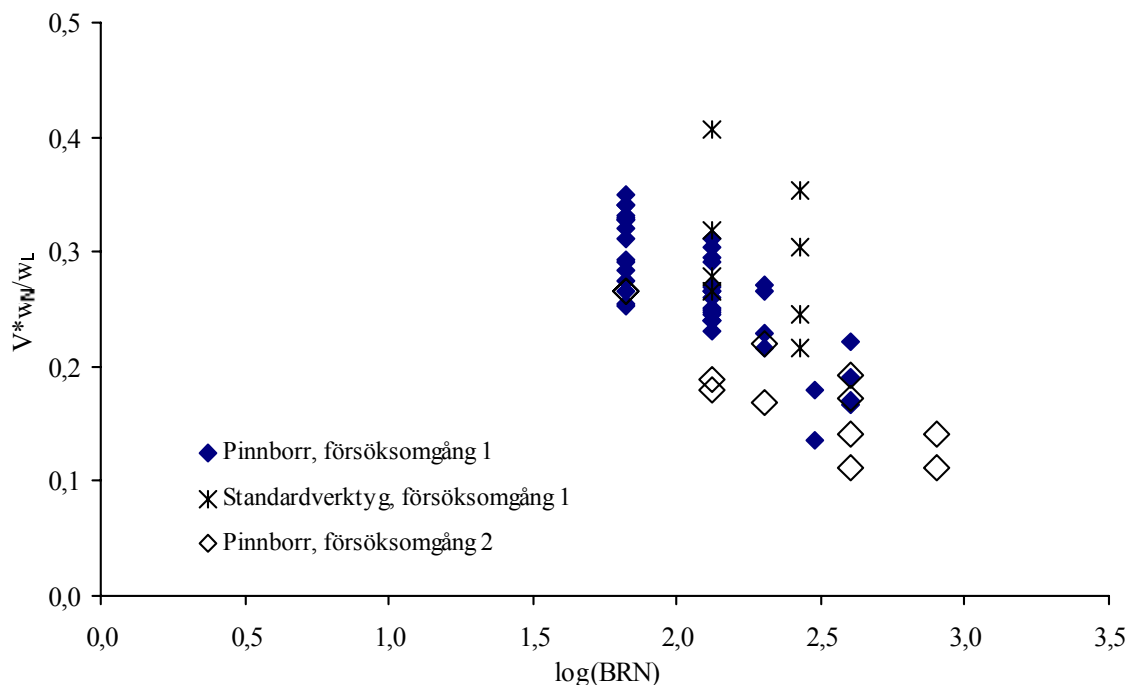
$$V = A - B \cdot w_N/w_L \cdot \log(BRN) \quad (9)$$

Konstanten A kan antas bero av verktygets förmåga att sprida och inkorporera bindemedlet över tvärsnittsytan (delprocess 2a, Figur 2). Konstanten B kan antas bero av blandningsverktygets förmåga att bryta upp agglomerat, distribuera bindemedlet och packa blandningen (delprocess 2b–d, Figur 2). Koefficienterna A och B kan också bero av andra faktorer såsom tid, bindemedel, bindemedelsmängd, jordens kemiska sammansättning etc. Korrelationen är relativt god för det aktuella intervallet ($0,5 < w_N/w_L < 1,0$; $67 \leq BRN \leq 800$) och bör studeras vidare i fortsatta försök.



Figur 12. Variationskoefficienten V som funktion av kvoten mellan vattenkvoten och flytgränsen gånger logaritmen på antalet rotationer per meter pelare $w_N/w_L \cdot \log(BRN)$.

Figur 13 visar en annan anpassning med avseende på variationskoefficienten på den uppmätta parametern. Denna anpassning är utförd för att kunna studera inverkan av de olika faktorerna där kvoten w_N/w_L är inkluderad i de statistiska analyserna. De statistiska flerfaktoranalyserna har därför kompletterats med tester med avseende på den korrigerade variationskoefficienten, $V \cdot w_N/w_L$.

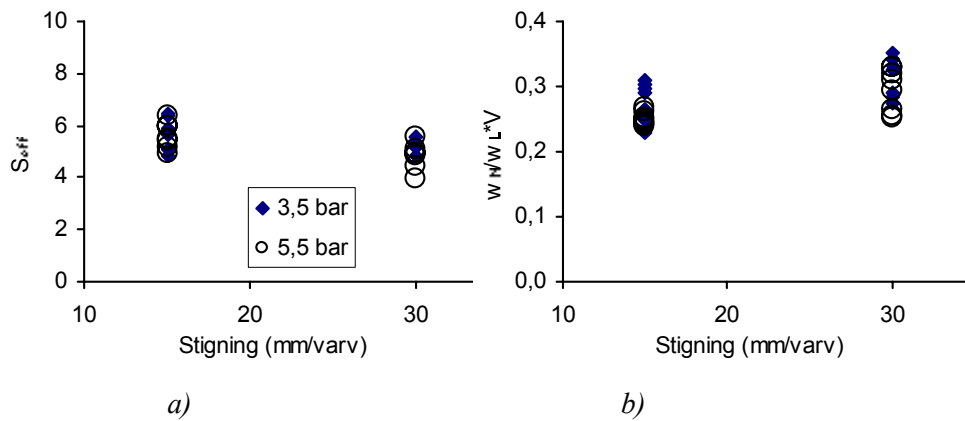


Figur 13. Den korrigerade variationskoefficienten $w_N/w_L \cdot V$ som funktion av logaritmen på antalet rotationer per meter pelare $\log(BRN)$.

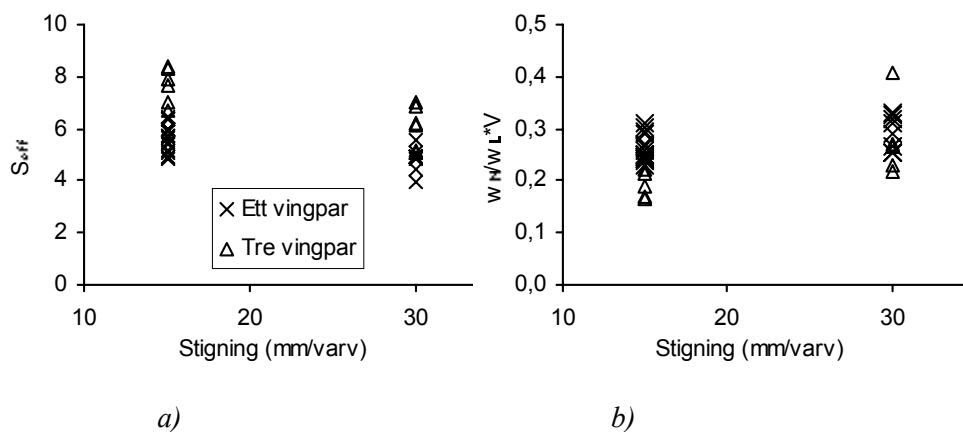
Tabell 10 redovisar resultaten från Test 1, där alla pelare installerats med ett vingpar. Den statistiska analysen med avseende på penetrometerns fjäderdeformation $\bar{\delta}_{pelare}$ och variationskoefficienten V visar att en rad kombinationer av de studerade faktorerna har en signifikant inverkan. Exempelvis så ger analysen en mycket stark inverkan av kombinationen tanktryck och stigning. Dessa resultat kan hänföras till jordens varierande egenskaper över provytan och det faktum att pelarna inte är slumpvis installerade.

Resultaten från analysen med avseende på förstärkningseffekten S_{eff} och den korrigerade variationskoefficienten $V \cdot w_N/w_L$ visar att stigningen har en signifikant inverkan. Stigningens inverkan är dock relativt svag vilket illustreras i Figur 14. Den okulära besiktningen visade att pelare som är tillverkade med stigningen 30 mm/varv har en något mer grynig karaktär än pelare tillverkade med 15 mm/varv. Man kunde dock inte se någon skillnad i den okulära spridningen av bindemedel.

Upplägget på försöksomgång 1 medförde att det gick att testa blandningsverktyget ”Pinnborret” med ett och tre vingpar, Test 3. Tabell 11 redovisar resultaten från 2ⁿ- faktoranalysen som omfattade 16 pelare. Testet visar att antalet vingpar och stigningen har en signifikant inverkan på förstärkningseffekten, vilket illustreras i Figur 15a. Dessutom visar analysen att antalet vingpar och stigningen har en signifikant inverkan på den korrigerade variationskoefficienten, Figur 15b. Den okulära besiktningen kunde verifiera resultaten där det var tydligt att bindemedlet fördelats jämnare då verktyget är försett med tre vingpar.



Figur 14. Resultat från Test 1. a) Förstärkningseffekten S_{eff} och b) Den korrigerade variationskoefficienten $w_N/w_L \cdot V$ som funktion av stigningen.



Figur 15. Resultat från Test 3. a) Förstärkningseffekten S_{eff} och b) Den korrigerade variationskoefficienten $w_N/w_L \cdot V$ som funktion av stigningen.

För att studera inverkan av antalet vingpar i ett större intervall utfördes en statistisk analys med pelare som installerats med ett, tre och sex vingpar, Test 5, Tabell 14. Tabell 9 (pelarrad 5) redovisar resultaten från penetrometerförsöken i de 16 pelare som installerades och testades för försöksomgång 2. I analysen uteslöts således resultaten från pelare installerade med två vingpar (utan det övre vingparet). Testet visar att antalet vingpar och stigningen har en signifikant inverkan på förstärkningseffekten och den korrigerade variationskoefficienten. För pelare som installerats med 6 vingpar bedöms den korrigerade variationskoefficienten vara låg både för de två pelare som installerats med 15 mm/varv ($w_N/w_L \cdot V = 0,11$ resp. $0,14$) och med 30 mm/varv ($w_N/w_L \cdot V = 0,11$ resp. $0,18$). Dessa resultat börjar närma sig den spridning som försöksmetodiken antas ge och det är då svårt att urskilja någon skillnad då antalet rotationer per meter pelare varierar i ett relativt litet intervall.

Utifrån resultaten från de statistiska flerfaktoranalyserna kan man dra slutsatsen att stigningen och antalet vingpar har en signifikant inverkan på både förstärkningseffekten och spridningen i hållfasthet. En slutsats är att stigningen på blandningsverktyget kan ökas direkt proportionellt med ökningen av antalet vingpar med bibehållen förstärkningseffekt och spridning. Resonemanget stöds av flerfaktoranalyserna där kombinationen stigning och antal blad inte har någon signifikant inverkan på förstärkningseffekten eller spridningen. Detta tyder på att stigningen och antal blad är oberoende variabler.

Sammantaget så visar resultaten att det kan vara tekniskt fördelaktigt att förse blandningsverktyget med fler vingpar och på så sätt kunna öka kvalitén på pelarna, enligt Ekvation 8 och Figur 12 och 13.

Det är intressant att notera att Larsson et al. (1999) och Walter (1998) erhöll liknande resultat vid sina studier i laboratorium. Kalk- och cement, i torr form, blandades in direkt i provhylsor (sulfidhaltig, mycket lös lera) med ett roterande blandningsverktyg. Deras resultat visar att hållfastheten ökar approximativt linjärt med logaritmen på blandningsarbetet. Då kalk- och cement användes som bindemedel fördubblades hållfastheten för en 10-faldig ökning av blandningsarbetet. Också Nishida et al. (1996) redovisar försök som visar att hållfastheten ökar approximativt linjärt med logaritmen på blandningsarbetet. Vid inblandning med osläckt kalk i lera ökade hållfastheten 2,5 – 3,5 gånger vid en 10-faldig ökning av blandningsarbetet.

Standardverktyget och Pinnborret

Tabell 9 (pelarrad 1–3) redovisar resultaten från penetrometerförsöken i 16 pelare tillverkade med Standardverktyget och Pinnborret som ingår i Test 2. Resultaten från den statistiska analysen som redovisas i Tabell 11 visar att stigningen har en signifikant inverkan på förstärkningseffekten, Figur 16a. Testet visar att verktygstypen inte har någon signifikant inverkan. Pinnborret har däremot en signifikant lägre korregerad variationskoefficient ($w_N/w_L \cdot V = 0,17 - 0,27$), jämfört med Standardverktyget ($w_N/w_L \cdot V = 0,22 - 0,41$), Figur 16b. Någon entydig förklaring till varför standardverktyget ger en större spridning kan inte ges, men den främsta skillnaden mellan verktygen är att ”Pinnborret” är försett med kammar på vingarna och har tre vingpar mot standardverktygets två vingpar.

Den okulära besiktningen kunde verifiera resultaten där det var tydligt att bindemedlet fördelats jämnare med Pinnborret. Alla pelare tillverkade med Pinnborret hade en jämnare, mörkare färgskala där bindemedlet inte kunde urskiljas i samma utsträckning. Figur 8b och 18 visar exempel på detta.

Rotationshastigheten

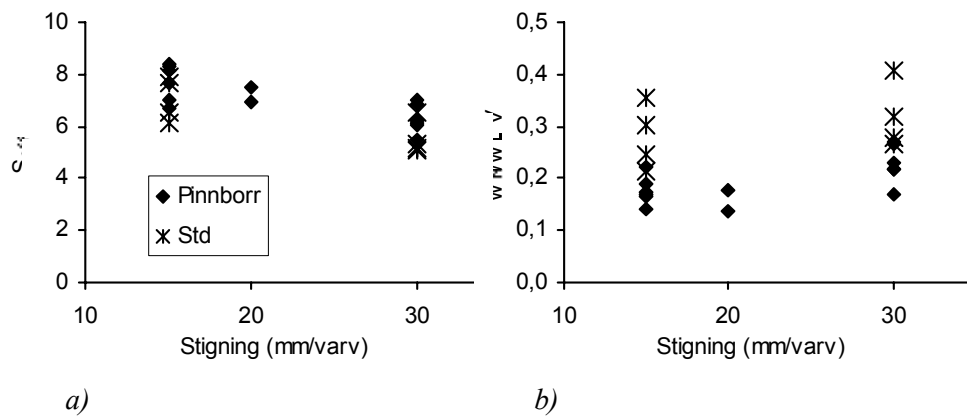
Rotationshastighetens inverkan testades i Test 1, 2 och 3. Rotationshastigheten hade inte någon signifikant inverkan på någon av de studerade parametrarna, Tabell 10, 11 och 12. Eftersom det är ekonomiskt att tillverka pelare med hög rotationshastighet är det intressant att i fortsatta studier undersöka inverkan av att använda ännu högre rotationshastigheter.

Tanktrycket och munstycket

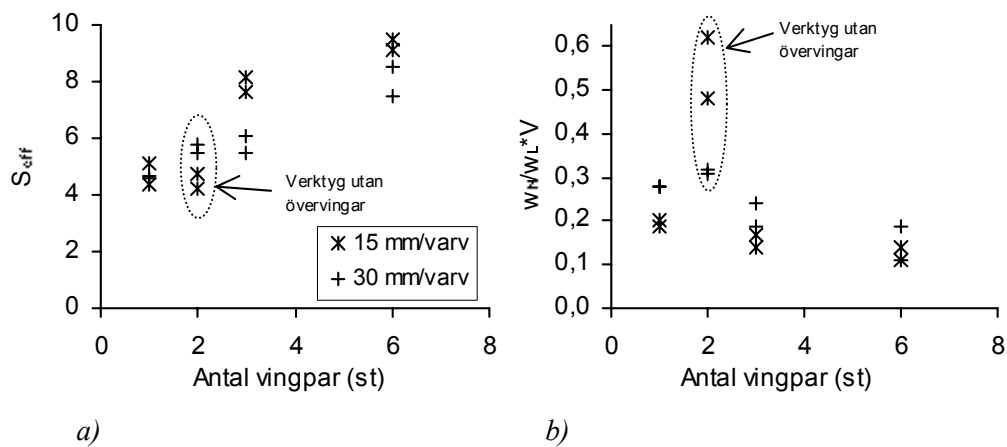
Inverkan av tanktrycket och munstycket testades i Test 1. Resultaten som redovisas i Tabell 10 visar att munstycket inte har någon signifikant inverkan på de studerade faktorerna. Tanktrycket har dock en signifikant, men svag, inverkan på den korregerade variationskoefficienten ($w_N/w_L \cdot V$), Tabell 10 och Figur 14. Eftersom tanktrycket och munstycket endast testades i Test 1, där blandningsverktyget var försett med ett vingpar, är resultaten osäkra. Tanktrycket och munstycket bör därför testas vidare i fortsatta studier.

Kombinationer av parametrar

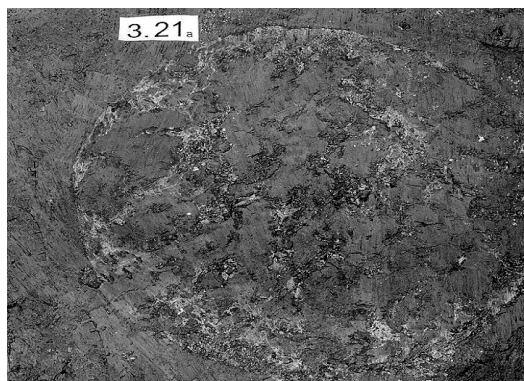
De statistiska analyserna visar att en rad kombinationer av de studerade faktorerna har en signifikant inverkan. Det gäller främst testerna med avseende på penetrometerns fjäderdeformation och variationskoefficienten. Dessa resultat kan sannolikt hänföras till jordens varierande egenskaper över provytan och det faktum att pelarna inte är slumpvis installerade. På grund av dessa förhållanden kan inte studien identifiera inverkan av kombinationer av olika faktorer.



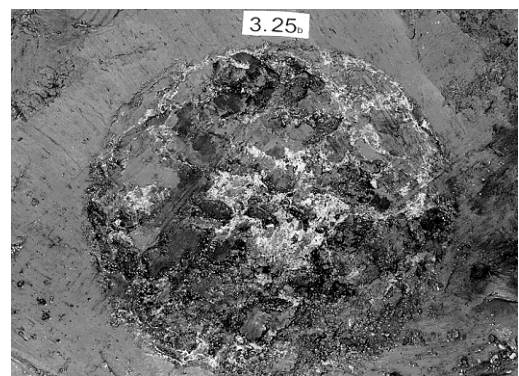
Figur 16. Resultat från Test 2. a) Förstärkningseffekten S_{eff} och b) Den korrigerade variationskoefficienten $w_N/w_L \cdot V$ som funktion av stigningen.



Figur 17. Resultat från Test 4 och 5. a) Förstärkningseffekten S_{eff} och b) Den korrigerade variationskoefficienten $w_N/w_L \cdot V$ som funktion av antalet vingpar.



a)



b)

Figur 18. a) Pelare tillverkad med Pinnborret resp. b) Standardverktuget.

Förslag till fortsatta studier

Nedan listas förslag till fortsatt forskning där förslagen är listade i prioriteringsordning enligt författarna.

- Upprepade försök i andra geologiska lokaler för att validera observationerna och för fördjupade studier av jordens reologiska egenskapers inverkan på hållfasthetsfördelningen.
- Fortsatt studie av övervingarnas inverkan på hållfasthetsfördelningen och munstyckets placering i förhållande till det övre vingparet.
- Tester på pelare vid större djup. Alternativt så utformas en kompletterande testmetodik för studie av hållfasthetsfördelningen över pelarlängden.
- Jämförelse mellan rund och kvadratisk stång för studie av luftens evakuering ut ur marken
- Test av nya redskap med många vingpar och med vingar i olika riktningar i förhållande till horisontalplanet.
- Försök där faktorerna studeras i större intervall.
- Olika mängd bindemedel.

Slutsatser

I samband med ett fältförsök har en enkel metodik tagits fram för studie av ett flertal inverkan-
faktorer i blandningsprocessen. Baserat på förstärkningseffekten och variationskoefficienten har inver-
kan faktorer studerats med statistiska analyser. Följande slutsatser kan dras av försöken:

- Försöken visar att det är möjligt att på ett enkelt och kostnadseffektivt sätt, studera inverkan av olika faktorer i blandningsprocessen.
- Det övre vingparet har en signifikant och betydande inverkan på bindemedelsspridningen. Detta visar att bindemedlet sprids i den kavitet som vingparet bildar vid rotation.
- Studien av de pelare som tillverkades utan vingar visade att pneumatisk spräckning av jorden har en underordnad inverkan på bindemedelsspridningen.
- Varken rotationshastigheten eller munstyckets storlek har någon signifikant inverkan på magnituden eller spridningen på hållfastheten.
- Stigningen och antalet vingpar har en signifikant inverkan på både magnituden och spridningen på hållfastheten. Studien indikerar att förstärkningseffekten och variationskoefficienten beror approximativt linjärt av logaritmen på antalet rotationer per meter pelare. En 10-faldig ökning av antalet rotationer per meter pelare fördubblar förstärkningseffekten och halverar variationskoefficienten.
- Jordens reologiska egenskaper har en signifikant inverkan på spridningen i hållfasthet. En empirisk anpassning av försöksresultaten indikerar att variationskoefficienten beror av kvoten mellan den naturliga vattenkvoten och flytgränsen.

Faktor (spridningskälla)	Hållfasthet magnitud och spridning
Jordens reologiska egenskaper	++
Övre vingparet	++
Stigning	+
Antal vingpar	+
Rotationshastighet	0
Munstycke	–
Tanktryck	–
Kombinationer av parametrar	–

++ Signifikant och stor inverkan.

+ Signifikant men svag inverkan.

0 Ingen inverkan.

– Ingen eller svag inverkan. Osäkra resultat.

Referenser

- Aalto, A. and Perkiö, K. (2000) Model tests for constructing soil-cement columns by dry jet mixing method. *Proc. of the 4th Int. Con. on Ground Improvement Geosystems*, Helsinki, pp. 65-72.
- Aalto, A. (2001) Model tests in laboratory using dry mix method. *Proc. Int. Conf. on Soil Mech. and Geotechn. Engng.*, Istanbul, Vol. 2, pp. 1517-1520.
- Al-Tabbaa, A. and Evans, C.W. (1999) Laboratory-scale soil mixing of contaminated site. *Ground Improvement*, Vol. 3, No. 3, pp. 119-134.
- Asano, J., Ban, K., Azuma, K. and Takahashi, K. (1996) Deep mixing method of soil stabilization using coal ash. *Proc. of the IS-Tokyo '96, 2nd Int. Conf. on Ground Improvement Geosystems*, Tokyo, pp. 393-398.
- Axelsson, A. and Larsson, S. (1994) *Provningmetoder på kalkcementpelare – Svealandsbanan*. M.Sc. thesis 94/10, Department of Soil and Rock Mechanics, Royal Institute of Technology, Stockholm, 62 pp. (In Swedish).
- Axelsson, M. (2001) *Djupstabilisering med kalkcementpelare – metoder för produktionsmässig kvalitetskontroll i fält*. Report 8, Swedish Deep Stabilization Research Centre, Linköping, 163 pp. (In Swedish).
- Boman, P. and Broms, B. (1975) Stabilisering av kohesionsjord med kalkpelare. *Nordic Geotechnical Meeting*, Copenhagen, pp. 265-279.
- Bredenberg, H. (1999) Keynote lecture: Equipment for deep soil mixing with the dry jet mix method. *Proc. Int. Conf. on Dry Mix Methods for Deep Stabilization*. Stockholm, pp. 323-331.
- Broms, B. and Boman, P. (1975) Lime stabilized columns – a new method at road construction. *Väg- och vattenbyggaren*, Vol. 21, No. 5, pp. 40-43, (in Swedish).
- Broms, B., Boman, P. och Ingelsson, I. (1978) *Investigation of lime columns at Smistavägen, Huddinge, Sweden*. Dept. of Soil and Rock Mech., Royal Inst. of Techn., Stockholm, 7 pp.
- Carlsten, P. (2000). *Lime and lime cement columns. Guide for design, construction and control*. Swedish Geotechnical Society, Report 2:2000, 111 pp. (in Swedish).
- Chida, S. 1982. *Development of dry jet mixing methods*. Public Works Research Institute, Ministry of Construction, Japan. pp. 29-35.
- Dong, J., Hiroi, K. and Nakamura, K. 1996. Experimental study on behaviour of composite ground improved by deep mixing method under lateral earth pressure. *Proc. of the IS-Tokyo '96, 2nd Int. Conf. on Ground Improvement Geosystems*, Tokyo, pp. 585-590.
- Enami, A., Hibino, S., Takahashi, M., Akiya, K. and Yamada, M. 1986. Properties of soil cement produced by compact machine system for tenocolumn method. *21st Annual Meeting, Japanese Society of Soil Mech. and Found. Engng.*, pp. 1987-1990. (In Japanese)
- Hansson, T., Rogbeck, Y. och Säfström, L. 2000. *Undersökning i fält av stabiliseringseffekt i organisk jord och lera*. Arbetsrapport 12, Swedish Deep Stabilization Research Centre, Linköping. 89s.
- Hayashi, H. and Nishikawa, J. (1999) Mixing efficiency of dry jet mixing method applied to paety soft ground. *Proc. Int. Conf. on Dry Mix Methods for Deep Stabilization*. Stockholm, pp. 333-338.
- Holm, G., Ruin, M. and Håkansson, S. (1999) Column penetration tests and extraction of lime/cement columns. *Proc. Int. Conf. on Dry Mix Methods for Deep Stabilization*. Stockholm, pp. 311-314.
- Johnson, R.A. (1994) *Miller and Freund's Probability and Statistics for Engineers*. Fifth Edition. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 630 pp.
- Johansson, C. and Jons, A-K. (1995) Kalkcementpelarförstärkning. *En studie hur olika produktionsfaktorer påverkar pelarnas homogenitet och hållfasthet*. M.Sc. thesis, 1995:5, Department of Geotechnical Engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg. 69 pp. (In Swedish).

- Larsson, S., Rehnman, S-E. & Walter, M. (1999) Laboratory method for design and development of the dry jet mixing method. *Proc. of the XIIth ECSMGE*, Amsterdam, Vol. 3, pp. 1533-1538.
- Larsson, S. (1999) The mixing process at the dry jet mixing method. *Proc. Int. Conf. on Dry Mix Methods for Deep Stabilization*. Stockholm, pp. 339-346.
- Larsson, S. (2000) *Mixing Processes for Ground Improvement by Deep Mixing*. Report 6, English Translation July 2002, Swedish Deep Stabilization Research Centre, Linköping, 200 pp.
- Larsson, S. (2001) Binder distribution in lime-cement columns. *Ground Improvement*, Vol. 5 No. 3, pp. 111-122.
- Mathew, P.K. and Narasimha Rao, S. (1997) Effect of lime cation exchange capacity of marine clay. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Eng.*, Vol. 123, No. 2, pp. 183-185.
- Matsuo, T., Nishibayashi, K. and Hosoya, Y. 1996. Studies on soil improvement adjusted at low compressive strength in deep mixing method. *Proc. of the IS-Tokyo '96, 2nd Int. Conf. on Ground Improvement Geosystems*, Tokyo, pp. 421-424.
- Mizuno, Y., Sudo, F., Komoto, K. and Endo, S. (1988). Experiment on the improvement of sandy soil using the deep mixing method. *23rd Annual Meeting, Japanese Soc. of Soil Mech. and Found. Engng.*, pp. 2301-2304. (In Japanese)
- Muro, T., Fukagawa, R. and Mukaihata, K. (1987a) Fundamental study of mixing conditions affecting the mechanical properties of soil-cement piles. *Doboku Gakkai Ronbunshu*, No. 385, pp. 98-195. (In Japanese).
- Muro, T., Fukagawa, R. and Mukaihata, K. (1987b) Effect of mixing condition on deformation and strength characteristics of cement treated soil. *Ehime Daigaku Kogakubu Kiyo*, 11(2), pp. 393-403. (In Japanese).
- Narasimha Rao, S. and Rajasekaran, G. 1996. Reaction products formed in lime-stabilised marine clays. *Journal of Geotechnical Engineerin*, Vol. 122, No. 5, pp. 329-336.
- Nishibayashi, K., Matsuo, T. and Hosoya, Y. (1984) Special issue. Soil cement work method. Stirring impeller, auger system. Oval-DM work method. *Foundation Engineering Equipment, Monthly*, Vol. 12, No. 11, pp. 54-60. (in Japanese)
- Nishibayashi, K., Matsuo, T., Hosoya, Y., Hirai, Y. and Shima, M. 1985. Experimental research into mixing devices used for the deep mixing method of soil improvent (Part 4). *20th Annual Meeting, Japanese Society of Soil Mech. and Found. Engng.*, pp. 1747-1750. (In Japanese)
- Nishibayashi, K., Matsuo, T., Hosoya, Y. and Kohinata, T. 1988. Studies of getting low improving strength of deep mixing method for latter excavation (Part 2) – Investigation the method by model mixing tests. *23rd Annual Meeting, Japanese Society of Soil Mech. and Found. Engng.*, pp. 2297-2300. (In Japanese)
- Nishida, K., Koga, Y. & Miura, N. (1996) Energy consideration of the dry jet mixing method. *Proc. of the IS-Tokyo '96, 2nd Int. Conf. on Ground Improvement Geosystems*, Tokyo, pp. 643-648.
- Porbaha, A., Raybaut, J. L. and Nicholson, P. (2001) State of the art in construction aspects of deep mixing technology. *Ground Improvement*, Vol. 5, No. 3, pp 123-140.
- Poux, M., Fayolle, P., Bertrand, J., Bridoux, D. and Bousquet, J. (1991) Powder mixing: some practical rules applied to agitated systems. *Powder Technology*, Vol. 68, pp. 213-234.
- Rajasekaran, G. and Narasimha Rao, S. (1997) Lime stabilization technique for the improvement of marine clay. *Soils and Foundations*, Vol.37, No.2, pp. 97-104
- Rogbeck, Y., Hansson, T. and Säfström, L. (2000) Deep soil stabilisation in organic soil and clay – field experiments. *Proc. of the 4th Int. Con. on Ground Improvement Geosystems*, Helsinki, pp. 117-126.
- Rogers, C.D.F. and Glendinning, S. (1994) Deep-slope stabilization using lime piles. *Transportation Research Record*, No. 1440, pp. 63-70.

- Rogers, C.D.F. and Glendinning, S. (1997) Stabilization of shallow slope failures with lime piles. *Transportation Research Record*, No. 1589, pp. 83-91.
- Rogers, C.D.F., Glendinning, S. and Holt, C.C. (2000) Slope stabilization using lime piles – a case study. *Ground Improvement*, Vol. 4, No. 4, pp. 165-176.
- Shen, S.L., Miura, M.N., Koga, K., Nakamura, M.R. and Nishida, M.K. (1997) Geotechnical engineering properties of clay around soil-cement columns. *Jiban Kogaku Kenkyu Happyokai Happyo Koenshu*, Vol. 32, No. 2-2, pp. 2387-2388.
- Shen, S.L. and Miura, M.N. (1999) Soil fracturing of the surrounding clay during deep mixing column installation. *Soils and Foundations*, Vol. 39, No. 5, pp. 13-22.
- Tremblay, M. (2000) *Kalkcementpelarförstärkning för bro – Funktionsuppföljning*. Arbetsrapport 17, Swedish Deep Stabilization Research Centre, Linköping. 20 pp. (in Swedish)
- Tränk, R. och Johnson, U. (1997) *Undersökning av KC-pelare med avseende på dess "homogenitet"*. Arbetsrapport 4, Swedish Deep Stabilization Research Centre, Linköping, 6 pp. (in Swedish)
- Walter, M. (1998) *Kemisk stabilisering av jord – en studie av inblandningsprocessen*. M.Sc. thesis 98/9, Department of Soil and Rock Mechanics, Royal Institute of Technology, Stockholm, 62 pp. (In Swedish).
- Wikström, A. (1979) Maskinutveckling gällande kalkpelarmaskin LPS-4. *Seminar on the Practical Applications of the Lime Column Method*, Royal Inst. of Techn., Dept. Soil and Rock Mech., Stockholm, 5 pp. (in Swedish)
- Yoshizawa, H., Okumura, R., Hosya, Y., Sumi, M. and Yamada, T. (1997) JGS TC Report: Factors affecting the quality of treated soil during execution of DMM. *Proc. of the IS-Tokyo '96, 2nd Int. Conf. on Ground Improvement Geosystems*, Tokyo, 14-17 May, 1996. Vol. 2, pp. 931-937.
- Åhnberg, H., Johansson, S-E., Retelius, A., Ljungkrantz, C., Holmqvist, L. och Holm, G. (1995) *Cement och kalk för djupstabilisering av jord. En kemisk – fysikalisk studie av stabiliseringseffekter*. Swedish Geotechnical Institute, SGI Report 48, Linköping, 213 pp. (in Swedish)

Bilaga 1

Några tankar kring försöken

Några tankar kring försöken

Det har utförts få studier avseende blandningsprocessen och installationstekniken i fält i Sverige. Det saknas därför empiriska erfarenheter. Ett annat intryck är att det figurerar allt för många hörsägnar avseende blandningsprocessen, vilket kan bero på att de fältförsök som utförts sällan dokumenteras så att de kan granskas kritiskt. Det finns ett stort behov av enkla studier av olika parametrars inverkan på blandningsprocessen och den förstärkta jordens egenskaper. Eftersom det finns ett stort intresse av försök av den här typen är det av stor vikt att de utförs så att resultaten blir tillförlitliga och att de behandlas på ett objektivt sätt. Det är dock inte helt enkelt att uppfylla dessa önskemål i samband med fältförsök. Nedan redovisas ett antal frågeställningar och resonemang som fördes innan projektet planerades i detalj. Författarna anser att det kan vara av värde för framtida studier.

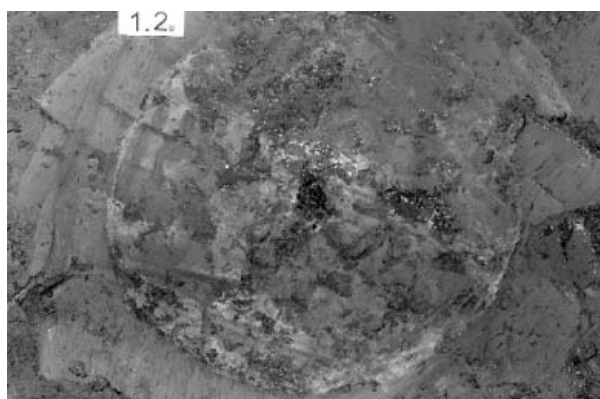
1. **Projektets syfte.** Det finns ett stort antal faktorer i inblandningstekniken som påverkar bindemedelsspridningen. Den förstärkta jordens egenskaper påverkas dessutom av en rad andra faktorer, som jordens och bindemedlets kemiska sammansättning, d.v.s. egenskaper som inte direkt påverkar de reologiska egenskaperna under blandningsprocessen. Vid en studie av inblandningstekniken måste en rad begränsningar göras för att ett fältförsök skall kunna utföras. Tanken är att inleda med fältförsök där främst det inledande skedet i blandningsprocessen studeras, d.v.s. fördelning och inkorporering av bindemedlet från blandningsverktyget ut i den lösa jorden. En av de uppställda hypoteserna som var intressant att försöka förkasta var att det övre vingparet inte har någon signifikant inverkan på resultaten.
2. **Testkriterier och testmetodik** har naturligtvis mycket stor inverkan på studiens omfattning. Man måste klart definiera vad som skall testas och detta bestämmer i sin tur testmetodiken. Testkriterierna och testmetodiken bör också testas, t.ex. med dubbel/trippelprover. Om en mycket etablerad metod (och tillförlitlig) används kan provserien minimeras. Vi vet av erfarenhet att bl.a. bindemedelsspridningen varierar från pelare till pelare och med djupet, fastän pelarna installerats på liknande sätt, d.v.s. är "normaltillverkade" (t.ex. Axelsson och Larsson 1994, Tränk & Johnson 1997, Axelsson 2001, Larsson 2000, Tremblay 2000). Detta leder rimligen till att små variationer i installationsprocessen inte kommer att kunna registreras med någon typ av testning. Det bör således utföras tester på ett flertal pelare för varje installationskombination, vilket tyvärr leder till stora provserier.
3. **Metod för provtagning.** Då bindemedelsspridningen skall studeras kan sonderingar och provtagningar med skruv eller kolv uteslutas, eftersom man inte med säkerhet kan veta vart över ett tvärsnitt provtagningen skett. Pelarsondering kan också uteslutas eftersom den testar pelartvärsnittet i för stor skala. Det är naturligtvis önskvärt att studera pelarnas hela längd och det finns en metod för upptagning av hela pelare som utvecklades redan på 1970-talet (Broms et al. 1978, Boman 1979), men som främst använts under 1990-talet (Johansson & Jons 1995, Rogbeck 1997, Holm et al. 1999, Axelsson 2001, Hansson et al. 2000). Metoden leder dock till att antalet provpelare måste begränsas till ett fåtal på grund av höga kostnader och att metoden och provningen är tidskrävande. Om ett stort antal pelare skall testas kan man därför vara hänvisad till att utföra provningen på framschaktade pelartvärsnitt. Detta nedför givetvis en stor begränsning, eftersom endast ytliga delar av pelarna kan testas. Det är viktigt att direkt testa den parameter man avser studera om man vill ha tillförlitliga resultat. Om man t.ex. avser att studera bindemedelsspridningen bör man mäta bindemedelshalten. Om man avser att studera hållfasthet bör man mäta hållfastheten etc. Indirekta mätmetoder leder direkt till en ökad osäkerhet vilket äventyrar kravet på tillförlitlighet. Tabell 1 redovisar ett antal metoder som använts i Sverige i samband med provning av upptagna pelare eller pelare framschaktade i provgropar. Alla metoderna kräver omfattande provserier eftersom de "normala" spridningarna kan vara stora. Spridningen ökar då provstorleken minskas (Larsson 2001). Det finns ingen allmänt vedertagen tillförlitlig metod för testning av blandningskvaliteten i pelare i

fält. En möjlighet kan vara att utföra ett flertal metoder i lämplig omfattning. Det finns dock fortfarande en risk att man erhåller motstridiga och osäkra resultat. Problem lär uppkomma om pelarna är halvfasta till fasta.

4. **Testning** eller andra typer av observationer bör ske i ”rätt skala”. Om vi är ute efter att studera bindemedelsspridningen över ett pelartvärnsnitt måste provstorleken vara betydligt mindre än pelartvärnsnittet. Vid tillräckligt liten skala erhålls dock stora spridningar i resultaten. De flesta enkla testmetoder, som fältpenetrometer och fickvingsond, men också de mer kostsamma som provkroppar för provtryckning, ger resultat i liten skala, som ger stora spridningar. Dessa metoder kräver dessutom stora provserier (20 – 40 prover) för tillförlitliga resultat.
5. **Bindemedelshalten** har inverkan på bindemedelsspridningen. Eftersom man vill studera blandningsverktygets inverkan så bör bindemedelshalten minimeras utan att halten understiger den ”minimala”. Det är dessutom lättare att visuellt och med enkla redskap testa pelare med relativt låg hållfasthet.
6. **Vid testning där statistiska parametrar utvärderas** är det viktigt att testningen utförs slumpmässigt med avseende på testpunkterna. Det har varit vanligt att utföra provningen radiell, från pelarcentrum och ut mot periferin (t ex Tränk och Johnson 1997, Larsson 2001, Tremblay 2000). Med detta förfaringssätt kan man inte direkt utvärdera medelvärden, varianser osv., eftersom pelartvärnsnittets olika delar inte haft samma chans att testats. Den inre delen av pelaren testas mer än den yttre delen. Om hållfastheten är normalfördelad över tvärsnittet måste provtagningen ske slumpmässigt. Provtagning och testning bör dessutom utföras av personer som inte känner till hur pelarna installerats.
7. **Vid användande av penetrometer eller fickvingsond** är den maximalt uppmätbara hållfastheten begränsande. Detta leder till att försöken måste utföras kort tid efter installationen. Dessutom bör bindemedelsmängden begränsas utan att den är för låg.

Bilaga 2

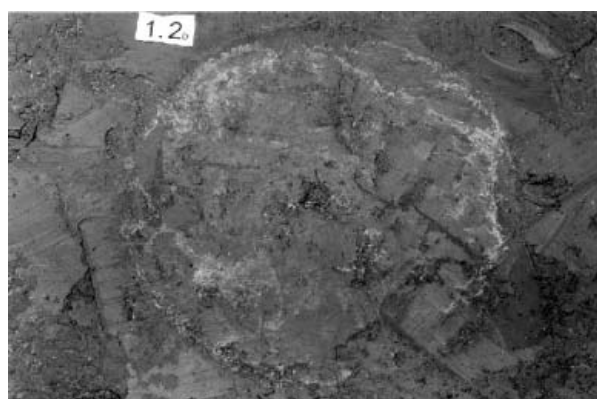
Okulär besiktning



Pelare: 1.2a

Verktyg:	Standardverktyg	BRN = 267 rot/m
Munstycke:	37 mm	
Tanktryck:	5,5 bar	
Stigning:	15 mm/varv	
Rot. hast:	160 varv/min	

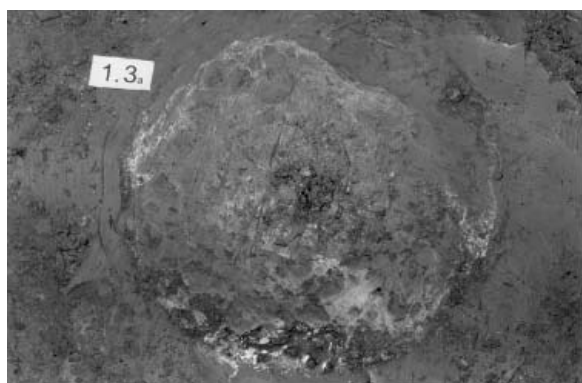
Okulär besiktning: Relativt jämn spridning av bindemedel. Något grynig fläckvis, lös i mitten.



Pelare: 1.2b

$\delta_{\text{pel. medel}}$:	74 mm
$\delta_{\text{jord. medel}}$:	12 mm
S_{eff} :	6,2
V:	0,40
w_N/w_L :	0,88

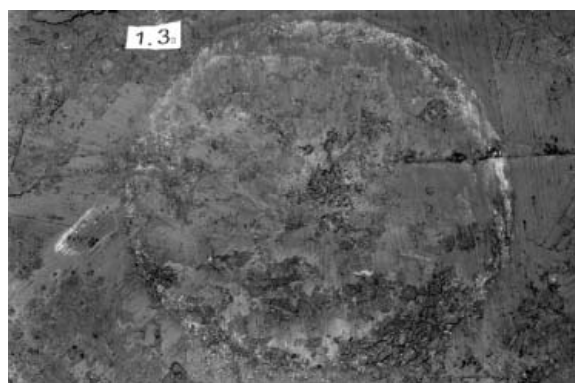
Okulär besiktning: Relativt jämn spridning av bindemedel, något lös fläckvis, lös i mitten.



Pelare: 1:3a

Verktyg:	Standardverktyg	BRN = 267 rot/m
Munstycke:	37 mm	
Tanktryck:	5,5 bar	
Stigning:	15 mm/varv	
Rot. hast:	160 varv/min	

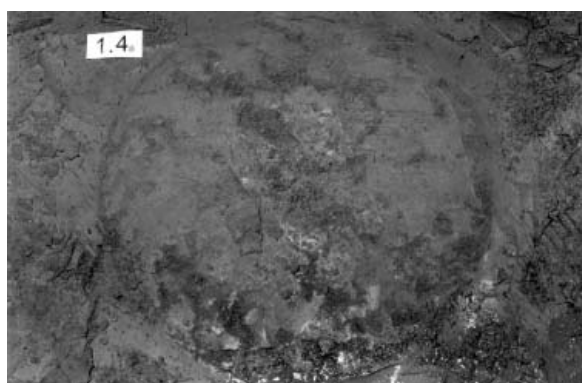
Okulär besiktning: Koncentration av bm i nedkant pelare, hål i mitten efter verktyget.



Pelare: 1:3b

$\delta_{\text{pel. medel}}$:	92 mm
$\delta_{\text{jord. medel}}$:	14 mm
S_{eff} :	6,6
V:	0,37
w_N/w_L :	0,82

Okulär besiktning: Relativt jämn spridning, mycket lös i mitten.



Pelare: 1:4a

Verktyg:	Pinnbör	BRN = 400 rot/m
Munstycke:	37 mm	
Tanktryck:	5,5 bar	
Stigning:	15 mm/varv	
Rot. hast:	160 varv/min	

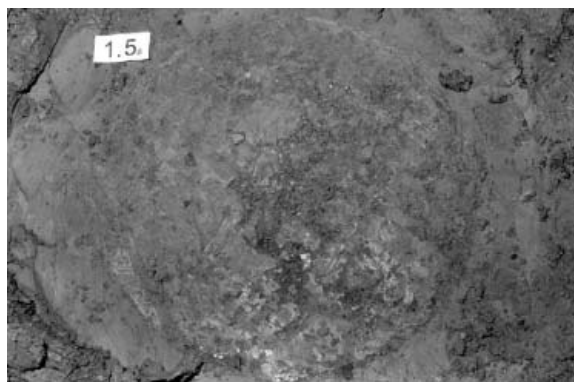
Okulär besiktning: Relativt jämn spridning av bm, något lös i mitten.



Pelare: 1:4b

$\delta_{\text{pel. medel}}$:	125 mm
$\delta_{\text{jord. medel}}$:	15 mm
S_{eff} :	8,3
V:	0,21
w_N/w_L :	0,79

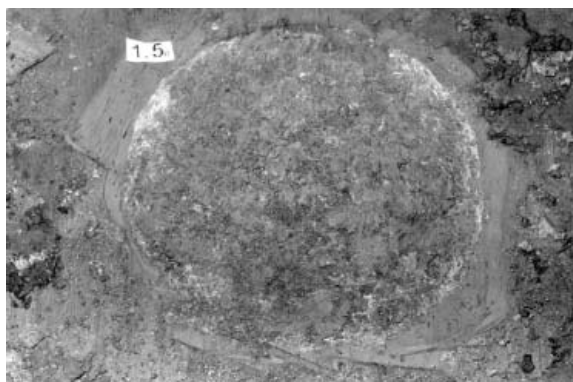
Okulär besiktning: Relativt jämn spridning av bm, något lös i mitten.



Pelare: 1:5a

Verktyg:	Pinnborr	BRN = 400 rot/m
Munstycke:	37 mm	
Tanktryck:	5,5 bar	
Stigning:	15 mm/varv	
Rot. hast:	160 varv/min	

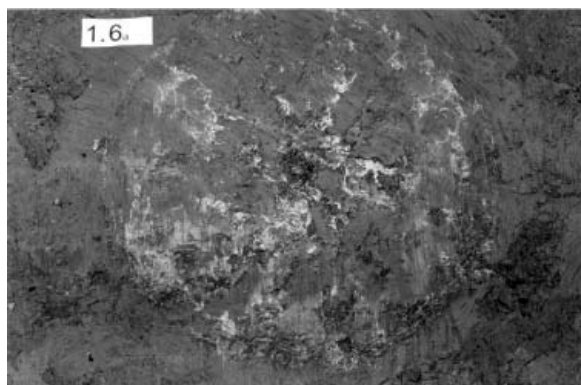
Okulär besiktning: Relativt jämn spridning av bm, något porös i mittenpartiet.



Pelare: 1:5b

$\delta_{\text{pel. medel:}}$	100 mm
$\delta_{\text{jord. medel:}}$	15 mm
$S_{\text{eff:}}$	6,7
V:	0,28
$w_N/w_L:$	0,79

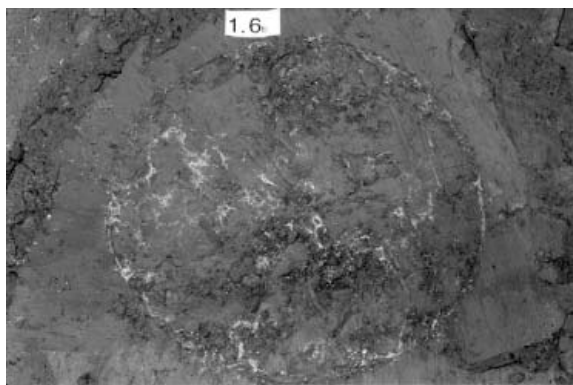
Okulär besiktning: Relativt jämn spridning av bm. något lös i mitten.



Pelare: 1:6a

Verktyg:	Övervinge	BRN = 133 rot/m
Munstycke:	37 mm	
Tanktryck:	5,5 bar	
Stigning:	15 mm/varv	
Rot. hast:	160 varv/min	

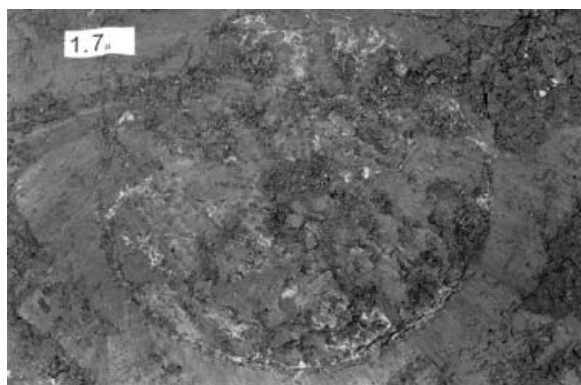
Okulär besiktning: Relativt jämn spridning av bm. med viss ansamling i solfjädermönster. Lös i mitten.



Pelare: 1:6b

$\delta_{\text{pel. medel:}}$	128 mm
$\delta_{\text{jord. medel:}}$	20 mm
$S_{\text{eff:}}$	6,4
V:	0,38
$w_N/w_L:$	0,63

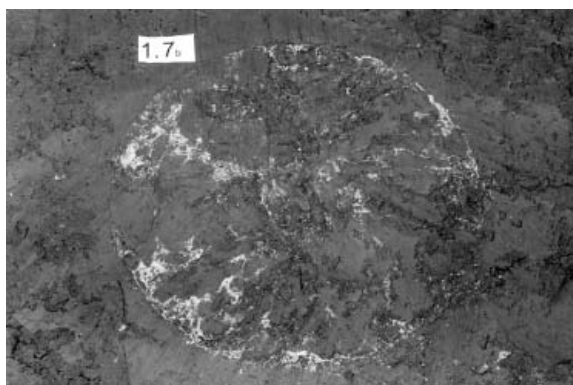
Okulär besiktning: Relativt jämn spridning av bm. porös zon i pelarens centrala delar.



Pelare: 1:7a

Verktyg:	Övervinge	BRN = 133 rot/m
Munstycke:	37 mm	
Tanktryck:	5,5 bar	
Stigning:	15 mm/varv	
Rot. hast:	160 varv/min	

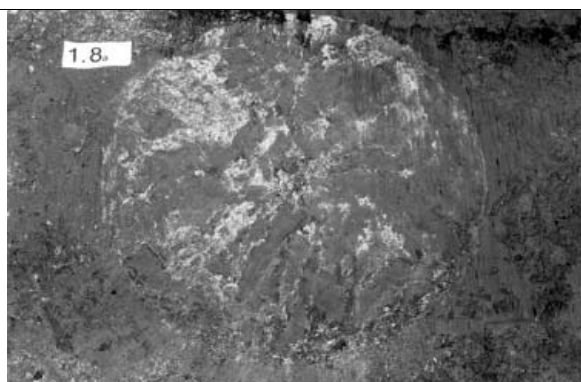
Okulär besiktning: Relativt jämn spridning av bm. lösare parti i pelarens nedre högra område, lös i mitten.



Pelare: 1:7b

$\delta_{\text{pel. medel:}}$	110 mm
$\delta_{\text{jord. medel:}}$	20 mm
$S_{\text{eff:}}$	5,5
V:	0,41
$w_N/w_L:$	0,63

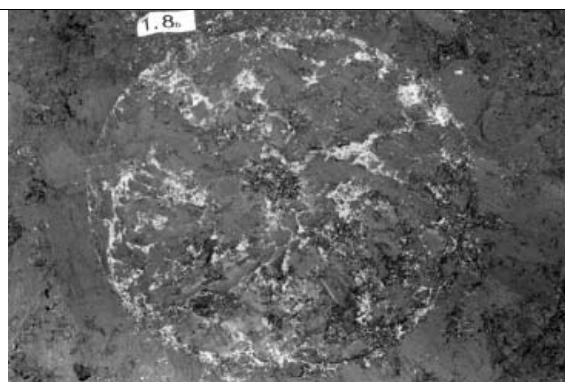
Okulär besiktning: Oval pelare, bm. finns i huvudsakligen i stråk ut från centrum. Porösa partier i kanterna.



Pelare 1:8a

Verktyg: Övervinge BRN = 133 rot/m
 Munstycke: 22 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 15 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

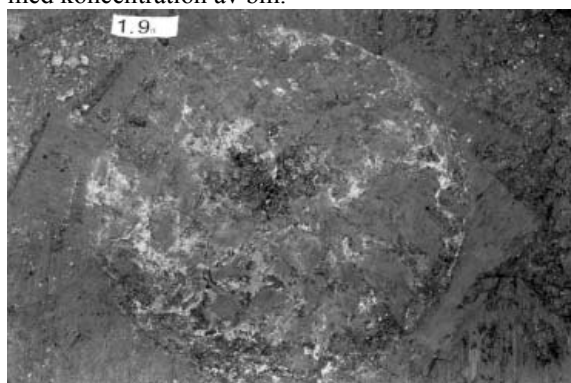
Okulär besiktning: Jämn spridning av bm. mindre zoner med koncentration av bm.



Pelare 1:8b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 132 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 22 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 6,0
 V : 0,44
 w_N/w_L : 0,57

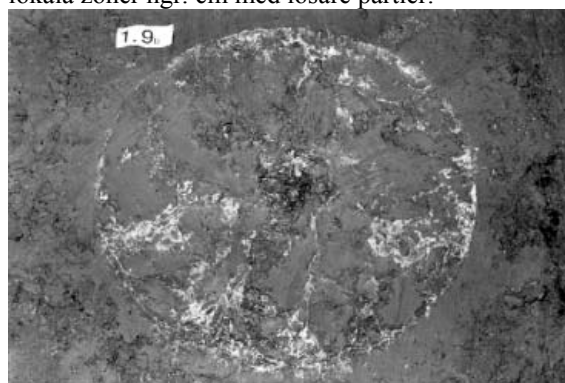
Okulär besiktning: Jämn spridning av bm. med mindre lokala zoner ngr. cm med lösare partier.



Pelare 1:9a

Verktyg: Övervinge BRN = 133 rot/m
 Munstycke: 22 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 15 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

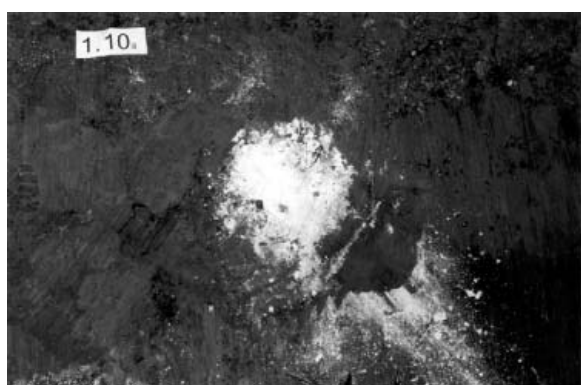
Okulär besiktning: Relativ jämn spridning av bm. Lös och porös i mitten.



Pelare 1:9b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 138 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 23 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 6,0
 V : 0,46
 w_N/w_L : 0,54

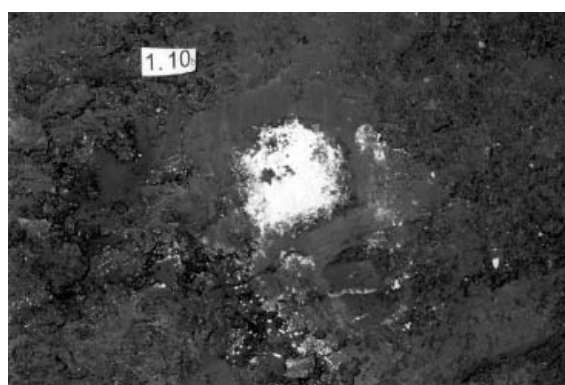
Okulär besiktning: Jämn spridning av bm. Lös och porös i mitten.



Pelare 1:10a

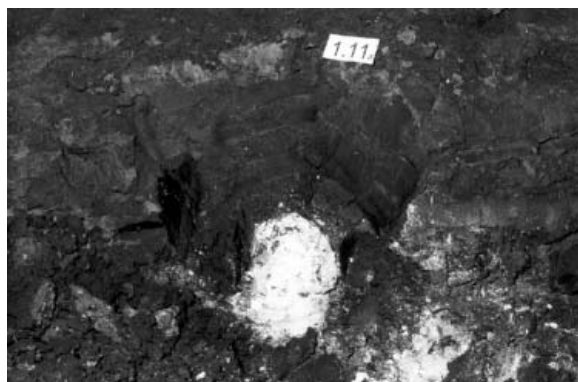
Verktyg: Utan vinge BRN = 0 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 15 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

Okulär besiktning: Bm. är koncentrerat i mitten på ca ø10cm, ingen blandning med omgivande lera.



Pelare 1:10b

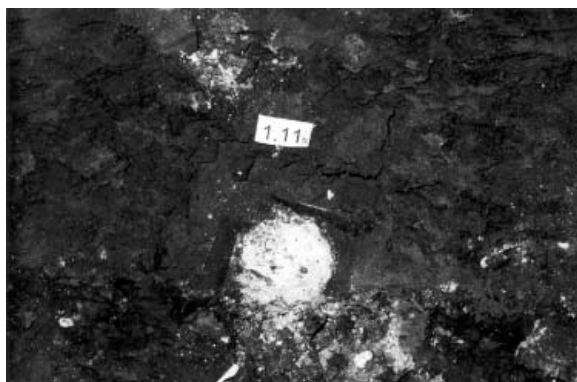
Okulär besiktning: Koncentration av bm. på ca ø15-20cm, ingen synbar blandning med omgivande lera.



Pelare 1:11a

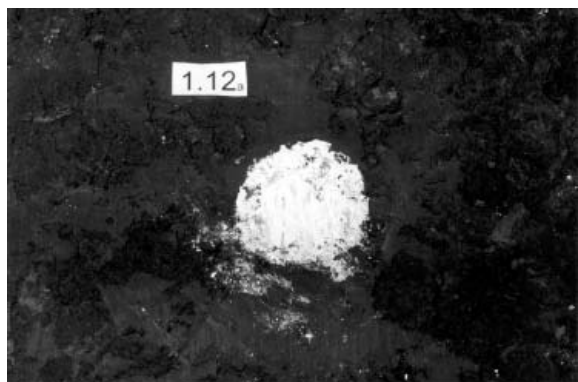
Verktyg: Utan vinge
Munstycke: 37 mm
Tanktryck: 5,5 bar
Stigning: 15 mm/varv
Rot. hast: 160 varv/min

Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera
ø16-19cm.



Pelare 1:11b

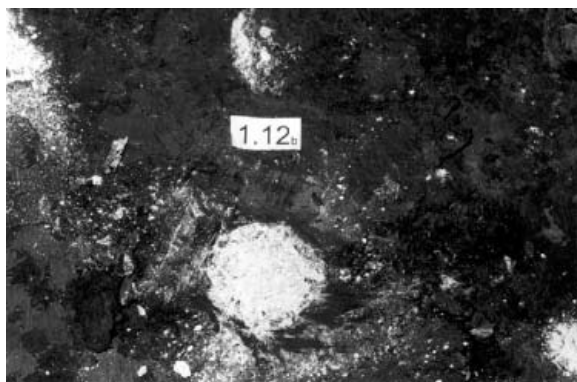
Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera
ø17cm.



Pelare 1:12a

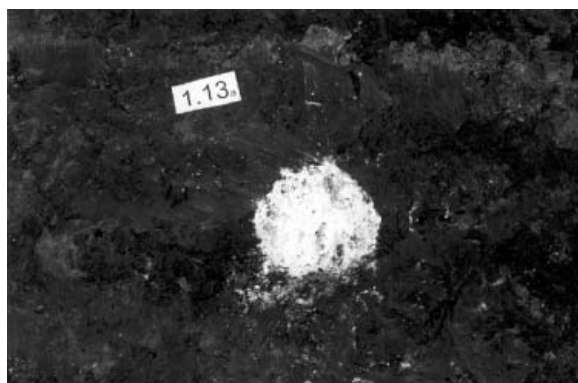
Verktyg: Utan vinge
Munstycke: 22 mm
Tanktryck: 5,5 bar
Stigning: 15 mm/varv
Rot. hast: 160 varv/min

Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera
ø17-18cm.



Pelare 1:12b

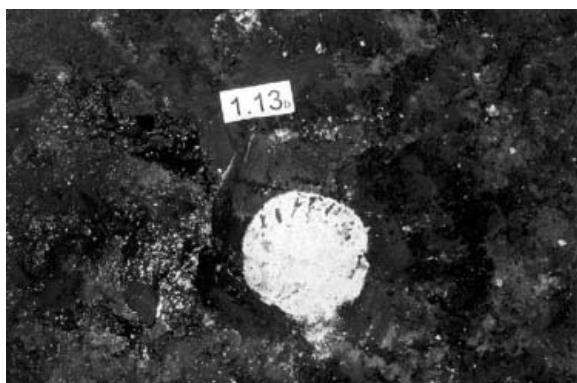
Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera
ø16cm.



Pelare 1:13a

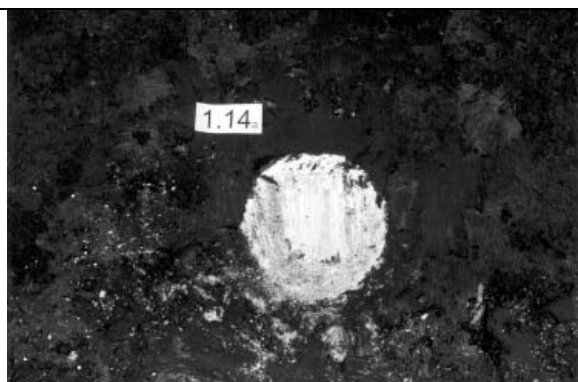
Verktyg: Utan vinge
Munstycke: 22 mm
Tanktryck: 5,5 bar
Stigning: 15 mm/varv
Rot. hast: 160 varv/min

Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera
ø16-18cm.

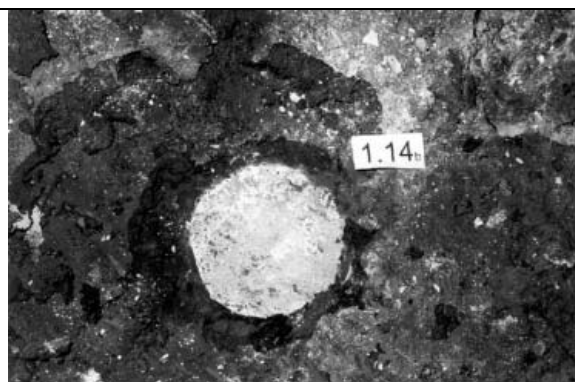


Pelare 1:13b

Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera
ø18cm.



Pelare 1:14a



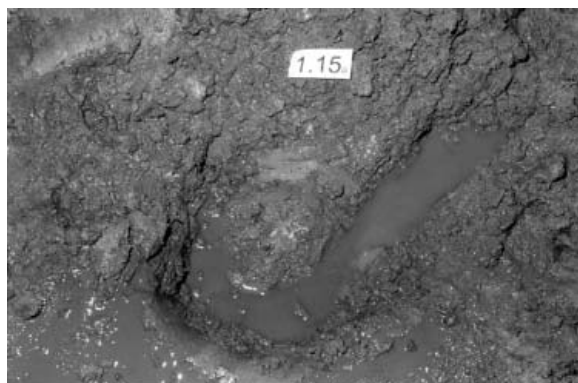
Pelare 1:14b

Verktyg: Utan vinge
Munstycke: 22 mm
Tanktryck: 3,5 bar
Stigning: 15 mm/varv
Rot. hast: 160 varv/min

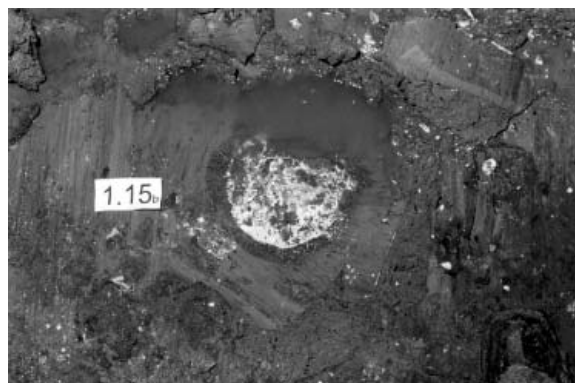
BRN = 0 rot/m

Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera
ø22cm.

Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande
lera ø22cm.



Pelare 1:15a



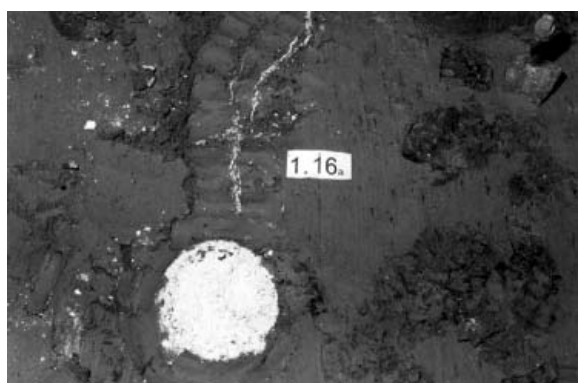
Pelare 1:15b

Verktyg: Utan vinge
Munstycke: 22 mm
Tanktryck: 3,5 bar
Stigning: 15 mm/varv
Rot. hast: 160 varv/min

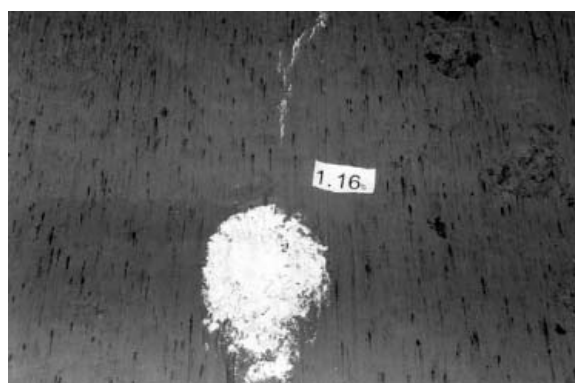
BRN = 0 rot/m

Okulär besiktning: Inget bindemedel på denna nivå!

Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande
lera ø20cm.



Pelare 1:16a



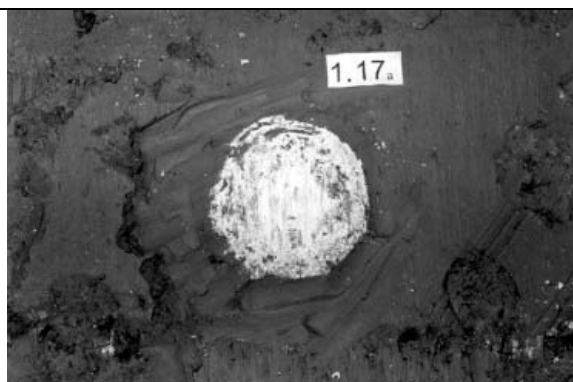
Pelare 1:16b

Verktyg: Utan vinge
Munstycke: 37 mm
Tanktryck: 3,5 bar
Stigning: 15 mm/varv
Rot. hast: 160 varv/min

BRN = 0 rot/m

Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera
ø 20cm. Pneumatisk spräckning, ca 50cm.

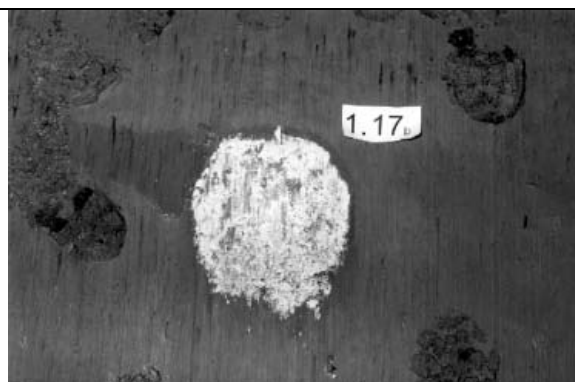
Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande
lera ø 20-21cm. Pneumatisk spräckning, ca 50cm.



Pelare 1:17a

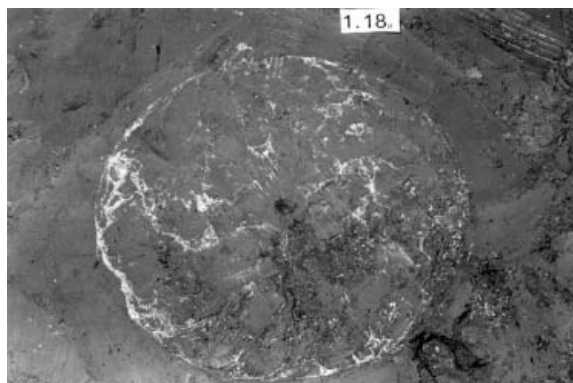
Verktyg:	Utan vinge	BRN = 0 rot/m
Munstycke:	37 mm	
Tanktryck:	3,5 bar	
Stigning:	15 mm/varv	
Rot. hast:	160 varv/min	

Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande jord, lös k/c i mitten. ø 23 cm.



Pelare 1:17b

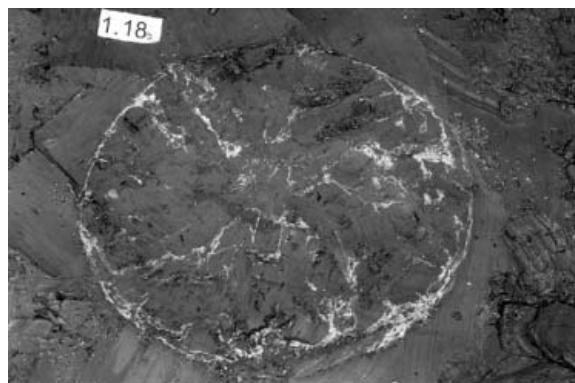
Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande jord, lös k/c i mitten. ø 23 cm.



Pelare 1:18a

Verktyg:	Övervinge	BRN = 133 rot/m
Munstycke:	22 mm	
Tanktryck:	3,5 bar	
Stigning:	15 mm/varv	
Rot. hast:	160 varv/min	

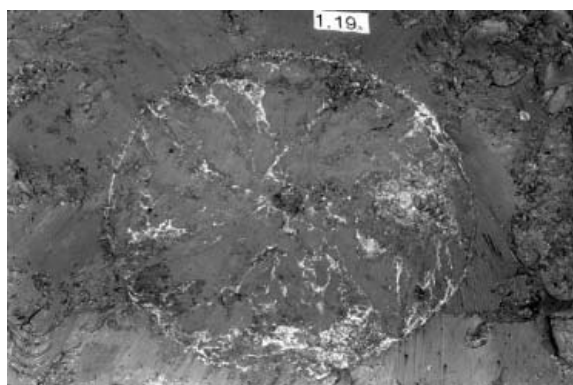
Okulär besiktning: Bindemedel finns i stråk ut från pelarcentrum. Ngt lös i mitten.



Pelare 1:18b

$\delta_{\text{pel. medel}}$:	90 mm
$\delta_{\text{jord. medel}}$:	14 mm
S_{eff} :	6,4
V:	0,36
w_N/w_L :	0,82

Okulär besiktning: Bindemedel finns i stråk (melerat mönster) från pelarcentrum.



Pelare 1:19a

Verktyg:	Övervinge	BRN = 133 rot/m
Munstycke:	22 mm	
Tanktryck:	3,5 bar	
Stigning:	15 mm/varv	
Rot. hast:	160 varv/min	

Okulär besiktning: Bindemedel finns i stråk ut från pelarcentrum. Lös i mitten, svag zon i nedre delen.

Bild saknas

$\delta_{\text{pel. medel}}$:	80 mm
$\delta_{\text{jord. medel}}$:	14 mm
S_{eff} :	5,7
V:	0,37
w_N/w_L :	0,82

Okulär besiktning: Bindemedel finns i strimlor och ansamlingar, ingen tydlig svaghetszon.

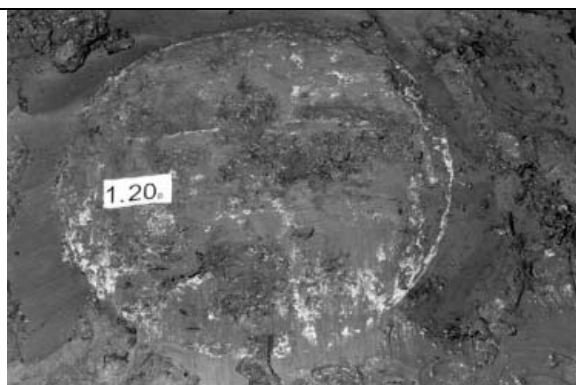


Bild saknas

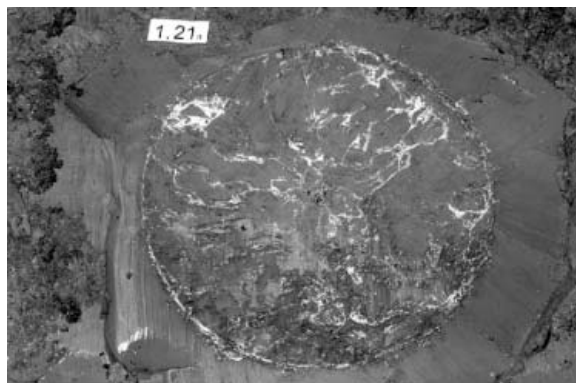
Pelare 1:20a

Verktyg:	Övervinge	BRN = 133 rot/m
Munstycke:	37 mm	
Tanktryck:	3,5 bar	
Stigning:	15 mm/varv	
Rot. hast:	160 varv/min	

$\delta_{\text{pel. medel.}}$:	73 mm
$\delta_{\text{jord. medel.}}$:	13 mm
$S_{\text{eff.}}$:	5,6
V :	0,27
w_N/w_L :	0,85

Okulär besiktning: Strimlor och ansamlingar med bm, ingen tydlig svaghetszon.

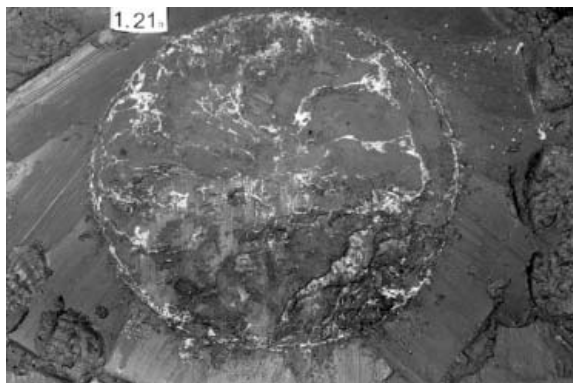
Okulär besiktning: Strimlor och ansamlingar med bm, lösare i vänstra delen (numret).



Pelare 1:21a

Verktyg:	Övervinge	BRN = 133 rot/m
Munstycke:	37 mm	
Tanktryck:	3,5 bar	
Stigning:	15 mm/varv	
Rot. hast:	160 varv/min	

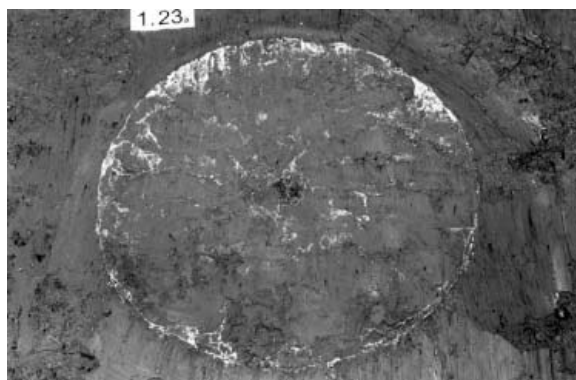
Okulär besiktning: : Strimlor och ansamlingar med bm, lösare i nedre vänstra delen.



Pelare 1:21b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$:	53 mm
$\delta_{\text{jord. medel.}}$:	11 mm
$S_{\text{eff.}}$:	4,8
V :	0,27
w_N/w_L :	0,92

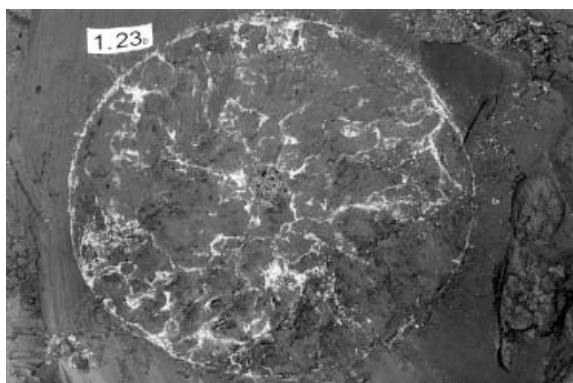
Okulär besiktning: Strimlor av bm, porös i nedre vänstra delen.



Pelare 1:23a

Verktyg:	Övervinge	BRN = 133 rot/m
Munstycke:	22 mm	
Tanktryck:	3,5 bar	
Stigning:	15 mm/varv	
Rot. hast:	80 varv/min	

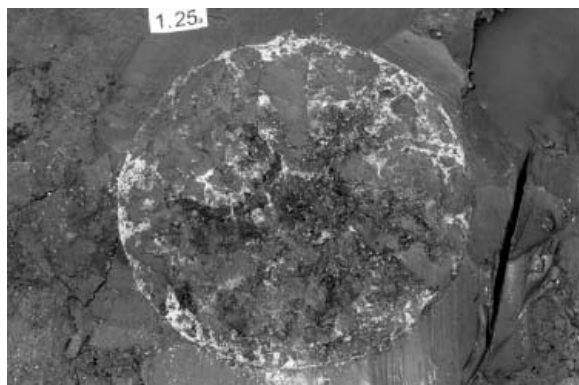
Okulär besiktning: Ansamling av bm i pelaren periferi. Ngt lös i mitten.



Pelare 1:23b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$:	65 mm
$\delta_{\text{jord. medel.}}$:	11 mm
$S_{\text{eff.}}$:	5,9
V :	0,29
w_N/w_L :	0,92

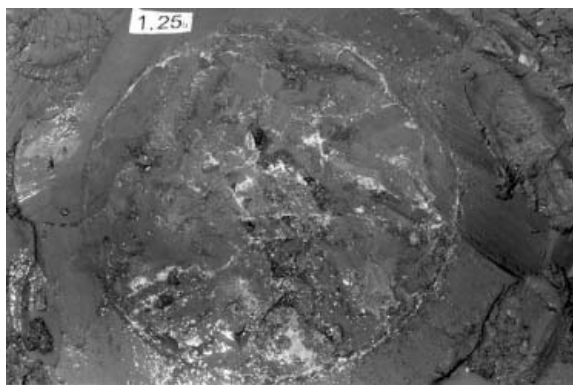
Okulär besiktning: Strimlor och ränder av bm, ngt porös i vänstra delen.



Pelare 1:25a

Verktyg:	Övervinge	BRN = 133 rot/m
Munstycke:	22 mm	
Tanktryck:	3,5 bar	
Stigning:	15 mm/varv	
Rot. hast:	80 varv/min	

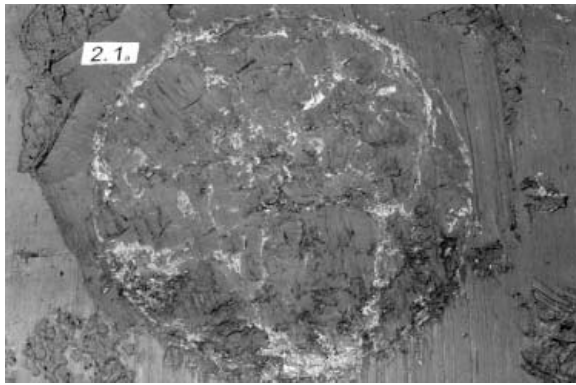
Okulär besiktning: Porös i ytan, tydligt dränerande, ngt mer bm i periferin.



Pelare 1:25b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$	70 mm
$\delta_{\text{jord. medel.}}$	11 mm
$S_{\text{eff.}}$	6,4
V:	0,29
w_N/w_L	0,92

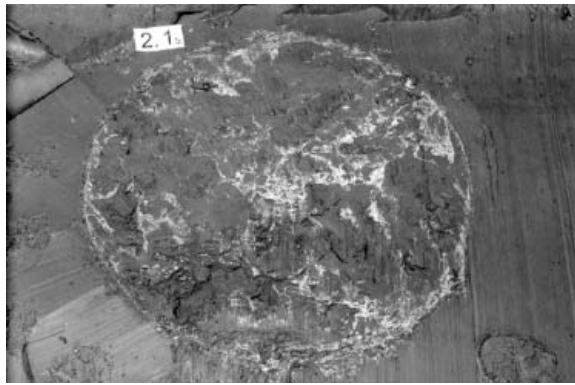
Okulär besiktning: Porös i ytan, tydligt dränerande, bm i trädar ut från pelarcentrum.



Pelare 2:1a

Verktyg: Pinnborr BRN = 200 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

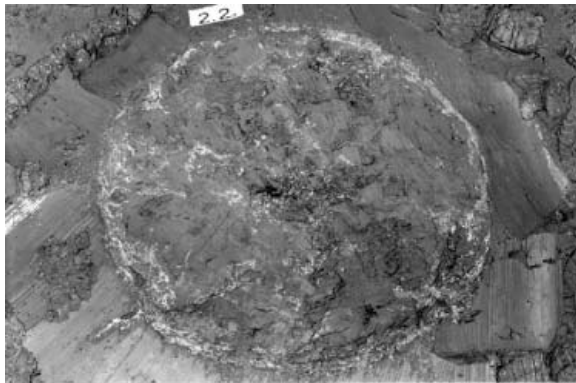
Okulär besiktning: Relativt jämn fördelning av bm. tunna stråk med bm. något mörkgrå färg.



Pelare 2:1b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 68 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 11 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 6,2
 V : 0,29
 w_N/w_L : 0,92

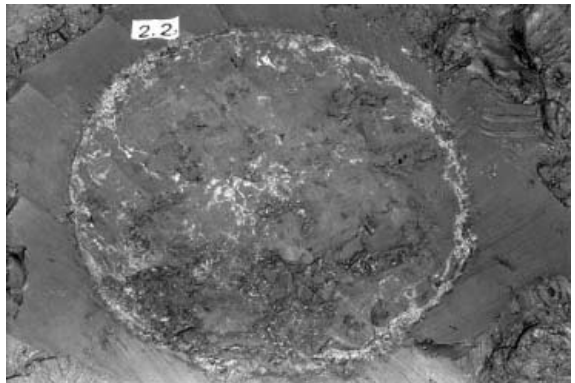
Okulär besiktning: Relativt jämn fördelning av bm. tunna stråk med bm. något mörkgrå färg.



Pelare 2:2a

Verktyg: Pinnborr BRN = 200 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

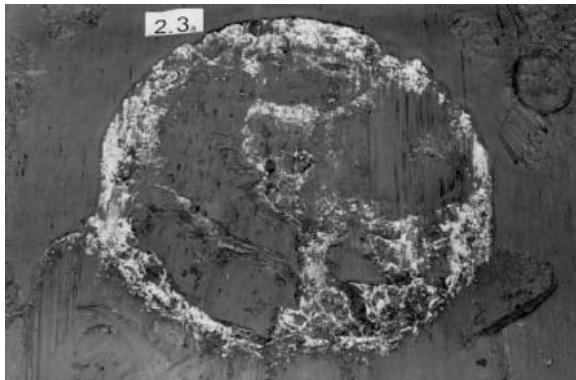
Okulär besiktning: Homogen, jämn fördelning av bm. mörkgrå färg, lös i mitten



Pelare 2:2b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 67 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 11 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 6,1
 V : 0,25
 w_N/w_L : 0,92

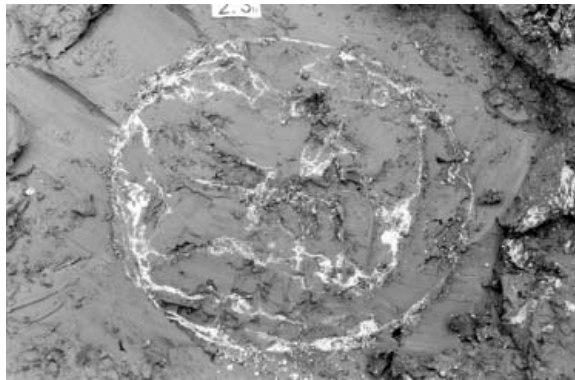
Okulär besiktning: Homogen, jämn spridning av bm. mörkgrå färg.



Pelare 2:3a

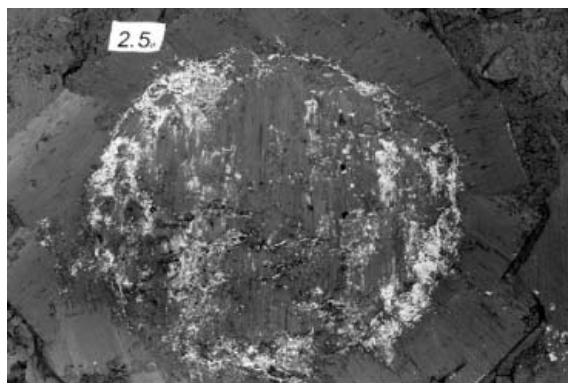
Verktyg: Standardverktyg BRN = 133 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

Okulär besiktning: Bm. samlat i ett stråk tvärs pelaren samt i periferin. Skjuvsprickor i ytterkanten.



$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 62 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 12 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 5,2
 V : 0,46
 w_N/w_L : 0,88

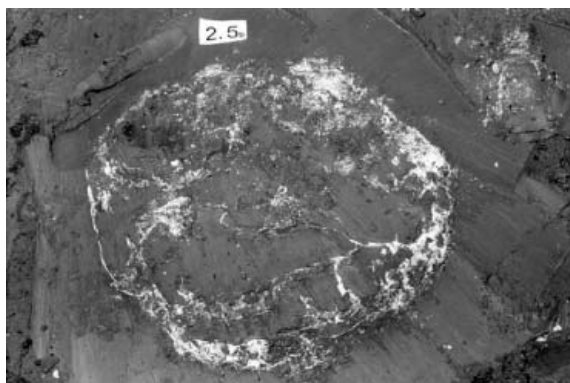
Okulär besiktning: Ojämn spridning av bm. över tvärsnittet. Bm finns i ränder över tvärsnittet.



Pelare 2:5a

Verktyg: Standardverktyg BRN = 133 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

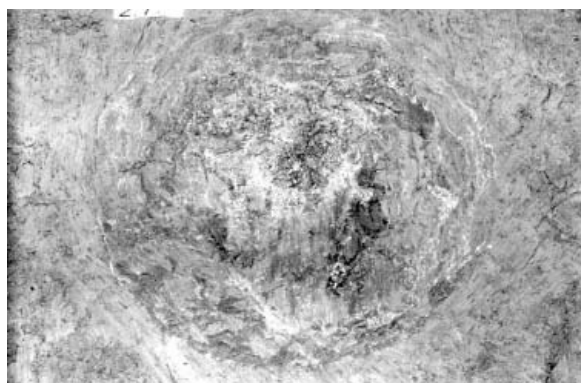
Okulär besiktning: Något gryning yta, sprickor mitt i pelaren. Bm konc. till periferin.



Pelare 2:5b

$\delta_{\text{pel. medel}}$: 61 mm
 $\delta_{\text{jord. medel}}$: 12 mm
 S_{eff} : 5,1
 V : 0,30
 w_N/w_L : 0,88

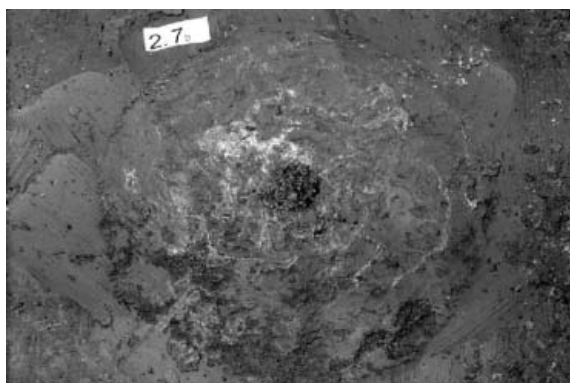
Okulär besiktning: Osymmetrisk pelare, ställvis löst (oreagerat) bm. konc. av bm i periferin.



Pelare 2:7a

Verktyg: Standardverktyg BRN = 267 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 15 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

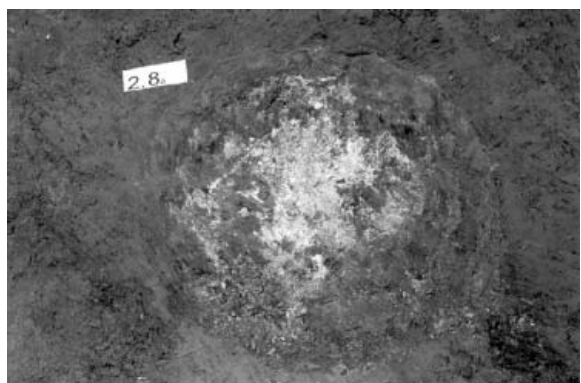
Okulär besiktning: Något grynig yta, porös och dränerande i mitten.



Pelare 2:7b

$\delta_{\text{pel. medel}}$: 145 mm
 $\delta_{\text{jord. medel}}$: 19 mm
 S_{eff} : 7,6
 V : 0,37
 w_N/w_L : 0,66

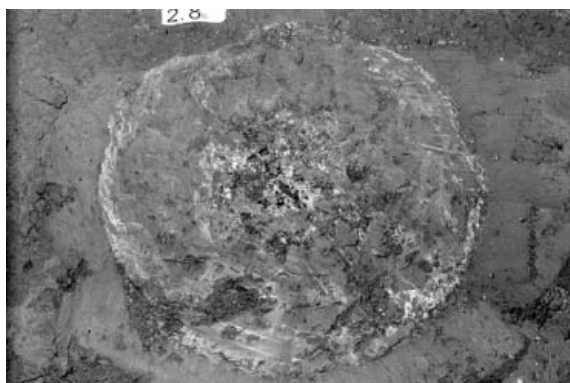
Okulär besiktning: Mycket porös i mitten, grå färgnyans.



Pelare 2:8a

Verktyg: Standardverktyg BRN = 267 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 15 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

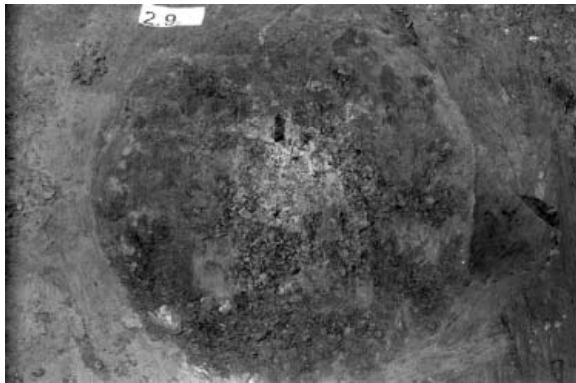
Okulär besiktning: Konc. av bm som ej reagerat (poröst och torrt).



Pelare 2:8b

$\delta_{\text{pel. medel}}$: 158 mm
 $\delta_{\text{jord. medel}}$: 20 mm
 S_{eff} : 7,9
 V : 0,34
 w_N/w_L : 0,63

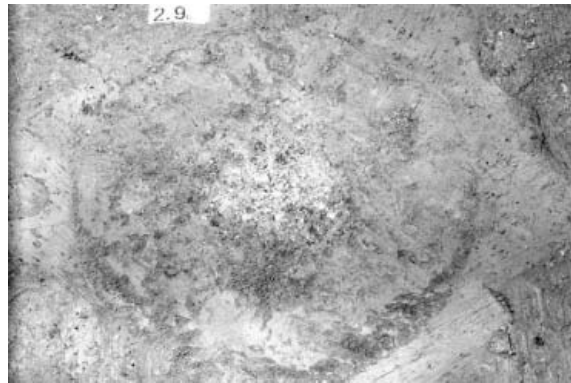
Okulär besiktning: Relativt jämnt fördelat bm. något porös i mitten, grå färgnyans.



Pelare 2:9a

Verktyg: Pinnborr BRN = 400 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 15 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

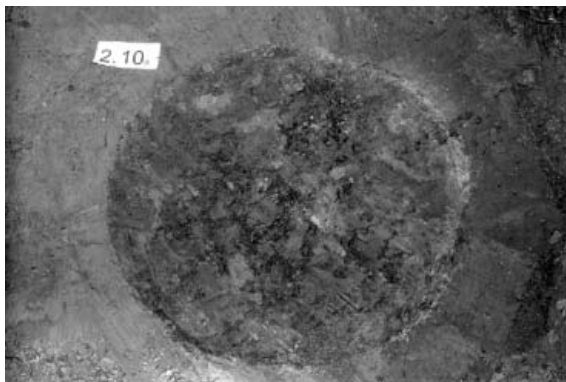
Okulär besiktning: Relativt jämnt fördelat bm över ytan, något grynig yta, mörkgrå färg.



Pelare 2:9b

$\delta_{\text{pel. medel}}$: 168 mm
 $\delta_{\text{jord. medel}}$: 20 mm
 S_{eff} : 8,4
 V : 0,27
 w_N/w_L : 0,63

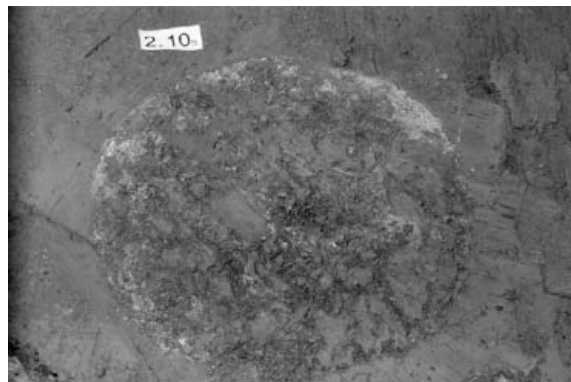
Okulär besiktning: Relativt jämnt fördelat bm över ytan, mörkgrå färg.



Pelare 2:10a

Verktyg: Pinnborr BRN = 400 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 15 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

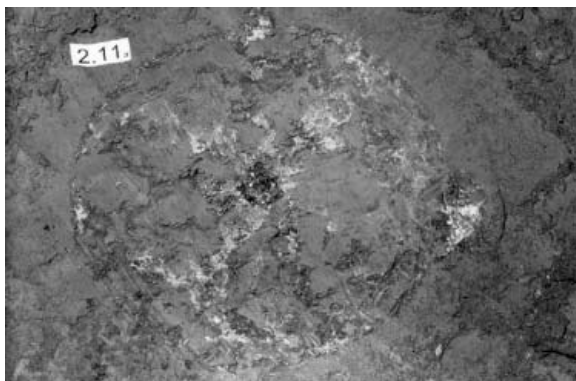
Okulär besiktning: Relativt jämnt fördelat bm. mörkgrå färg.



Pelare 2:10b

$\delta_{\text{pel. medel}}$: 140 mm
 $\delta_{\text{jord. medel}}$: 20 mm
 S_{eff} : 7,0
 V : 0,30
 w_N/w_L : 0,63

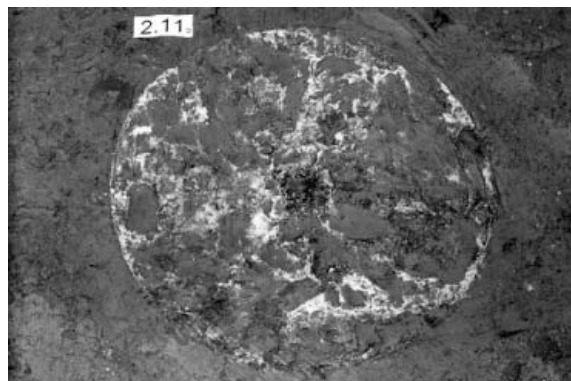
Okulär besiktning: Relativt jämnt fördelat bm. mörkgrå färg.



Pelare 2:11a

Verktyg: Övervinge BRN = 133 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 15 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

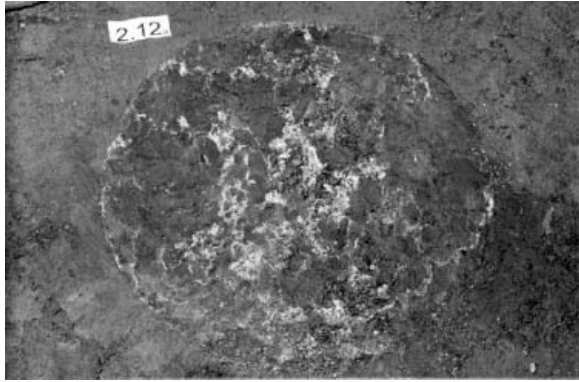
Okulär besiktning: Bindemedel spridet i stråk tvärs pelaren. Nederkant har bm mitigerat, porös mitt.



Pelare 2:11b

$\delta_{\text{pel. medel}}$: 108 mm
 $\delta_{\text{jord. medel}}$: 22 mm
 S_{eff} : 4,9
 V : 0,42
 w_N/w_L : 0,57

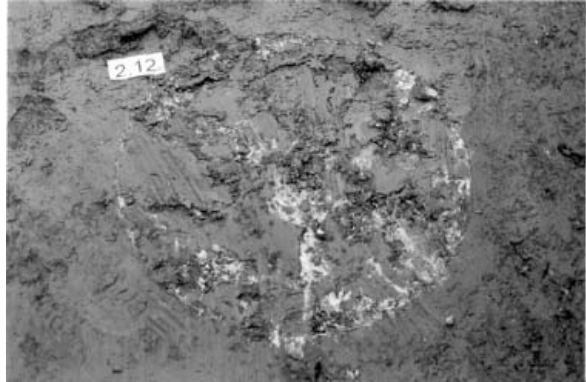
Okulär besiktning: Bindemedel spridet i ett melerat mönster, porös i mitten.



Pelare 2:12a

Verktyg: Övervinge BRN = 133 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 15 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

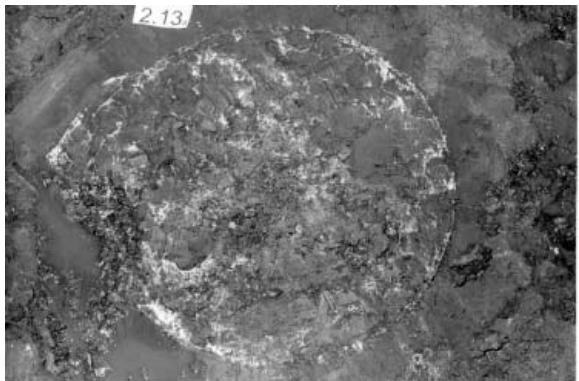
Okulär besiktning: Bindemedel spridet i stråk med konc. i mitten, porös i mitten.



Pelare 2:12b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 132 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 22 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 6,0
 V : 0,43
 w_N/w_L : 0,57

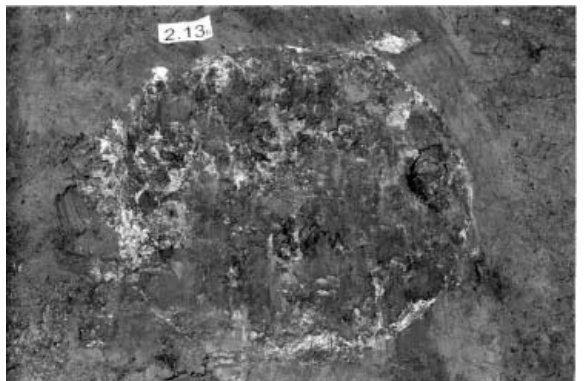
Okulär besiktning: Bindemedel spridet i stråk tvärs pelaren.



Pelare 2:13a

Verktyg: Övervinge BRN = 133 rot/m
 Munstycke: 22 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 15 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

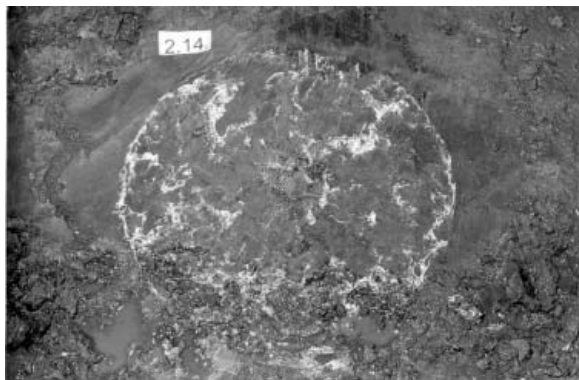
Okulär besiktning: Lokala spridningar av bm, konc. till mitten, porös i mitten.



Pelare 2:13b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 118 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 22 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 5,4
 V : 0,47
 w_N/w_L : 0,57

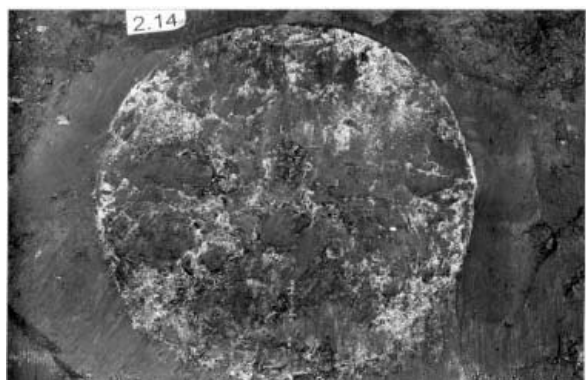
Okulär besiktning: Sten i ned- och uppkant, bm konc. runt stenarna.



Pelare 2:14a

Verktyg: Övervinge BRN = 133 rot/m
 Munstycke: 22 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 15 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

Okulär besiktning: Bindemedel spridet i ett melerat mönster, porös i mitten (dränerande).



Pelare 2:14b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 104 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 20 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 5,2
 V : 0,38
 w_N/w_L : 0,63

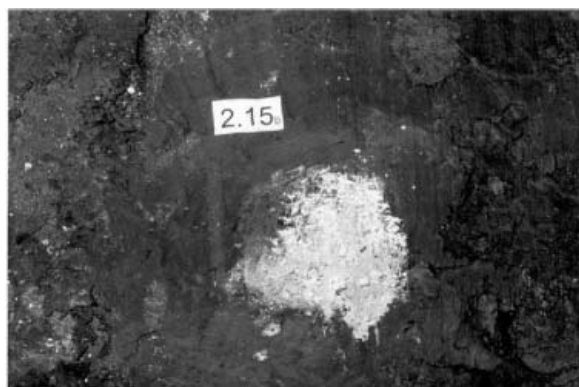
Okulär besiktning: Bindemedel spridet i ett melerat mönster.



Pelare 2:15a

Verktyg: Utan vinge
Munstycke: 37 mm
Tanktryck: 5,5 bar
Stigning: 15 mm/varv
Rot. hast: 80 varv/min

Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera ø20-23 cm, lös kc i centrum.



Pelare 2:15b

Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera ø21-23 cm, lös kc i centrum.



Pelare 2:16a

Verktyg: Utan vinge
Munstycke: 37 mm
Tanktryck: 5,5 bar
Stigning: 15 mm/varv
Rot. hast: 80 varv/min

Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera ø 20-23 cm, lös kc i centrum.



Pelare 2:16b

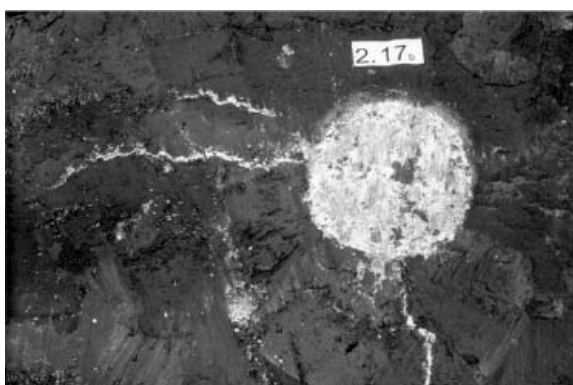
Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera ø 21 cm, lös kc i centrum. Oval pelare.



Pelare 2:17a

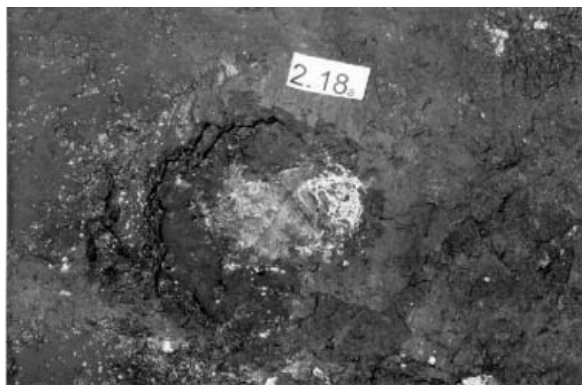
Verktyg: Utan vinge
Munstycke: 37 mm
Tanktryck: 5,5 bar
Stigning: 15 mm/varv
Rot. hast: 80 varv/min

Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera ø 23-25cm, kc i klumpar. Pneumatisk spräckning.



Pelare 2:17b

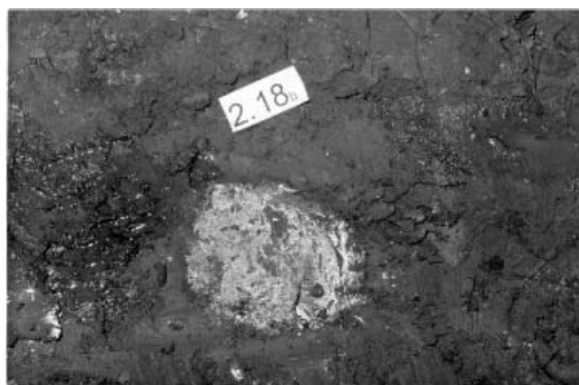
Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera ø 23-25cm. Pneumatisk spräckning 25-40cm långa.



Pelare 2:18a

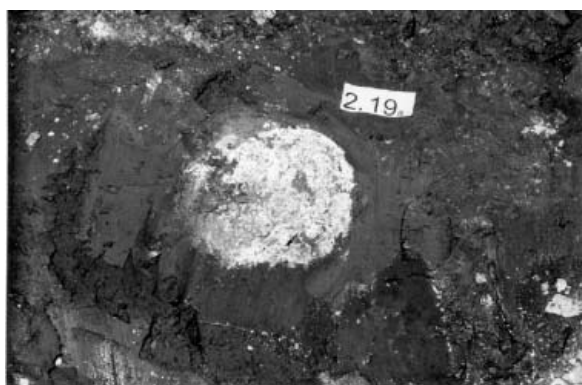
Verktyg: Utan vinge
Munstycke: 22 mm
Tanktryck: 5,5 bar
Stigning: 15 mm/varv
Rot. hast: 80 varv/min

Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera ø 12-20cm, oval pelare, hård kc kärna.



Pelare 2:18b

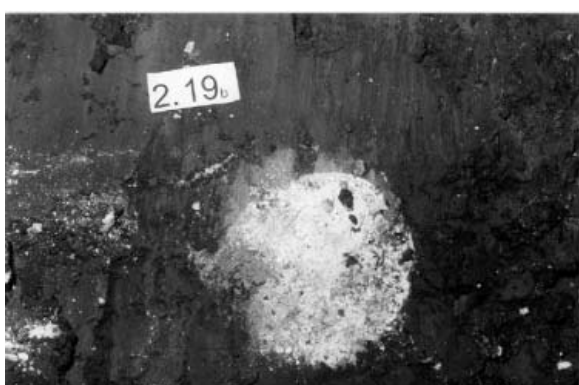
Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera ø 20cm, hård kc kärna.



Pelare 2:19a

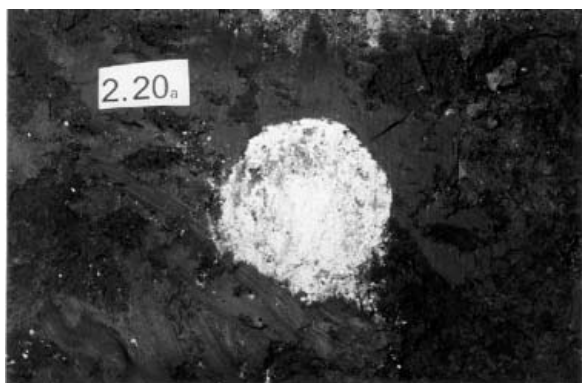
Verktyg: Utan vinge
Munstycke: 22 mm
Tanktryck: 5,5 bar
Stigning: 15 mm/varv
Rot. hast: 80 varv/min

Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera ø 21-24cm, hård kc kärna.



Pelare 2:19b

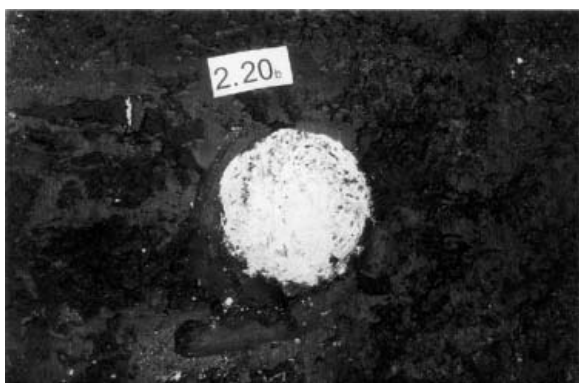
Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera ø 22cm, lös kc i mitten.



Pelare 2:20a

Verktyg: Utan vinge
Munstycke: 22 mm
Tanktryck: 3,5 bar
Stigning: 15 mm/varv
Rot. hast: 80 varv/min

Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera ø 20cm, lös kc i centrum, hård i ytterkant ca 5cm.



Pelare 2:20b

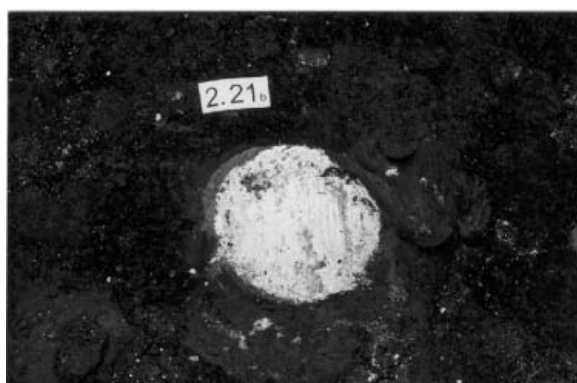
Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera ø 20cm, lös kc i mitten.



Pelare 2:21a

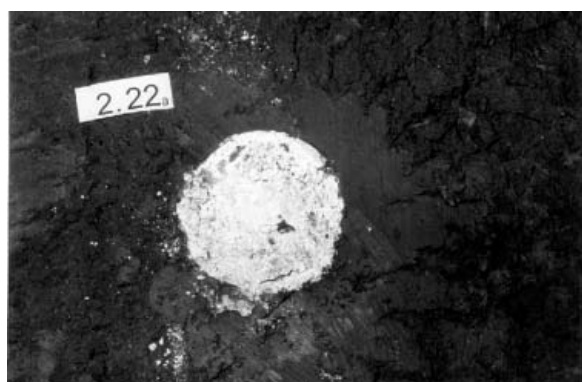
Verktyg: Utan vinge
Munstycke: 22 mm
Tanktryck: 3,5 bar
Stigning: 15 mm/varv
Rot. hast: 80 varv/min

Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera ø 22cm, lös kc i centrum, hård i ytterkant ca 5cm.



Pelare 2:21b

Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera ø 23cm, lös kc i mitten.



Pelare 2:22a

Verktyg: Utan vinge
Munstycke: 37 mm
Tanktryck: 3,5 bar
Stigning: 15 mm/varv
Rot. hast: 80 varv/min

Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera ø 20cm, lös kc i centrum.



Pelare 2:22b

Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera ø 21cm, lös kc i mitten.



Pelare 2:23a

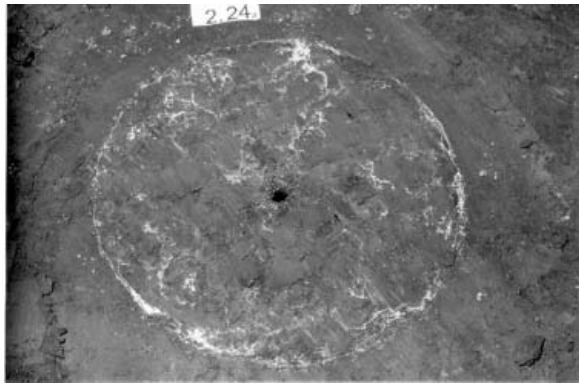
Verktyg: Utan vinge
Munstycke: 37 mm
Tanktryck: 3,5 bar
Stigning: 15 mm/varv
Rot. hast: 80 varv/min

Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera ø 18cm, lös kc i centrum.



Pelare 2:23b

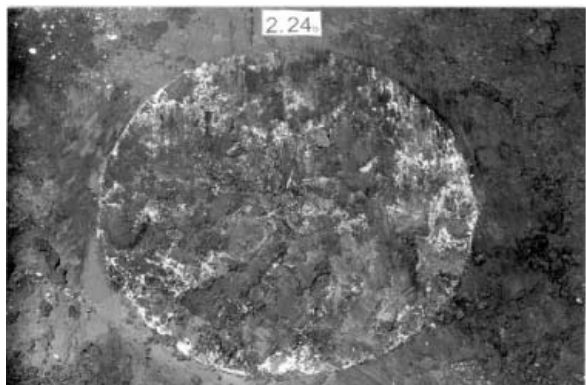
Okulär besiktning: Ingen blandning med omgivande lera ø 20cm, lös kc i mitten.



Pelare 2:24a

Verktyg: Övervinge BRN = 133 rot/m
 Munstycke: 22 mm
 Tanktryck: 3,5 bar
 Stigning: 15 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

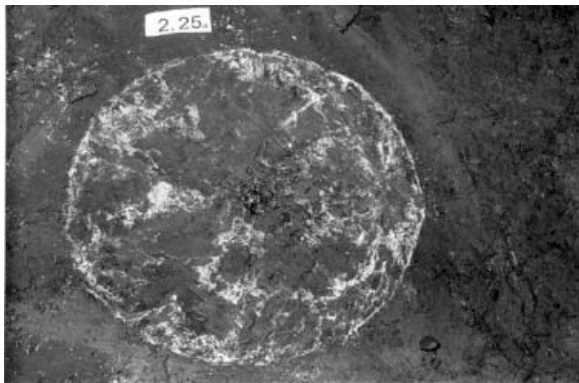
Okulär besiktning: Relativt jämnt fördelat bm i ett marmorerat mönster. Vattenfyllt centrumhål.



Pelare 2:24b

$\delta_{\text{pel. medel}}$: 81 mm
 $\delta_{\text{jord. medel}}$: 16 mm
 S_{eff} : 5,1
 V : 0,41
 w_N/w_L : 0,76

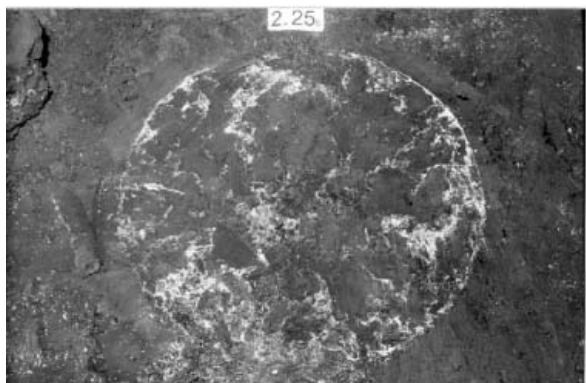
Okulär besiktning: Relativt jämnt fördelat bm, något randig yta.



Pelare 2:25a

Verktyg: Övervinge BRN = 133 rot/m
 Munstycke: 22 mm
 Tanktryck: 3,5 bar
 Stigning: 15 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

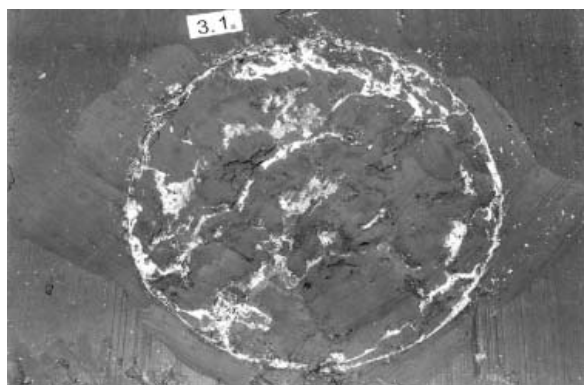
Okulär besiktning: Relativt jämnt fördelat bm i ett marmorerat mönster. Vattenfyllt centrumhål.



Pelare 2:25b

$\delta_{\text{pel. medel}}$: 98 mm
 $\delta_{\text{jord. medel}}$: 16 mm
 S_{eff} : 5,8
 V : 0,40
 w_N/w_L : 0,73

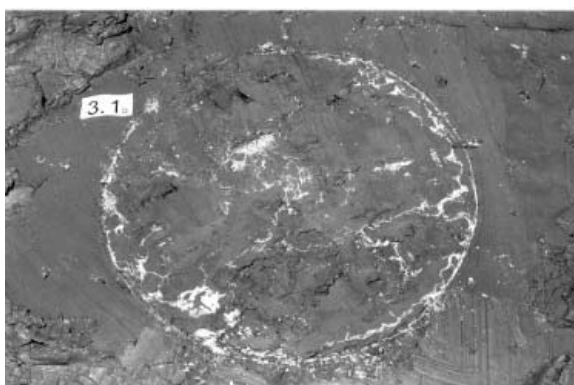
Okulär besiktning: Relativt jämnt fördelat bm, bm i ett marmorerat mönster.



Pelare 3:1a

Verktyg: Övervinge BRN = 67 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

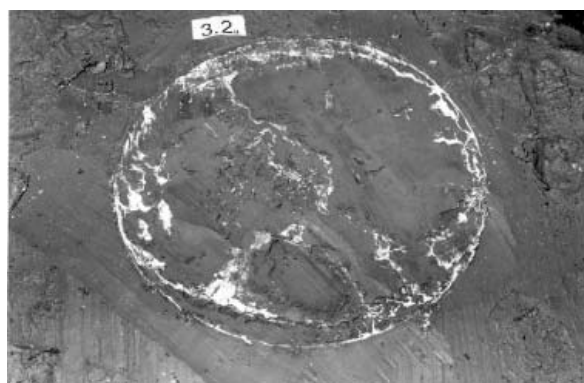
Okulär besiktning: Relativt jämn fördelning av bm. tunna stråk med bm. något mörkgrå färg.



Pelare 3:1b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 54 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 11 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 4,9
 V : 0,35
 w_N/w_L : 0,92

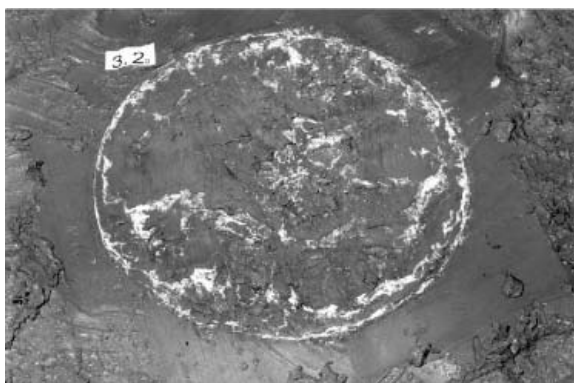
Okulär besiktning: Relativt jämn fördelning av bm. tunna stråk med bm. något mörkgrå färg.



Pelare 3:2a

Verktyg: Övervinge BRN = 67 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

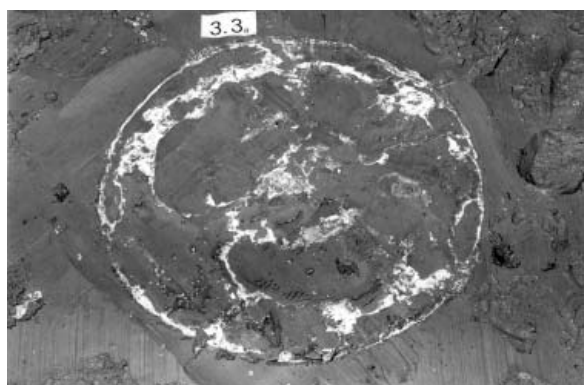
Okulär besiktning: Relativt jämn fördelning av bm. mörkgrå färg, lös i mitten



Pelare 3:2b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 54 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 11 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 4,9
 V : 0,36
 w_N/w_L : 0,92

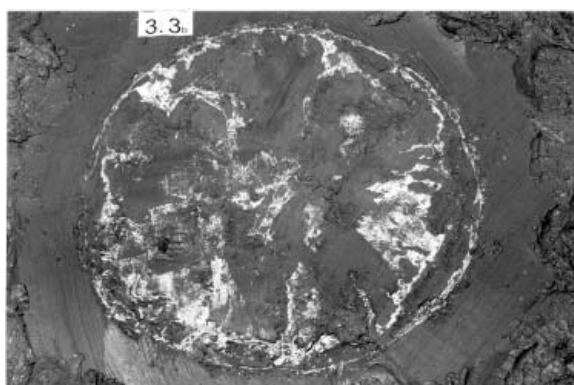
Okulär besiktning: Relativt jämn spridning av bm. mörkgrå färg.



Pelare 3:3a

Verktyg: Övervinge BRN = 67 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

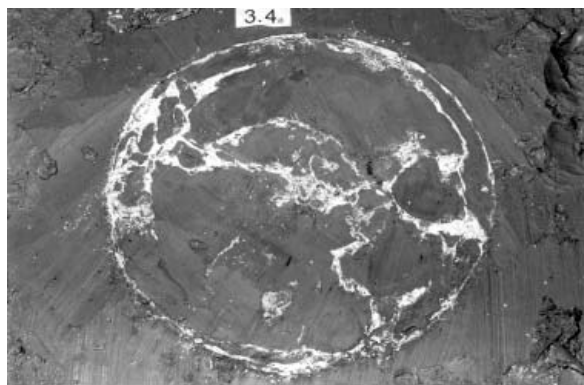
Okulär besiktning: Bindemedel samlat i ett stråk tvärs pelaren samt i periferin. Skjuvsprickor i ytterkanten.



Pelare 3:3b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 54 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 11 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 4,9
 V : 0,29
 w_N/w_L : 0,92

Okulär besiktning: Relativt jämn spridning av bm. över tvärsnittet. Bm finns i ränder över tvärsnittet.



Pelare 3:4a

Verktyg: Övervinge BRN = 67 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

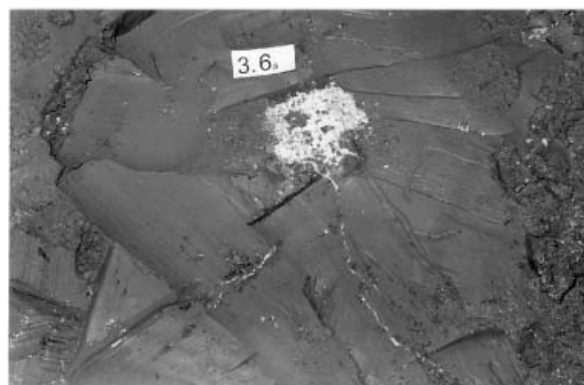
Okulär besiktning: Något gryning yta, sprickor mitt i pelaren. Bm konc. till periferin.



Pelare 3:4b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 61 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 11 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 5,5
 V : 0,34
 w_N/w_L : 0,92

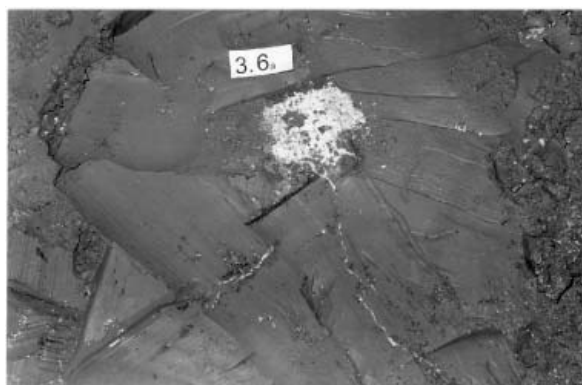
Okulär besiktning: Osymmetrisk pelare, ställvis löst (oreagerat) bm. konc. av bm i periferin.



Pelare 3:6a

Verktyg: Utan Vinge BRN = 0 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

Okulär besiktning: Bindemedel är konc. i mitten $\varnothing$ 14-15cm. Pneumatisk spräckning <40cm. Hård kärna.



Pelare 3:6b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: -
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: -
 $S_{\text{eff.}}$: -
 V : -
 w_N/w_L : -

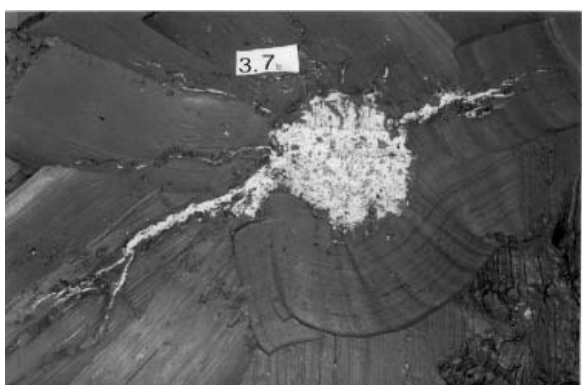
Okulär besiktning: Bindemedel är konc. i mitten $\varnothing$ 14-15cm. Pneumatisk spräckning <40cm. Porös kärna



Pelare 3:7a

Verktyg: Utan Vinge
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

Okulär besiktning: Bindemedel är konc. i mitten $\varnothing$ 18-19cm. Pneumatisk spräckning <35cm. Hård kärna.



Pelare 3:7b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: -
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: -
 $S_{\text{eff.}}$: -
 V : -
 w_N/w_L : -

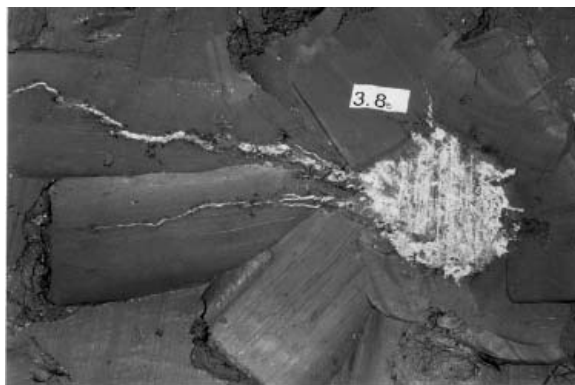
Okulär besiktning: Bindemedel är konc. i mitten $\varnothing$ 20cm, Pneumatisk spräckning <50cm. Porös kärna



Pelare 3:8a

Verktyg: Utan Vinge
Munstycke: 22 mm
Tanktryck: 5,5 bar
Stigning: 30 mm/varv
Rot. hast: 80 varv/min

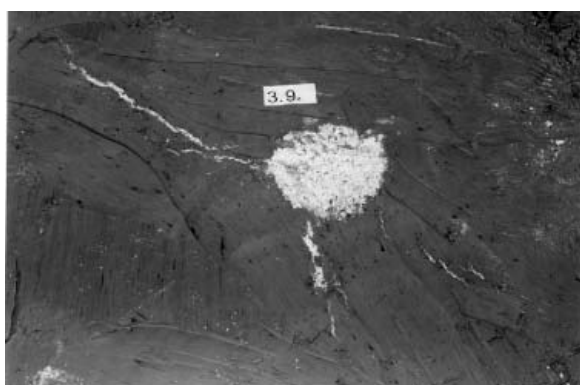
Okulär besiktning: Bindemedel är konc. i mitten oval $\varnothing$ 19-22cm. Pneumatisk spräckning <60cm.



Pelare 3:8b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: -
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: -
 $S_{\text{eff.}}$: -
 V : -
 w_N/w_L : -

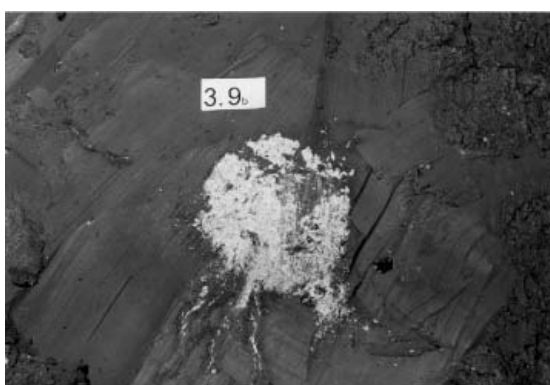
Okulär besiktning: Bindemedel är konc. i mitten $\varnothing$ 22cm. Pneumatisk spräckning <80cm. Hård kärna



Pelare 3:9a

Verktyg: Utan Vinge
Munstycke: 22 mm
Tanktryck: 5,5 bar
Stigning: 30 mm/varv
Rot. hast: 80 varv/min

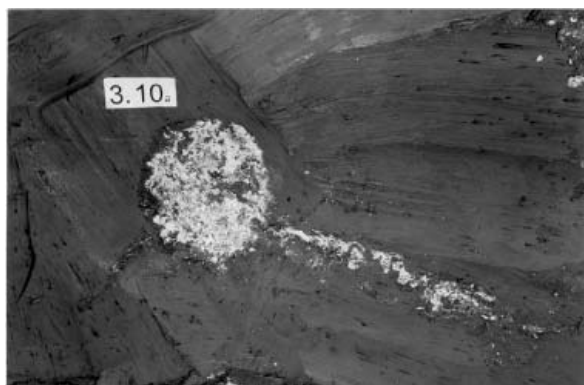
Okulär besiktning: Bindemedel är konc. i mitten $\varnothing$ 19-21cm. Pneumatisk spräckning <50cm. Porös kärna.



Pelare 3:9b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: -
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: -
 $S_{\text{eff.}}$: -
 V : -
 w_N/w_L : -

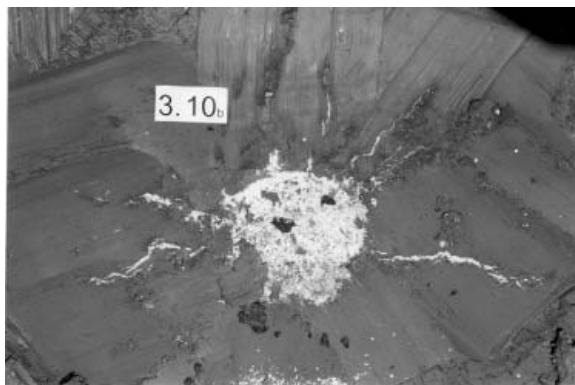
Okulär besiktning: Bindemedel är konc. i mitten $\varnothing$ 22-24cm. Pneumatisk spräckning <40cm. Porös kärna



Pelare 3:10a

Verktyg: Utan Vinge
Munstycke: 22 mm
Tanktryck: 5,5 bar
Stigning: 30 mm/varv
Rot. hast: 160 varv/min

Okulär besiktning: Bindem. konc. i mitten, oval porös kärna $\varnothing$ 19-23cm. Pneumatisk spräckning <60cm.



Pelare 3:10b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: -
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: -
 $S_{\text{eff.}}$: -
 V : -
 w_N/w_L : -

Okulär besiktning: Bindemedel är konc. i mitten $\varnothing$ 19-20cm. Pneumatisk spräckning <30cm. Porös kärna



Pelare 3:12a

Verktyg: Utan Vinge
Munstycke: 22 mm
Tanktryck: 5,5 bar
Stigning: 30 mm/varv
Rot. hast: 160 varv/min

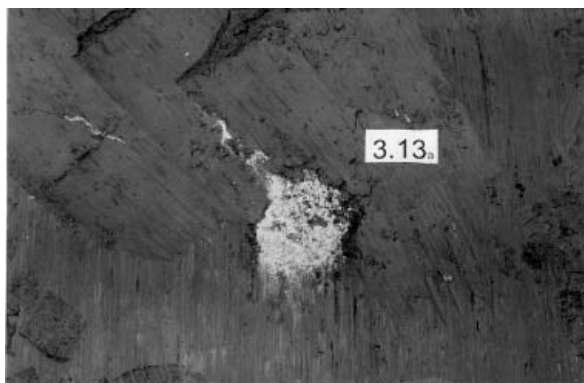
Okulär besiktning: Bindemedel är konc. i mitten $\varnothing$ 21cm, Pneumatisk spräckning <35cm. Porös kärna.



Pelare 3:12b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: -
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: -
 $S_{\text{eff.}}$: -
 V : -
 w_N/w_L : -

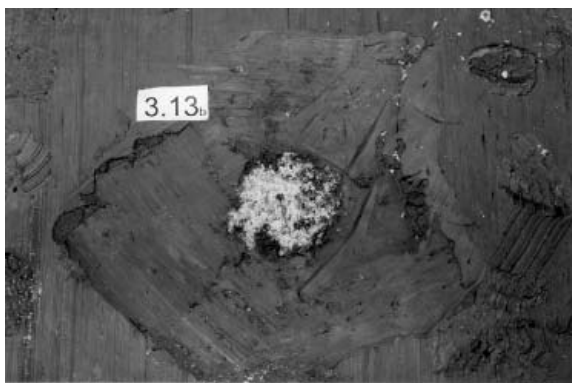
Okulär besiktning: Bindemedel är konc. i mitten $\varnothing$ 20cm, Pneumatisk spräckning <18cm. Porös kärna



Pelare 3:13a

Verktyg: Utan Vinge
Munstycke: 37 mm
Tanktryck: 5,5 bar
Stigning: 30 mm/varv
Rot. hast: 160 varv/min

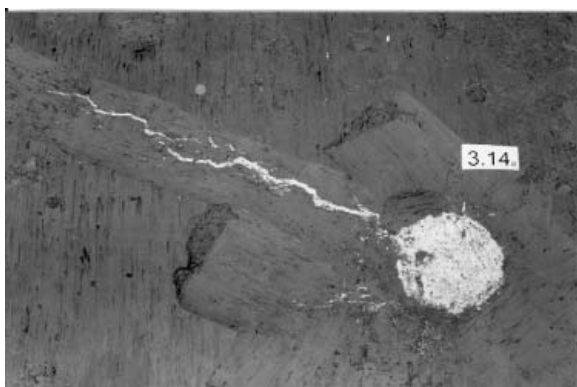
Okulär besiktning: Bindemedel. är konc. i mitten $\varnothing$ 14cm, Pneumatisk spräckning <25cm. Porös kärna.



Pelare 3:13b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: -
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: -
 $S_{\text{eff.}}$: -
 V : -
 w_N/w_L : -

Okulär besiktning: Bindemedel är konc. i mitten $\varnothing$ 15cm. Porös kärna



Pelare 3:14a

Verktyg: Utan Vinge
Munstycke: 37 mm
Tanktryck: 5,5 bar
Stigning: 30 mm/varv
Rot. hast: 160 varv/min

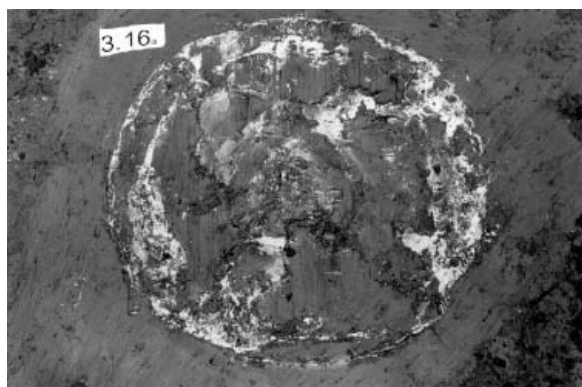
Okulär besiktning: Bindem. konc. i mitten $\varnothing$ 18cm, Pneumatisk spräckning <77cm. lokalt porös kärna.



Pelare 3:14b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: -
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: -
 $S_{\text{eff.}}$: -
 V : -
 w_N/w_L : -

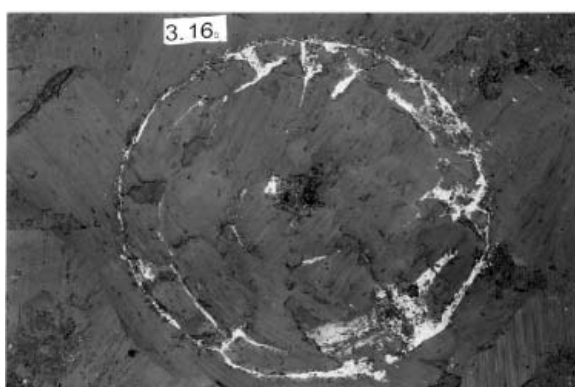
Okulär besiktning: Bindem. konc. i mitten oval porös kärna $\varnothing$ 17-21cm, Pneumatisk spräckning <80cm.



Pelare 3:16a

Verktyg: Övervinge BRN = 67 rot/m
 Munstycke: 22 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

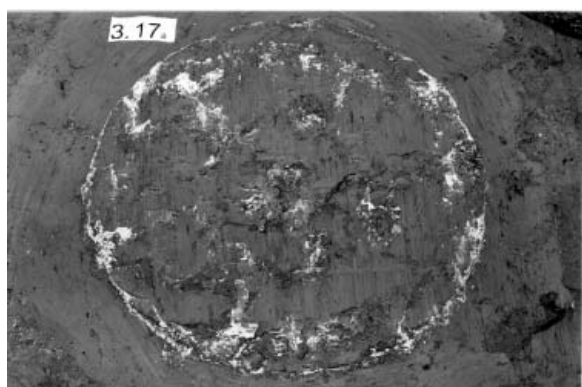
Okulär besiktning: Något oval pelare $\varnothing$ 55-57cm. Bm konc. till tjocka stråk och till periferin. Lös i mitten.



Pelare 3:16b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 55 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 14 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 3,9
 V : 0,40
 w_N/w_L : 0,82

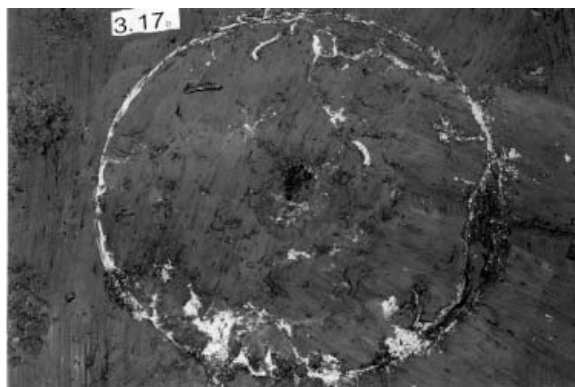
Okulär besiktning: Bindemedel konc. i cirkclar i periferin.



Pelare 3:17a

Verktyg: Övervinge BRN = 67 rot/m
 Munstycke: 22 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

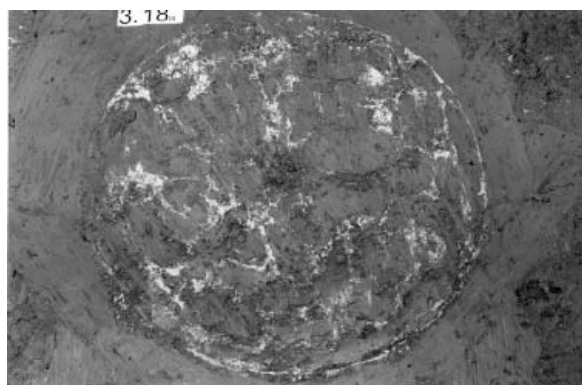
Okulär besiktning: Något oval pelare $\varnothing$ 58-60cm. Bm i stråk (inget mönster) samt i periferin. Porös i mitten.



Pelare 3:17b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 68 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 14 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 4,9
 V : 0,31
 w_N/w_L : 0,82

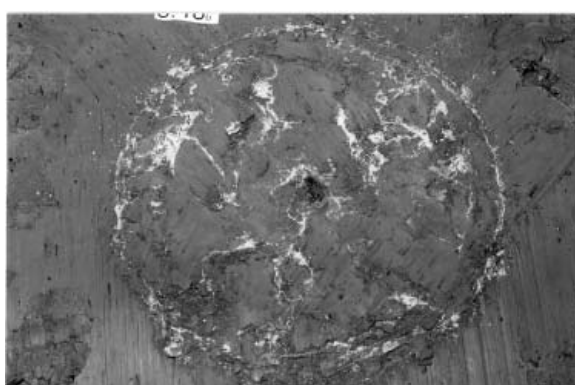
Okulär besiktning: Bidemedel konc. i tunna stråk tvärs pelaren och i periferin. Lös i mitten.



Pelare 3:18a

Verktyg: Övervinge BRN = 67 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

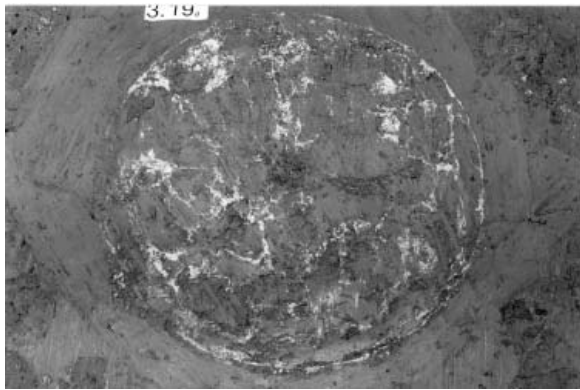
Okulär besiktning: Bindemedel finns i ett marmorerat mönster över tvärsnittet. Porös i mitten.



Pelare 3:18b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 76 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 15 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 5,1
 V : 0,37
 w_N/w_L : 0,79

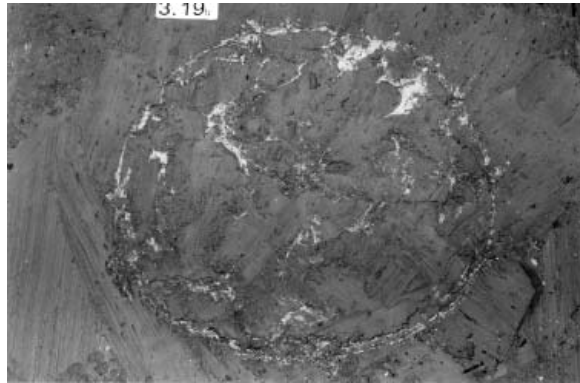
Okulär besiktning: Bindemedel finns i stråk över tvärsnittet. Något porös i mitten.



Pelare 3:19a

Verktyg: Övervinge BRN = 67 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

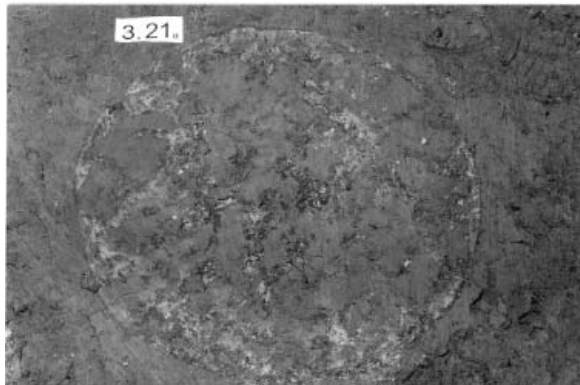
Okulär besiktning: Bindemedel i cirkulära stråk över tvärsnittet och i lokala ansamlingar.



Pelare 3:19b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 67 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 15 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 4,5
 V : 0,32
 w_N/w_L : 0,79

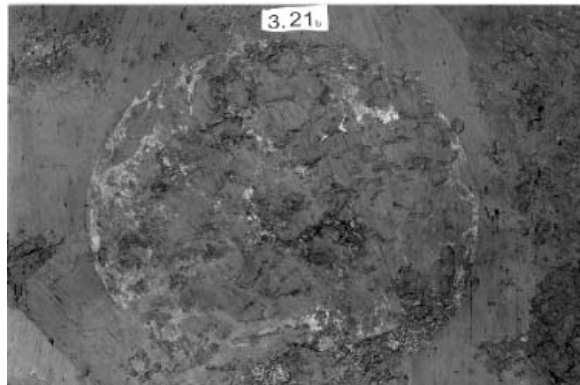
Okulär besiktning: Något oval pelare ϕ 58-61cm. Bm konc. i lokala ansamlingar & i periferin. Lös i mitten.



Pelare 3:21a

Verktyg: Pinnborr BRN = 200 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

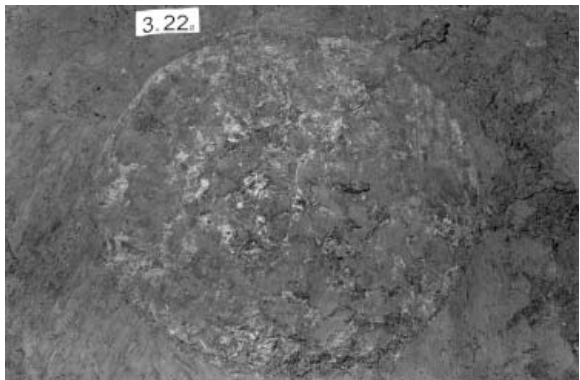
Okulär besiktning: Något oval pelare ϕ 58-60cm. Bm jämnt fördelat över tvärsnittet. Mörkgrå färg.



Pelare 3:21b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 123 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 18 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 6,8
 V : 0,39
 w_N/w_L : 0,70

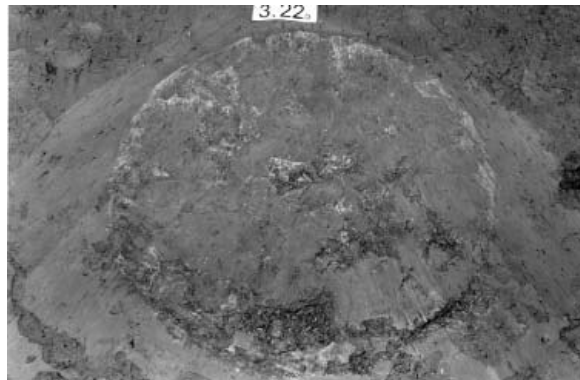
Okulär besiktning: Bindemedel jämnt fördelat över tvärsnittet, små ansamlingar. Mörkgrå.



Pelare 3:22a

Verktyg: Pinnborr BRN = 200 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

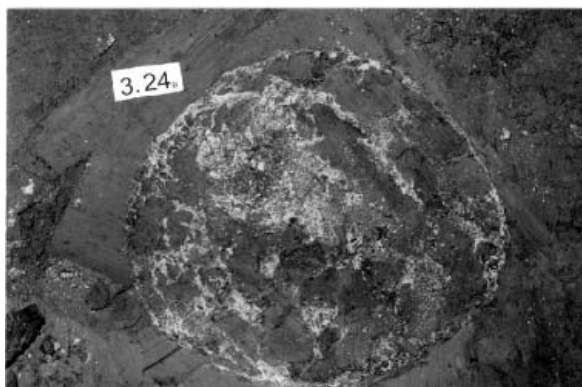
Okulär besiktning: Bindemedel jämnt fördelat över tvärsnittet. Mörkgrå färg.



Pelare 3:22b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 127 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 18 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 7,1
 V : 0,31
 w_N/w_L : 0,70

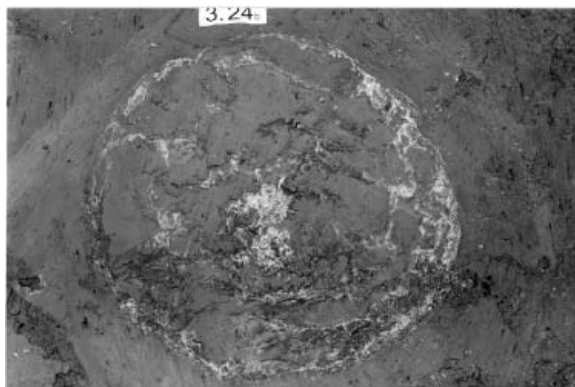
Okulär besiktning: Bindemedel jämnt fördelat, små ansamlingar, ngt. porösa zoner, mörkgrå.



Pelare 3:24a

Verktg: Standardverktg BRN = 133 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

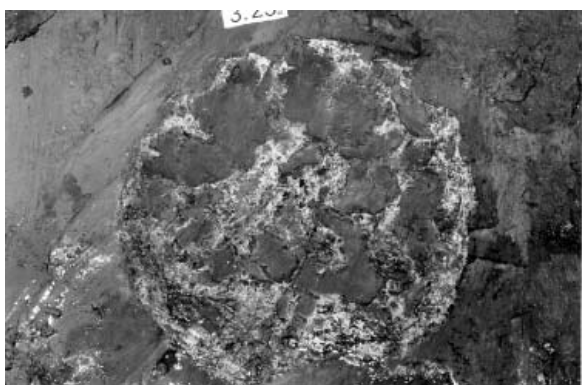
Okulär besiktning: Potatis formad pelare. Stråk och klumpar av bm. Något grynig yta.



Pelare 3:24b

$\delta_{\text{pel. medel}}$: 118 mm
 $\delta_{\text{jord. medel}}$: 18 mm
 S_{eff} : 6,6
 V : 0,40
 w_N/w_L : 0,70

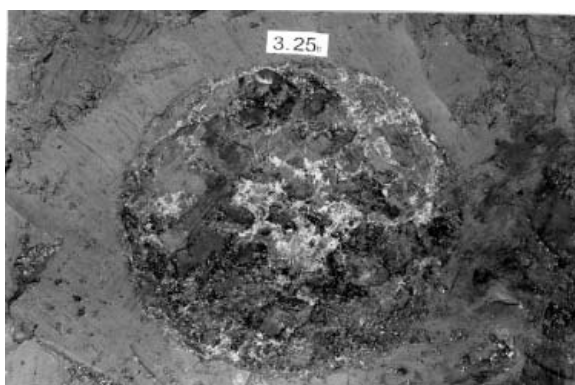
Okulär besiktning: Något oval pelare. Bm finns i klumpar och i stråk i periferin.



Pelare 3:25a

Verktg: Standardverktg BRN = 133 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

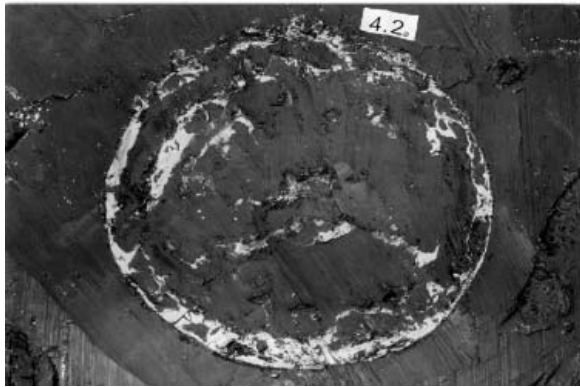
Okulär besiktning: Grynig yta. Bm finns i klumpar över tvärsnittet samt i periferin.



Pelare 3:25b

$\delta_{\text{pel. medel}}$: 85 mm
 $\delta_{\text{jord. medel}}$: 16 mm
 S_{eff} : 5,3
 V : 0,42
 w_N/w_L : 0,76

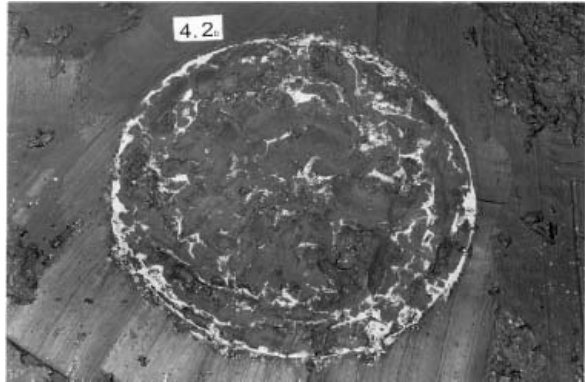
Okulär besiktning: Porös och grynig yta. Bm finns i klumpar. Vatten tränger upp ur pelaren



Pelare 4:2a

Verktyg: Övervinge BRN = 67 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 3,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

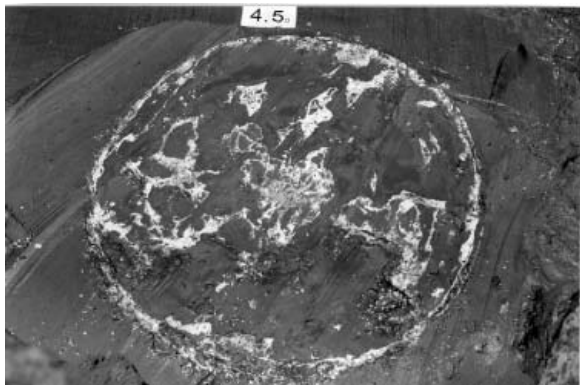
Okulär besiktning: Oval pelare ø58-61 cm. Bm. konc. i breda stråk och i periferin..



Pelare 4:2b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 52 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 10 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 5,2
 V : 0,35
 w_N/w_L : 0,95

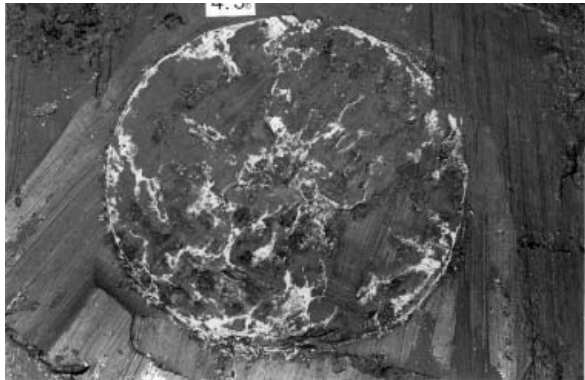
Okulär besiktning: Bindemedel i tunna stråk och mindre klumpar över tvärsnittet.



Pelare 4:5a

Verktyg: Övervinge BRN = 67 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 3,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

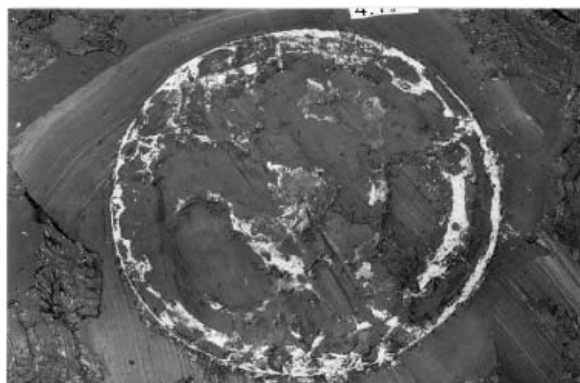
Okulär besiktning: Bindemedel konc. i klumpar och tjockare stråk. Konc. av bm. i centrum.



Pelare 4:5b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 56 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 10 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 5,6
 V : 0,30
 w_N/w_L : 0,95

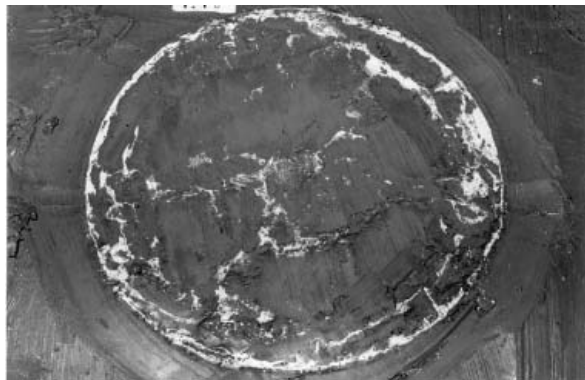
Okulär besiktning: Bindemedel finns i stråk över tvärsnittet, marmor mönster.



Pelare 4:7a

Verktyg: Övervinge BRN = 67 rot/m
 Munstycke: 22 mm
 Tanktryck: 3,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

Okulär besiktning: Bindemedel samlat i tjocka stråk radiellt pelaren samt i periferin.



Pelare 4:7b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 53 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 10 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 5,3
 V : 0,37
 w_N/w_L : 0,95

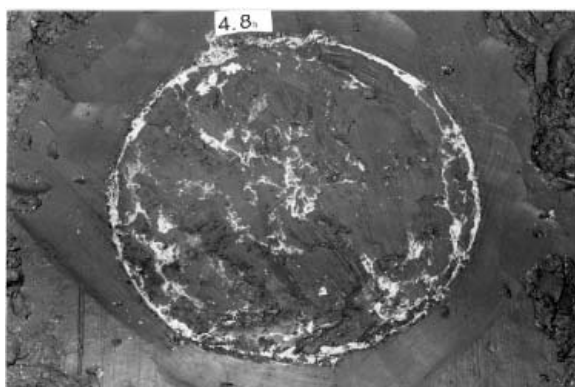
Okulär besiktning: Bindemedel i tjocka stråk radiellt och tvärs pelaren. Konc. av bm. i periferin.



Pelare 4:8a

Verktyg: Övervinge BRN = 67 rot/m
 Munstycke: 22 mm
 Tanktryck: 3,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

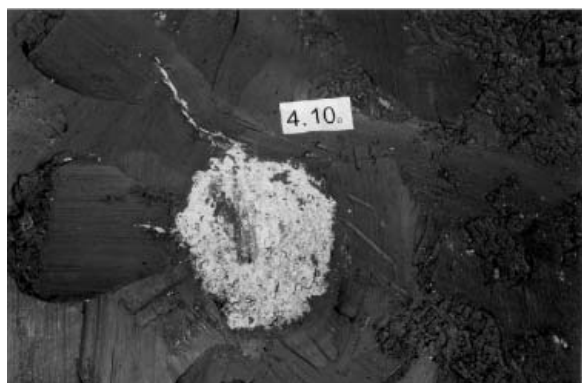
Okulär besiktning: Bindemedel konc. till stråk samt till periferin och mitten. Ngt. porös i mitten.



Pelare 4:8b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 61 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 11 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 5,5
 V : 0,30
 w_N/w_L : 0,92

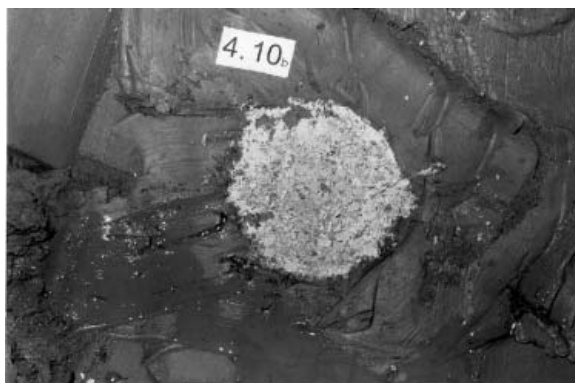
Okulär besiktning: Bindemedel finns i stråk och i periferin. Marmor mönstrad yta.



Pelare 4:10a

Verktyg: Utan Vinge BRN = 0 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 3,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

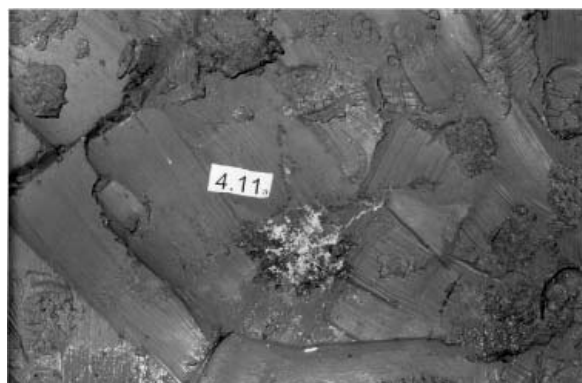
Okulär besiktning: Bindemedel konc. i mitten på ca $\varnothing$ 24-30cm, Pneumatisk spräckning <15cm. Porös kärna.



Pelare 4:10b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: -
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: -
 $S_{\text{eff.}}$: -
 V : -
 w_N/w_L : -

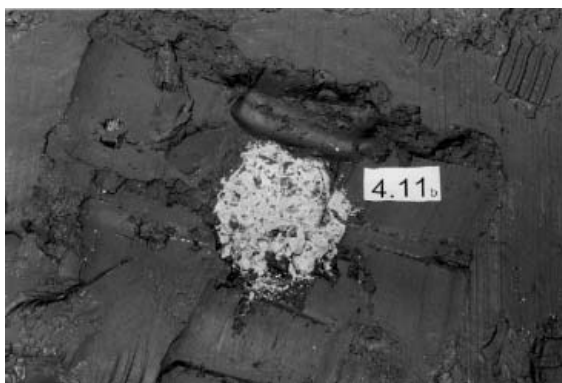
Okulär besiktning: Bindemedel är konc. i mitten på ca $\varnothing$ 24cm. Porös kärna.



Pelare 4:11a

Verktyg: Utan Vinge BRN = 0 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 3,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

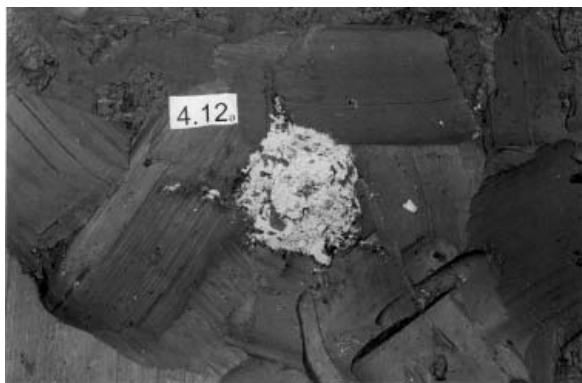
Okulär besiktning: Bm. är konc. i mitten på $\varnothing$ 15cm, Pneumatisk spräckning <10cm. Porös kärna.



Pelare 4:11b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: -
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: -
 $S_{\text{eff.}}$: -
 V : -
 w_N/w_L : -

Okulär besiktning: Bm är konc. i mitten på ca $\varnothing$ 19cm, Pneumatisk spräckning <10cm. Porös kärna

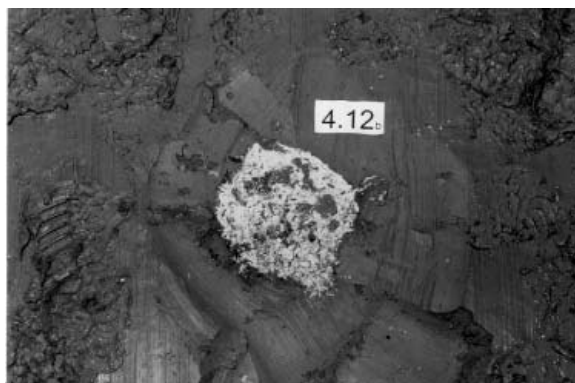


Pelare 4:12a

Verktyg: Utan Vinge
Munstycke: 22 mm
Tanktryck: 3,5 bar
Stigning: 30 mm/varv
Rot. hast: 160 varv/min

BRN = 0 rot/m

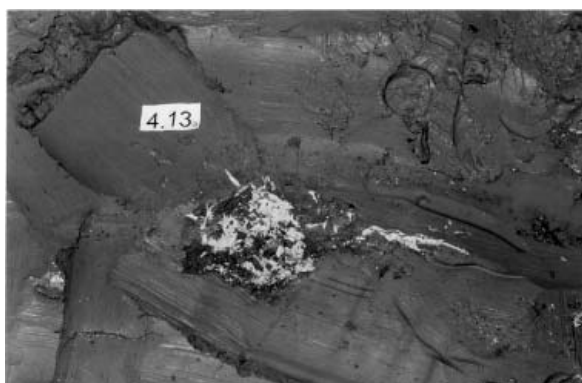
Okulär besiktning: Poröst bindemedel konc. i mitten ø 17-20cm, Pneumatisk spräckning <10cm.



Pelare 4:12b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: -
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: -
 $S_{\text{eff.}}$: -
 V : -
 w_N/w_L : -

Okulär besiktning: Poröst bindemedel konc. i mitten på ca ø 20cm. Pneumatisk spräckning <10cm.

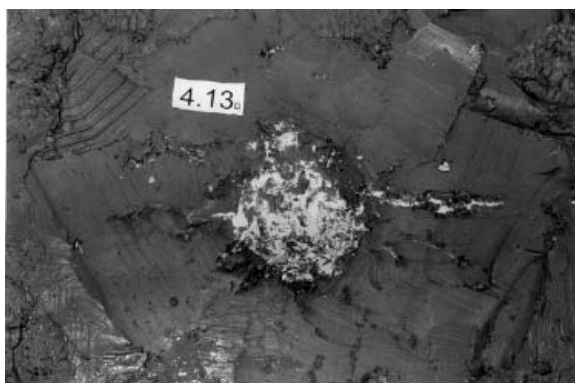


Pelare 4:13a

Verktyg: Utan Vinge
Munstycke: 22 mm
Tanktryck: 3,5 bar
Stigning: 30 mm/varv
Rot. hast: 160 varv/min

BRN = 0 rot/m

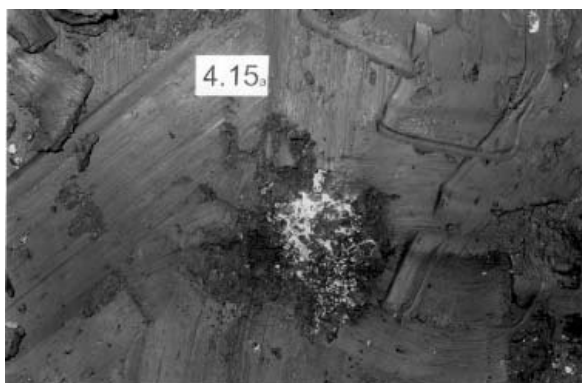
Okulär besiktning: Bm. är konc. i mitten på ø 16cm. Pneumatisk spräckning <25cm. Fast kärna.



Pelare 4:13b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: -
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: -
 $S_{\text{eff.}}$: -
 V : -
 w_N/w_L : -

Okulär besiktning: Bm. är konc. i mitten på ca ø 18-22cm, Pneumatisk spräckning <20cm. Hård kärna

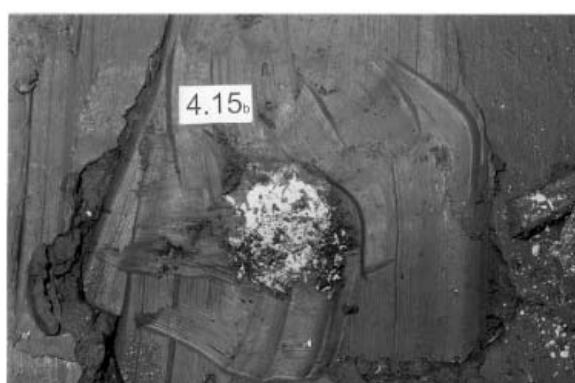


Pelare 4:15a

Verktyg: Utan Vinge
Munstycke: 22 mm
Tanktryck: 3,5 bar
Stigning: 30 mm/varv
Rot. hast: 80 varv/min

BRN = 0 rot/m

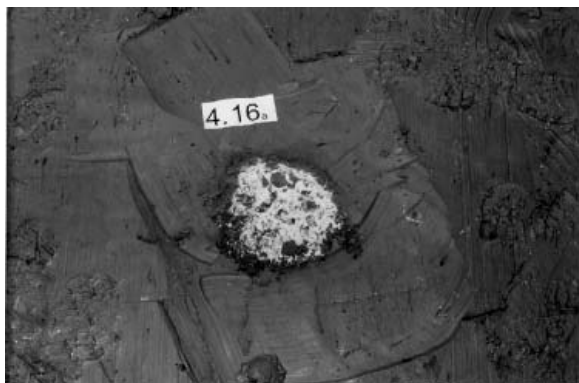
Okulär besiktning: Bm. är konc. i mitten på ø 13cm. Fast kärna.



Pelare 4:15b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: -
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: -
 $S_{\text{eff.}}$: -
 V : -
 w_N/w_L : -

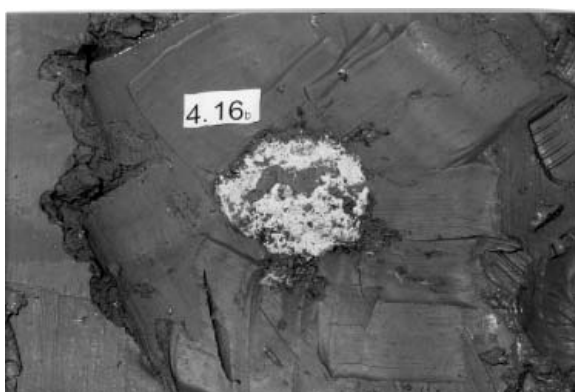
Okulär besiktning: Bm. är konc. i mitten på ø 17cm. Fast kärna.



Pelare 4:16a

Verktyg: Utan Vinge BRN = 0 rot/m
 Munstycke: 22 mm
 Tanktryck: 3,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

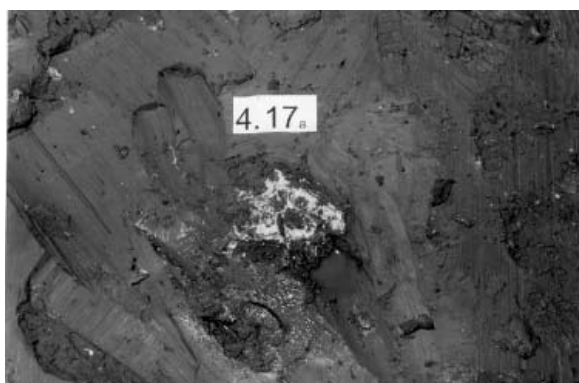
Okulär besiktning: Bm. är konc. i mitten på ø 17cm.
 Fast kärna, något porös i periferin.



Pelare 4:16b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: -
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: -
 $S_{\text{eff.}}$: -
 V : -
 w_N/w_L : -

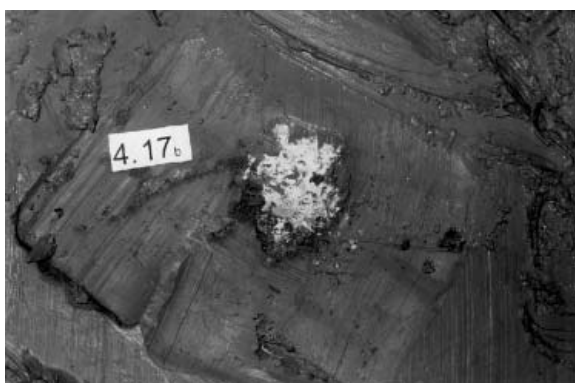
Okulär besiktning: Bm. är konc. i mitten på ca ø 17-20cm. Fast kärna.



Pelare 4:17a

Verktyg: Utan Vinge BRN = 0 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 3,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

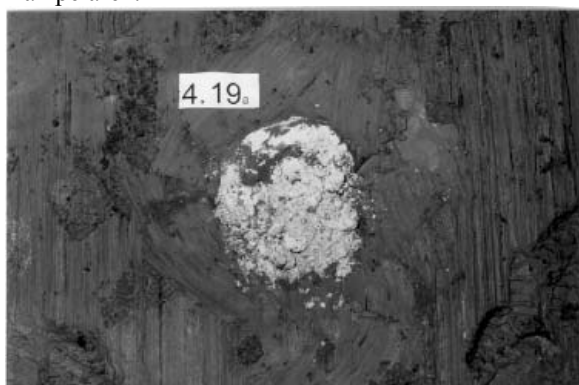
Okulär besiktning: Bm. är konc. i mitten på ca ø 13-15cm. Fast kärna. Område med mkt. lös lera ca 8cm från pelaren.



Pelare 4:17b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: -
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: -
 $S_{\text{eff.}}$: -
 V : -
 w_N/w_L : -

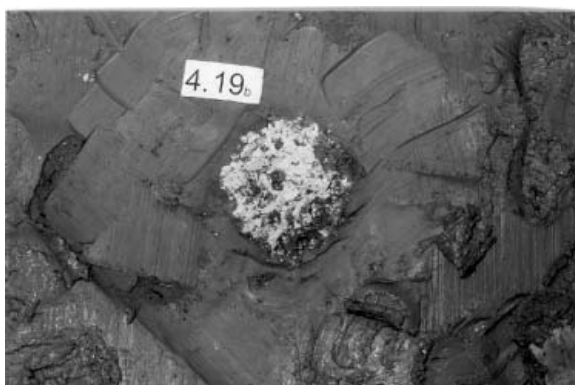
Okulär besiktning: Bm. är konc. i mitten på ø 15cm. Fast kärna



Pelare 4:19a

Verktyg: Utan Vinge BRN = 0 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 3,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

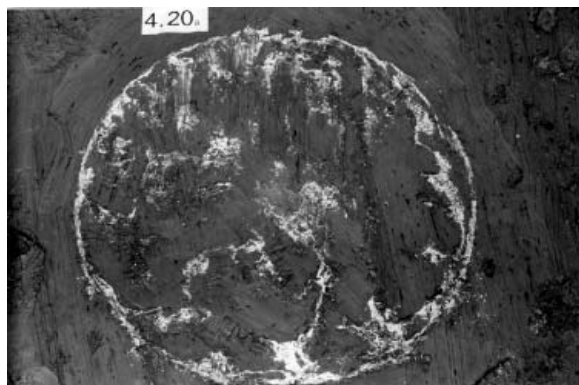
Okulär besiktning: Bm. är konc. i mitten på ca ø 19-20cm. Mestadels porös kärna.



Pelare 4:19b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: -
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: -
 $S_{\text{eff.}}$: -
 V : -
 w_N/w_L : -

Okulär besiktning: Bm. är konc. i mitten på ø 18cm. Mestadels fast kärna

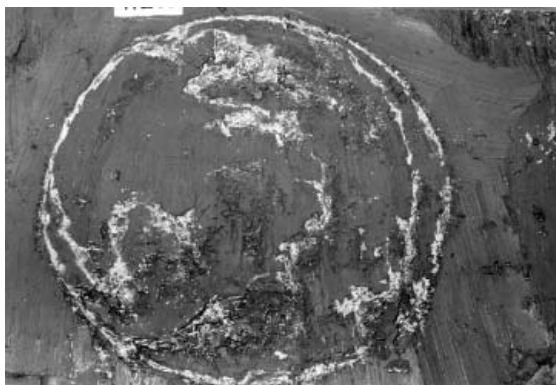


Pelare 4:20a

Verktyg: Övervinge
Munstycke: 22 mm
Tanktryck: 3,5 bar
Stigning: 30 mm/varv
Rot. hast: 80 varv/min

BRN = 67 rot/m

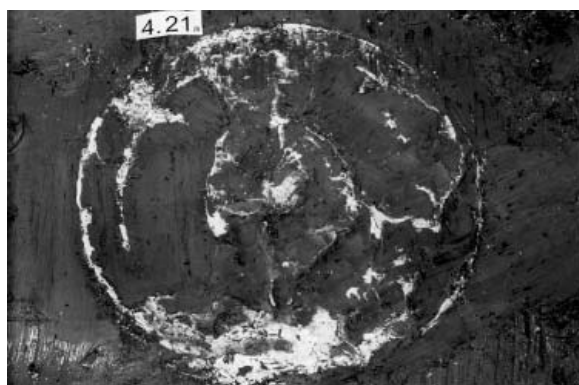
Okulär besiktning: Bindemedel konc. till stråk (radiellt) och klumpar samt till periferin.



Pelare 4:20b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 64 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 12 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 5,3
 V : 0,33
 w_N/w_L : 0,88

Okulär besiktning: Bindemedel konc. till stråk och till klumpar samt till periferin.

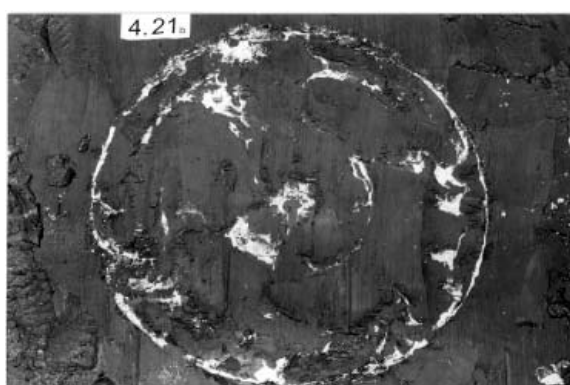


Pelare 4:21a

Verktyg: Övervinge
Munstycke: 22 mm
Tanktryck: 3,5 bar
Stigning: 30 mm/varv
Rot. hast: 80 varv/min

BRN = 67 rot/m

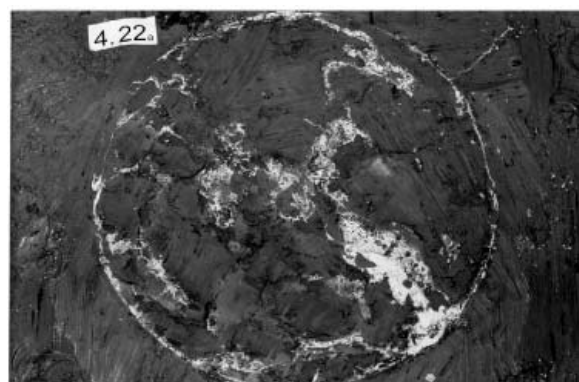
Okulär besiktning: Bindemedel finns i tjocka stråk (radiellt) samt i klumpar i periferin.



Pelare 4:21b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 62 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 12 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 5,2
 V : 0,37
 w_N/w_L : 0,88

Okulär besiktning: Bindemedel konc. i klumpar över tvärsnittet samt i tunna stråk.

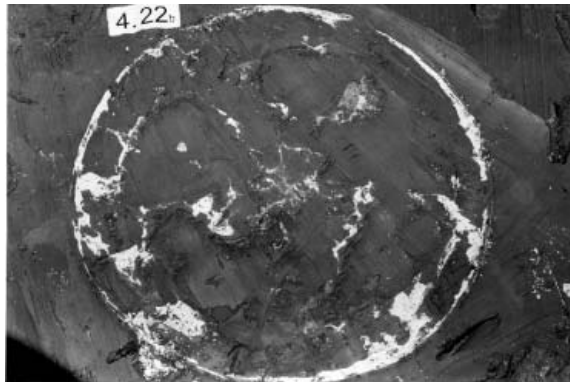


Pelare 4:22a

Verktyg: Övervinge
Munstycke: 37 mm
Tanktryck: 3,5 bar
Stigning: 30 mm/varv
Rot. hast: 80 varv/min

BRN = 67 rot/m

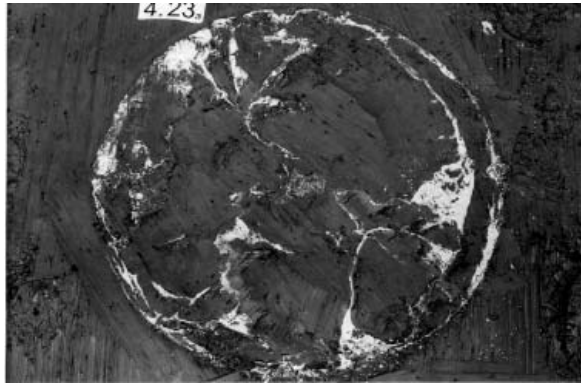
Okulär besiktning: Bindemedel finns i klumpar och tjocka stråk tvärs pelaren.



Pelare 4:22b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 63 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 13 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 4,8
 V : 0,40
 w_N/w_L : 0,85

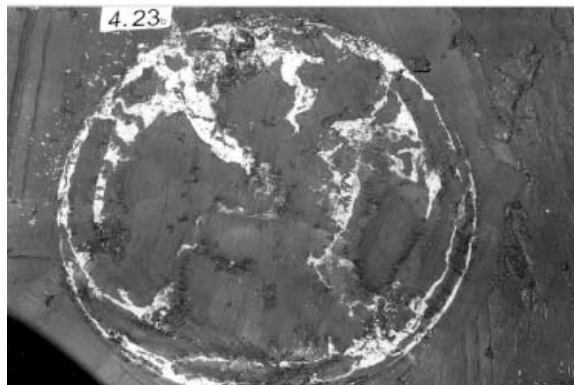
Okulär besiktning: Bindemedel finns i tjocka stråk in från periferin.



Pelare 4:23a

Verktyg: Övervinge BRN = 67 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 3,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 80 varv/min

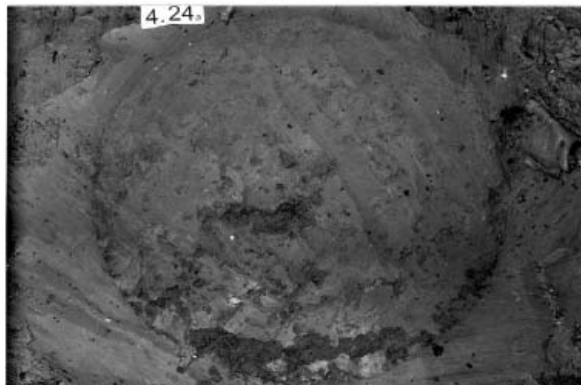
Okulär besiktning: Bindemedel finns i klumpar och stråk över tvärsnittet.



Pelare 4:23b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 69 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 14 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 5,3
 V : 0,40
 w_N/w_L : 0,85

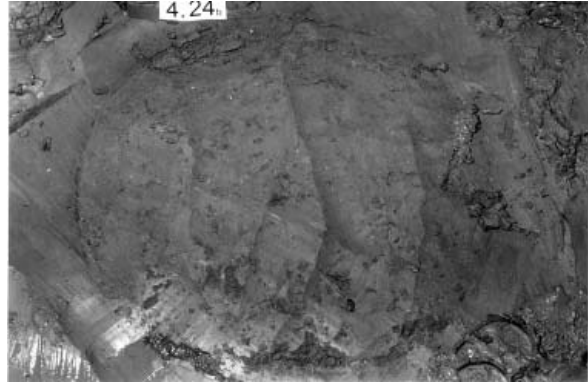
Okulär besiktning: Bindemedel finns i "tarmar" in från periferin samt i radiella stråk..



Pelare 4:24a – Referenspelare

Verktyg: Pinnborr BRN = 300 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 20 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

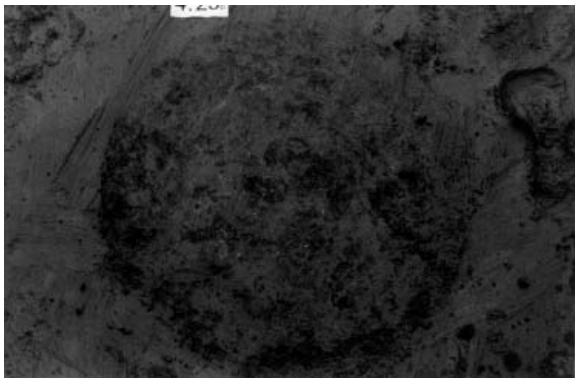
Okulär besiktning: Bindemedel jämnt fördelat över tvärsnittet. Mörkgrå färg.



Pelare 4:24b – Referenspelare

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 90 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 13 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 6,9
 V : 0,21
 w_N/w_L : 0,85

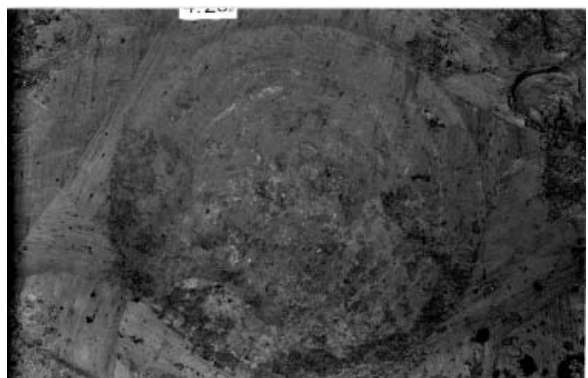
Okulär besiktning: Bindemedel jämnt fördelat över tvärsnittet. Mörkgrå.



Pelare 4:25a – Referenspelare

Verktyg: Pinnborr BRN = 300 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 20 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

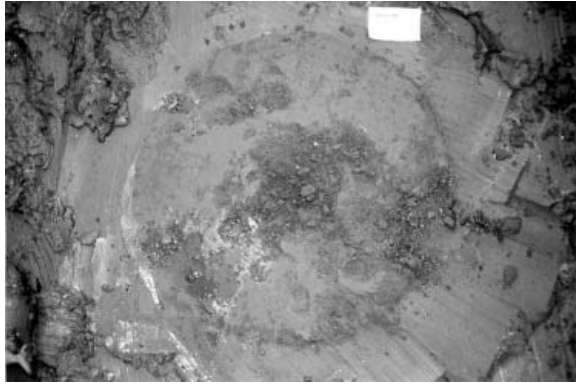
Okulär besiktning: Bindemedel jämnt fördelat över tvärsnittet. Mörkgrå färg.



Pelare 4:25b – Referenspelare

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 97 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 13 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 7,5
 V : 0,16
 w_N/w_L : 0,85

Okulär besiktning: Bindemedel jämnt fördelat, Mörkgrå.



Pelare 5:1a

Verktyg: Dubbelt Pinnborr BRN = 400 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

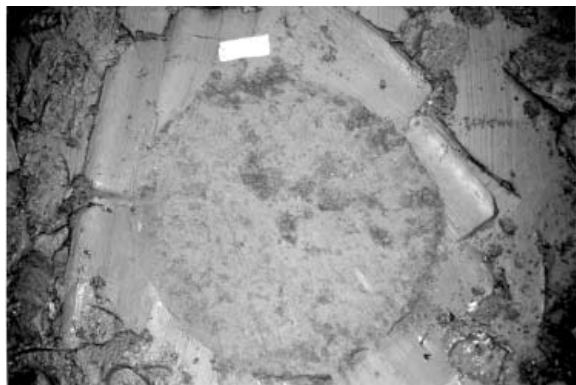
Okulär besiktning: Något våt i vänster del, något porös i mitten, ø 66cm.



Pelare 5:1b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 60 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 8 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 7,5
 V : 0,19
 w_N/w_L : 1,00

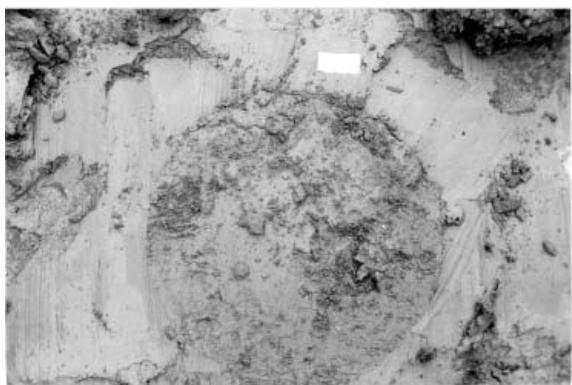
Okulär besiktning: Jämn pelarkvalitet. Något oval, ø 66cm.



Pelare 5:2a

Verktyg: Dubbelt Pinnborr BRN = 400 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

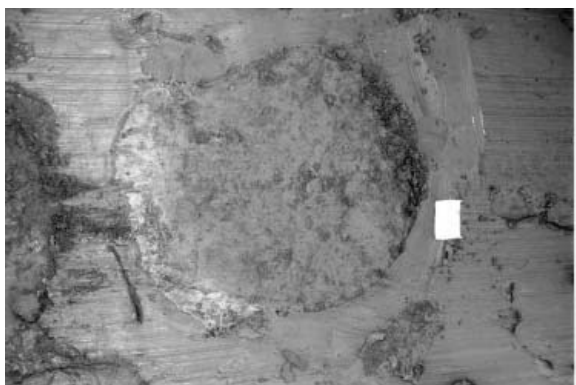
Okulär besiktning: Jämn pelarkvalitet. Något oval, mycket jämn fördelning av bm, ø 67cm.



Pelare 5:2b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 68 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 8 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 8,5
 V : 0,11
 w_N/w_L : 1,00

Okulär besiktning: Något grynig yta, ø 66cm.



Pelare 5:5a

Verktyg: Dubbelt Pinnborr BRN = 800 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 15 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

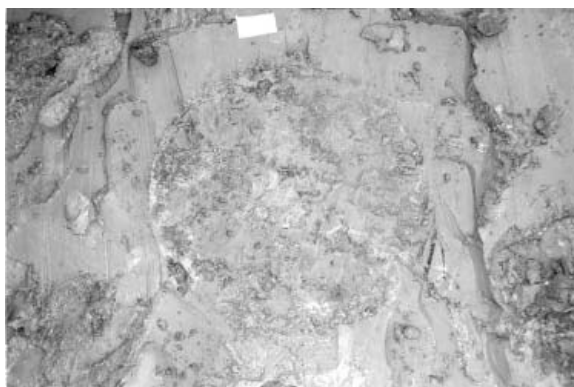
Okulär besiktning: Jämn pelarkvalitet. Oval form ø 64-78cm., ngt. porös i höger kant.



Pelare 5:5b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 76 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 8 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 9,5
 V : 0,11
 w_N/w_L : 1,00

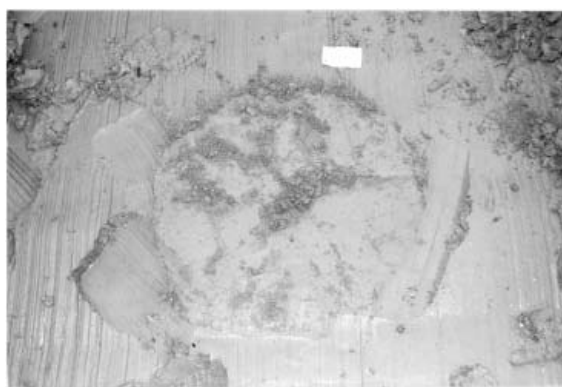
Okulär besiktning: Jämn pelarkvalitet. Något grynig yta, ø 62cm.



Pelare 5:7a

Verktg: Dubbelt Pinnborr BRN = 800 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 15 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

Okulär besiktning: Jämn pelarkvalitet. Något grymig yta, oval pelare ø 66-70cm.



Pelare 5:7b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 73 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 8 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 9,1
 V : 0,14
 w_N/w_L : 1,00

Okulär besiktning: Jämn pelarkvalitet, ø 65cm.



Pelare 5:8a

Verktg: Pinnborr BRN = 400 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 15 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

Okulär besiktning: Oval pelare ø 54-63cm, något grymig yta, marmor mönstrad yta.



Pelare 5:8b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 61 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 8 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 7,6
 V : 0,14
 w_N/w_L : 1,00

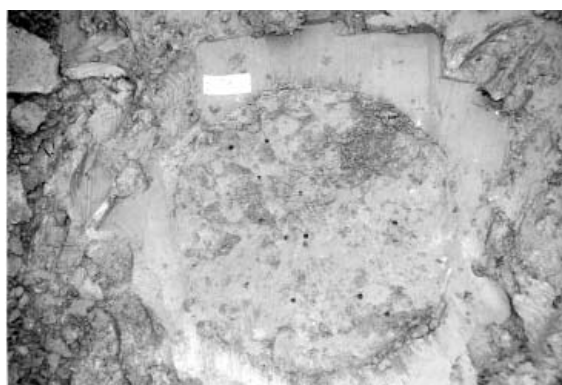
Okulär besiktning: Oval ø 56-61cm, bm. finns i stråk och i periferin. Marmor mönstrad yta.



Pelare 5:10a

Verktg: Pinnborr BRN = 400 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 15 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

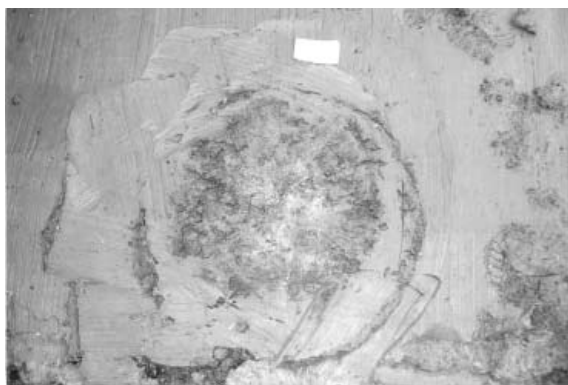
Okulär besiktning: Konc av bindemedel i centrum av pelaren, ø 62cm.



Pelare 5:10b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 65 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 8 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 8,1
 V : 0,17
 w_N/w_L : 1,00

Okulär besiktning: Något grymig yta, jämnt fördelat bindemedel, ø 64cm.



Pelare 5:11a

Verktyg: Undervingar BRN = 267 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 15 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

Okulär besiktning: Något grynig yta, ø 62cm.



Pelare 5:11b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 43 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 9 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 4,8
 V : 0,48
 w_N/w_L : 0,97

Okulär besiktning: ø 57cm, porös och grynig yta.



Pelare 5:13a

Verktyg: Undervingar BRN = 267 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 15 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

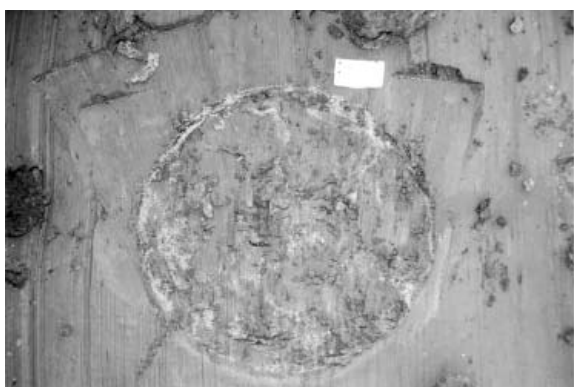
Okulär besiktning: Ställvis porös och grynig yta, ø 60cm.



Pelare 5:13b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 38 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 9 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 4,2
 V : 0,62
 w_N/w_L : 0,97

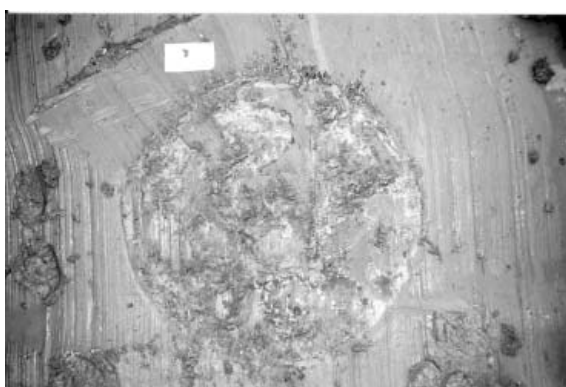
Okulär besiktning: Oval och liten pelare ø 46-49cm, porös yta.



Pelare 5:15a

Verktyg: Övervingar BRN = 133 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 15 mm
 Rot. hast: 160 varv/min

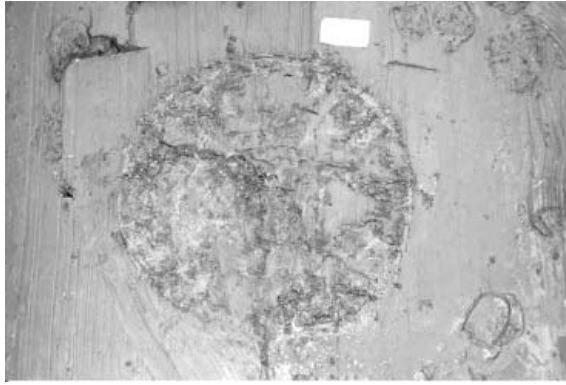
Okulär besiktning: Bindemedel konc i periferin, något grynig yta, ø 60-62cm.



Pelare 5:15b

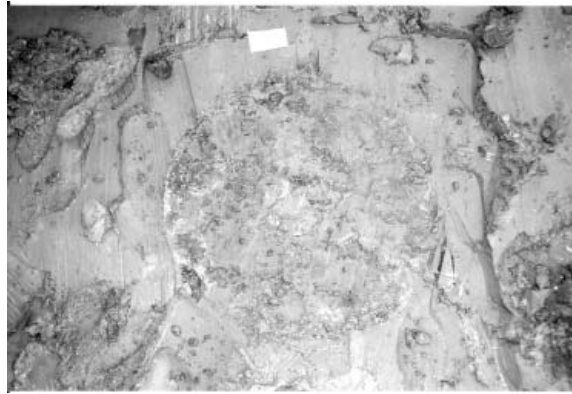
$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 51 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 10 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 5,1
 V : 0,20
 w_N/w_L : 0,94

Okulär besiktning: Bindemedel finns i ett melerat mönster över ytan, ngt grynig, ø 60cm.



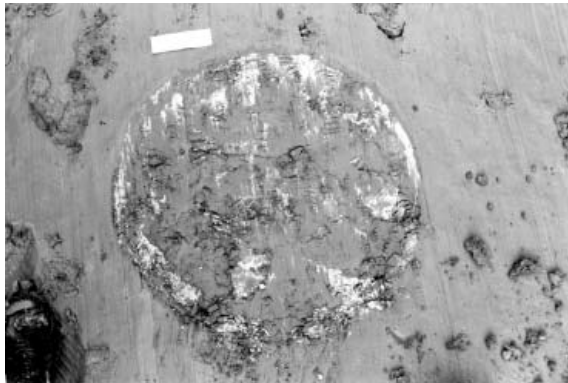
Pelare 5:16a

Verktyg: Övervingar BRN = 133 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 15 mm
 Rot. hast: 160 varv/min
 Okulär besiktning: Något grynig yta, ø 60cm.



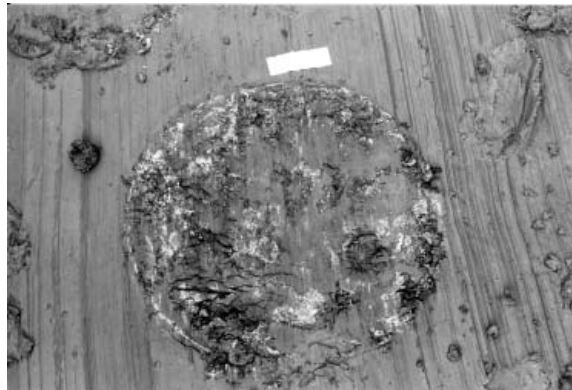
Pelare 5:16b

$\delta_{\text{pel. medel}}$: 44 mm
 $\delta_{\text{jord. medel}}$: 10 mm
 S_{eff} : 4,4
 V : 0,19
 w_N/w_L : 0,94
 Okulär besiktning: Något grynig yta, ø 61cm.



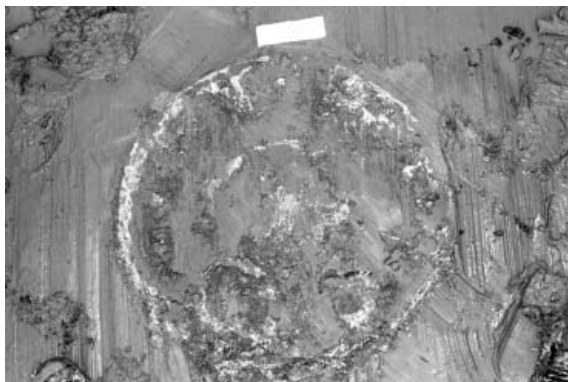
Pelare 5:18a

Verktyg: Övervingar BRN = 67 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min
 Okulär besiktning: Bindemedel finns i mindre ansamlingar över ytan, ø 60cm.



Pelare 5:18b

$\delta_{\text{pel. medel}}$: 47 mm
 $\delta_{\text{jord. medel}}$: 10 mm
 S_{eff} : 4,7
 V : 0,28
 w_N/w_L : 0,94
 Okulär besiktning: Bindemedel finns i lokala ansamlingar över ytan, ngt grynig yta, ø 60cm.



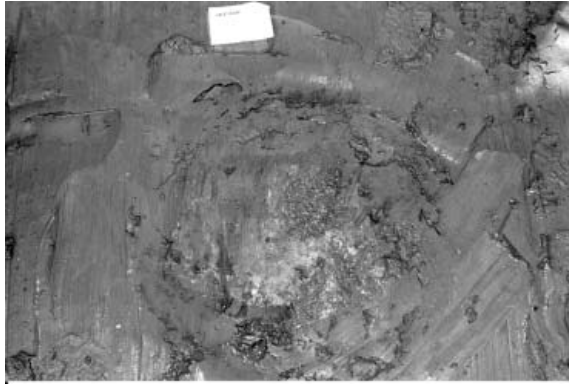
Pelare 5:19a

Verktyg: Övervingar BRN = 67 rot/m
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min
 Okulär besiktning: Bindemedel finns i periferin och i radiella stråk, ngt grynig yta, ø 60cm.



Pelare 5:19b

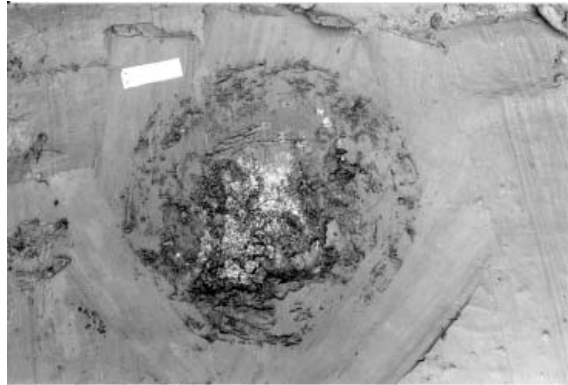
$\delta_{\text{pel. medel}}$: 46 mm
 $\delta_{\text{jord. medel}}$: 10 mm
 S_{eff} : 4,6
 V : 0,28
 w_N/w_L : 0,94
 Okulär besiktning: Bindemedel finns i lokala ansamlingar, ställvis porös yta, ø 60cm.



Pelare 5:20a

Verktyg: Undervingar BRN = 133 varv/min
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

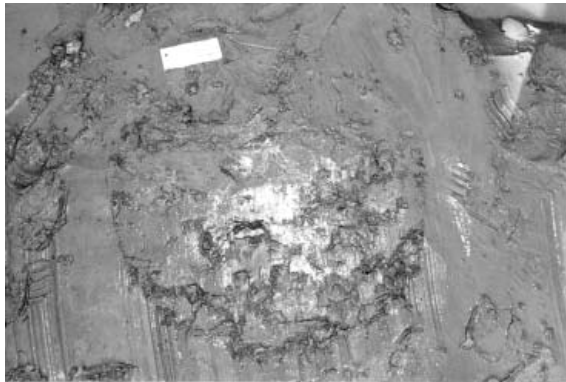
Okulär besiktning: Oregelbunden pelare, konc av bm i de centrala delarna, ø 60cm.



Pelare 5:20b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 58 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 10 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 5,8
 V : 0,32
 w_N/w_L : 0,94

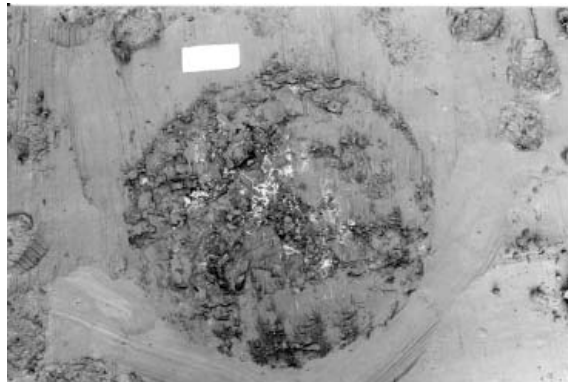
Okulär besiktning: se föregående. Vid ytterliggare nedschaktning (50cm) är tvärsnittet mindre.



Pelare 5:21a

Verktyg: Undervingar BRN = 133 varv/min
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

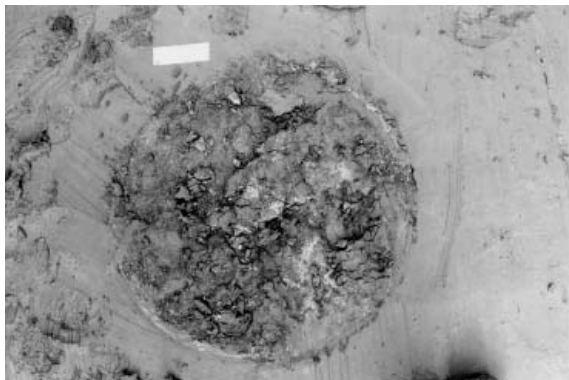
Okulär besiktning: Porös och lös i nedkant, ø 59cm.



Pelare 5:21b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 60 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 11 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 5,5
 V : 0,31
 w_N/w_L : 0,91

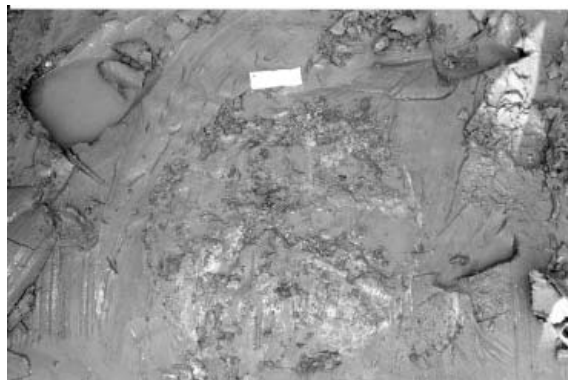
Okulär besiktning: Bindemedel konc. till klumpar, lösa partier och klumpar av lera, ø 62cm.



Pelare 5:22a

Verktyg: Pinnborr BRN = 200 varv/min
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min

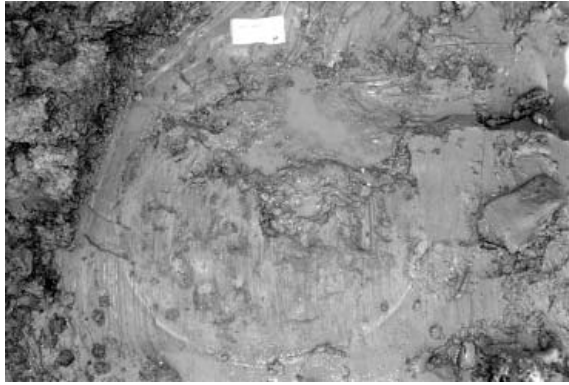
Okulär besiktning: I ytan finns klumpar av lera och bm, ø 61cm.



Pelare 5:22b

$\delta_{\text{pel. medel.}}$: 60 mm
 $\delta_{\text{jord. medel.}}$: 11 mm
 $S_{\text{eff.}}$: 5,5
 V : 0,24
 w_N/w_L : 0,91

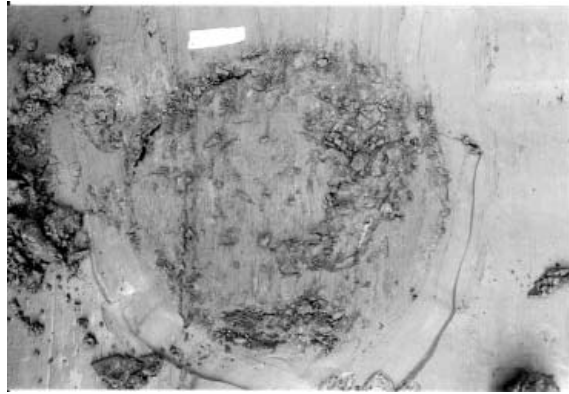
Okulär besiktning: Något porös yta, vatten tränger upp ur pelaren, ø 62cm.



Pelare 5:23a

Verktyg: Pinnborr
 Munstycke: 37 mm
 Tanktryck: 5,5 bar
 Stigning: 30 mm/varv
 Rot. hast: 160 varv/min
 Okulär besiktning: Något porös yta, $\varnothing$ 63cm.

BRN = 200 varv/min



Pelare 5:23b

$\delta_{\text{pel. medel}}$: 73 mm
 $\delta_{\text{jord. medel}}$: 12 mm
 S_{eff} : 6,1
 V : 0,19
 w_N/w_L : 0,88

Okulär besiktning: Ställvis något grynig yta, jämn fördelning av bm, $\varnothing$ 62cm.

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, Torbjørn Lund & Thomas Kristiansen
10. Dimensioneringsvägledning för djupstabilisering (1999)
Översättning av Finska Vägverkets klarlägganden 18/1997
11. Historik och svenska erfarenheter av kalkstabilisering av vägterrasser (1999)
Stefan Gustafsson
12. Undersökning i fält av stabiliseringseffekt i organisk jord och lera (2000)
Tobias Hansson, Yvonne Rogbeck & Leif Säfström
13. Utvärdering av verksamheten inom Svensk Djupstabilisering. Vetenskaplig uppläggning. Måluppfyllelse av FoU-plan (2000)
14. Stabilisering av torv i laboratoriemiljö – utveckling av referensmetod (2000)
Fredrik Larsson & Stefan Mårtensson
15. Djupstabilisering med kalk-cementpelare – Provfält (2000)
Lars O Johansson
16. Laboratorieinblandning för stabilisering av lera – Referensmetod (2000)
Torbjörn Edstam
17. Kalkcementpelarförstärkning för bro – Funktionsuppföljning. Väst kustbanan, delen 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 (2001)
Ronny Andersson, Arvid Jacobsson & Karin Axelsson
21. Erfarenhetsbank – Etapp 2: Erfarenhetsåterföring (2002)
Magnus Karlsson, Göran Holm & Leif Säfström
22. International Workshop on Deep Mixing Technology for Infrastructure Development – Current Practice & Research Needs (2002)
Göran Holm

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
10. Mitigation of track and ground vibrations by high speed trains at Ledsgård, Sweden (2002)
Göran Holm, Bo Andréasson, Per-Evert Bengtsson, Anders Bodare & Håkan Eriksson



Svensk Djupstabilisering

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