



Svensk Djupstabilisering
Swedish Deep Stabilization Research Centre

Arbetsrapport 12
2000-02

Undersökning i fält av stabiliseringseffekt i organisk jord och lera

Tobias Hansson
Yvonne Rogbeck
Leif Säfström

Svensk Djupstabilisering

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

Verksamheten finansieras av medlemmarna samt genom anslag från Byggforskningsrådet, Svenska bygg- branschens 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 - 2000. Members of the Centre include authorities, lime and cement manufactures, contractors, consultants, research institutes and universities.

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

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

Further information on the Swedish Deep Stabilization Research Centre can be obtained from the Project Manager, Mr G Holm, tel: +46 13 20 18 61, fax: +46 13 20 19 14 or e-mail: goran.holm@swedgeo.se, <http://www.swedgeo.se/sd.htm>.



Svensk Djupstabilisering
Swedish Deep Stabilization Research Centre

Arbetsrapport 12
2000-02

Undersökning i fält av stabiliseringseffekt
i organisk jord och lera

Tobias Hansson
Yvonne Rogbeck
Leif Säfström

Förord

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

Föreliggande arbetsrapport är en redovisning som utgör ett underlag för forskningsprojekt inom ”Installationsprocessen” samt ”Kontrollmetoder” och ”Stabiliserad jords egenskaper”.

Linköping i februari 2000

Göran Holm
Projektledare för SD

Arbetsrapport	Svensk Djupstabilisering c/o Statens geotekniska institut 581 93 Linköping
Beställning (endast för medlemmar av SD)	Tel: 013-20 18 42 Fax: 013-20 19 14 E-post: birgitta.sahlin@swedgeo.se
Upplaga	150 ex
Tryckeri	Roland Offset AB, Linköping, mars 2000

Förord

Under de senaste åren har nya stabiliseringsmedel introducerats i Sverige. En av orsakerna är att stabilisering av organiska jordar blivit vanligare. Omfattande laboratoriestudier pågår inom Svensk Djupstabilisering för att undersöka effekten av olika bindemedel i olika typer av organiska jordar. Laboratoriestudier kan visa vilken optimal hållfasthet som kan erhållas vid gynnsamma förhållanden avseende temperatur och inblandningsarbete. I föreliggande rapport presenteras resultat från en studie av provpelare för Väg 221 vid Bettna. Här undersöktes vilken hållfasthet som uppnås vid det inblandningsarbete som normalt används i produktion. Inverkan på pelarnas hållfasthet har undersökts för tre parametrar: bindemedel, blandningsarbete och installationsutrustning.

Uppföljningen har genomförts av nedanstående projektgrupp. En referensgrupp har varit knuten till projektet och innehållet i SD's arbetsrapport har förankrats hos referensgruppen. I rapporten presenteras endast Bettna projektet, medan Tobias Hansson i sitt examensarbete för Chalmers Tekniska Högskola (CTH) även ger information om kc-pelarmetoden, bindemedel och geologi.

Projektgrupp

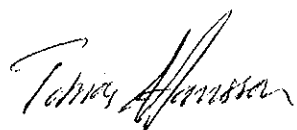
Yvonne Rogbeck, Statens geotekniska institut (SGI), projektledare
Tobias Hansson, examensarbetare CTH, Hercules Grundläggning AB
Leif Säfström, Vägverket Region Mälardalen

Referensgrupp

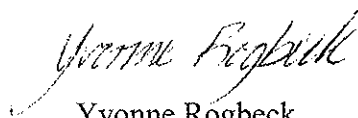
Torbjörn Carlsson, Merox
Håkan Eriksson, Hercules Grundläggning
Lars Holmqvist, LC-Markteknik
Stig Jansson, Cementa
Bjarne Liljestrand, Lemminkäinen
Håkan Pihl, Partek Nordkalk
Roland Tränk, SGI
Helen Åhnberg, SGI

Projektet har finansierats av Svensk Djupstabilisering, Cementa, Hercules Grundläggning, Lemminkäinen, Merox, Partek Nordkalk, Vägverket Region Mälardalen och Vägverket Konsult.

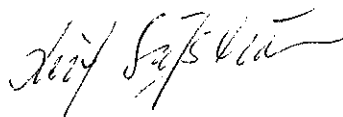
Februari 2000



Tobias Hansson



Yvonne Rogbeck



Leif Säfström

Sammanfattning

Vid vägobjektet väg 221, förbifart Bettna, i Södermanlands län utfördes djupstabilisering i ett område bestående av torv, gyttja, gyttjig lera och lera till ett maximalt djup av tio meter. När bygghandlingen för objektet togs fram utfördes laboratorieförsök med kalk/cement och CM-bindemedel (tidigare kallat Lohjamix), som visade att CM-bindemedel gav högre hållfasthet än kalk/cement. Provpelare installerades och kontrollerades med traditionell pelarsondering. Resultaten visade att skillnaden mellan uppnådd hållfasthet i laboratorium och fält var stor. I fält var hållfastheten mycket lägre och spridningen i hållfasthet för CM-bindemedel större än för kalk/cement. För att ytterligare klargöra effekten av valt bindemedel samt olika maskintypers inverkan på inblandningsarbetet i fält, utfördes ett forskningsprojekt under juni till december 1999.

I projektet jämfördes tre olika bindemedel vid olika rotationshastigheter och stigningar. De bindemedel som testades var CM-bindemedel (cement och masugnsslagg), kalk/cement samt ett mindre försök med Terra FMT (släckt kalk, gips och masugnsslagg).

Jordprover insamlades för att undersöka materialets egenskaper och för att utföra ytterligare inblandningsförsök. Efter installationen av provpelare togs kolvprover i fyra pelare för att provtryckas med enaxligt tryckförsök i laboratorium. Bindemedelsmängden analyserades genom att undersöka CaO-halten. Laboratorieundersökningarna redovisas i kapitel 2.

Pelarna sonderades med traditionell pelarsondering vid två tillfällen och resultaten från sonderingen analyserades för att jämföra olika parametrar. Vid det andra sonderingstillfället användes en stor provtagare för att ta upp hela pelare utförda med kalk/cement och CM-bindemedel. De upptagna pelarna undersöktes insitu och prover insamlades även för CaO-halt analys. I kapitel 3 redovisas de fältundersökningar som utfördes och i kapitel 4 utvärderas resultaten från fält och laboratorium.

Resultatet från denna studie visar att det är möjligt att stabilisera organisk jord. De dimensionerande värdena på skjuvhållfastheten har uppnåtts även i fält.

En jämförelse mellan laboratorie- och fältresultat visar i det här projektet att de skjuvhållfastheter som uppnåtts i fält är betydligt lägre än de som erhöles i laboratorium. I fält erhöles skjuvhållfastheter efter 28 dygn på omkring 80-145 kPa för de tre bindemedel som provats. Motsvarande värden på skjuvhållfastheten efter 28 dygn på laboratorieinblandningar är 280 till 870 kPa för CM-bindemedel och 108 till 326 kPa för kalk/cement. Laboratorieförsöken visar vilken optimal hållfasthet som kan uppnås vid gynnsamma förhållanden. Inblandningen som görs i laboratorium motsvarar i grova drag tiden för att tillverka en hel pelare i fält. Skillnaderna mellan laboratorie- och fältresultat var betydligt större än förväntat. Det är därför mycket viktigt att provpelare installeras och godkänns innan produktionen startar.

De bindemedel som använts visar samtliga att en godtagbar hållfasthet kan uppnås även i organisk jord om bindemedelsmängden är tillräcklig, men det finns skillnader mellan bindemedlen. Det rekommenderas att provpelare i fält installeras med kalk/cement. Om ytterligare bindemedel ska undersökas bör mängden provpelare utökas och kalk/cement användas i referenspelare. Testresultaten från fält bör ligga till grund för val av bindemedel.

Stigningen har stor betydelse för erhållet sonderingsmotstånd med CM-bindemedel i organisk jord. Hållfastheten blir betydligt större vid stigning 10 mm än vid 20 mm/varv. För kalk/cement är skillnaderna små. De rotationshastigheter som jämförs, 150 respektive 200 varv/minut visar inte några skillnader i sonderingsmotstånd.

Två olika maskintyper användes för att undersöka maskintypens inverkan och studien visar att inverkan är betydande. Upptagning av hela pelare och sonderingar visar tydligt skillnad i homogenitet hos pelarna. Pelare utförda med maskintyp I visar liten spridning i sonderingsmotstånd och ser homogena ut vid upptagning. Pelare från maskintyp II har ett varierande tvärsnitt och har en blandning av lösa och hårda skikt.

Den genomförda studien visar att det är stora skillnader i resultat mellan olika installationsmaskiner och verktyg. Det går dock inte i det här projektet att särskilja vilka faktorer som har störst inverkan. Fördjupade studier av inverkan från maskiner och verktyg ses därför som en viktig del för fortsatt forskning inom området.

Ytterligare slutsatser och rekommendationer ges i kapitel 5.

Innehållsförteckning

INLEDNING	1
1.1 BAKGRUND	1
1.2 PROJEKTBEKRIVNING	2
1.2.1 Mål/Syfte	2
1.2.2 Fältundersökningar	2
1.2.3 Laboratorieundersökningar	2
1.2.4 Bindemedel	3
1.2.5 Lokalisering av Bettna och provlokal.....	3
LABORATORIEUNDERSÖKNINGAR.....	5
2.1 RUTINUNDERSÖKNINGAR	5
2.2 ENAXLIGA TRYCKFÖRSÖK	7
2.3 INBLANDNINGSFÖRSÖK.....	10
2.3.1 Statens geotekniska institut	10
2.3.2 Cementa, Viatak.....	10
2.4 BINDEMEDELSMÄNGD/FÖRDELNING.....	11
2.4.1 Bindemedelsanalys pelare A8, A18, A28, A33.....	11
2.4.2 Bindemedelsanalys pelare Q860, A6, A20 och A26	12
FÄLTARBETE	14
3.1 INLEDNING	14
3.2 INSTALLATION PROVPelARE.....	15
3.2.1 Inblandningsverktyg	17
3.2.2 Maskintyp 1	17
3.2.3 Maskintyp 2	22
3.3 SONDERING I.....	26
3.4 KOLVPROVTAGNING	28
3.5 SONDERING II	28
3.6 UPPTAGNING AV PELARE	29
3.6.1 Utförande vid upptagning av pelare	29
3.6.2 Problem / förbättringar.....	31
3.6.3 Bildserie.....	33
UTVÄRDERING AV RESULTAT	36
4.1 JORDPROFIL	36
4.2 INBLANDNINGSFÖRSÖK.....	38
4.3 ENAXLIGA TRYCKFÖRSÖK	42
4.4 BINDEMEDELSFÖRDELNING.....	43
4.4.1 Bindemedelshalt, kolvprovtagning.....	43
4.4.2 Bindemedelshalt, upptagning av pelare	44
4.5 TRADITIONELL PELARSONDERING.....	46
4.5.1 Utvärdering av pelarens skjuvhållfasthet	47
4.5.2 Jämförelse bindemedel.....	50
4.5.3 Jämförelse av stabiliseringsutrustning	56
4.5.4 Inblandningsarbete.....	58
4.6 UPPTAGNING AV PELARE	64
4.6.1 Produktionspelare Q860	64
4.6.2 Provpelare A6.....	68
4.6.3 Provpelare A20.....	76
4.6.4 Provpelare A26.....	81

SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER.....	87
--------------------------------------	----

REFERENSER	89
------------------	----

BILAGOR

BILAGA 1

LABORATIONSUNDERSÖKNINGAR

- 1.1 Pelare A8, Kompression/ effektivspänning
- 1.2 Pelare A18, Kompression/ effektivspänning
- 1.3 Pelare A28, Kompression/ effektivspänning
- 1.4 Pelare A33, Kompression/ effektivspänning
- 1.5 Rutinundersökning sektion 0/915 VM
- 1.6 Inblandningsförsök, SGI, 1997
- 1.7 Inblandningsförsök, SGI, 1999
- 1.8 Inblandningsförsök, Cementa/Viatek, 1999

BILAGA 2

UTVÄRDERING OCH RESULTAT

- 2.1 Sondering I
- 2.2 Sondering II

1

INLEDNING

1.1 BAKGRUND

I Södermanlands län, väg 221, delen förbifart Bettna utfördes djupstabilisering i ett område som består av torv, gyttja, gyttjig lera och lera till ett maximalt djup av cirka 10 meter. I samband med projekteringen föreslogs hög täckningsgrad och stor mängd stabiliseringsmedel i torven. Under torven reducerades såväl täckningsgrad som mängd stabiliseringsmedel. Laboratorieförsök med CM-bindemedel och kalk/cement visade att CM-bindemedel gav bäst resultat. CM-bindemedel föreskrevs därför som stabiliseringsmedel.

Stabiliseringsarbetet påbörjades under vintern 1998-99 med att provpelare installerades. Pelarna kontrollerades med traditionell pelarsondering som visade att god hållfasthet uppnåts i torven på 1-2 meters djup. I de djupare jordlagren kunde dock ingen ökning av hållfastheten noteras.

En ny omgång av provpelare installerades och nu testades både kalk/cement och CM-bindemedel. Pelare med diametern 600 och 800 mm med olika mängd stabiliseringsmedel installerades. Resultaten från pelarsonderingar i dessa pelare visade mycket stor spridning av hållfastheten. För att ytterligare klargöra effekten av bindemedel och inblandningsarbete i fält utfördes ett forskningsprojekt under juni-december 1999.

För produktionsutförandet valdes kalkcementpelare med diametern 800 mm. De installerades kant i kant i torven och gyttjan. I leran var c/c avståndet 1,6 m. Den dimensionerande skjuvhållfastheten är 25 kPa i torven, 15 kPa i gyttjan och 50 kPa i leran.

1.2 PROJEKTBESKRIVNING

1.2.1 Mål/Syfte

Målet med studien är att öka kunskapen om stabilisering av organiska jordar. Detta huvudmål kan brytas ner i följande delmål:

- Finna samband mellan blandningsarbete, (rotationshastighet/stigning) och hållfastheten hos pelarna.
- Jämföra olika bindemedels hållfasthet i fält i organisk jord och lera. Jämförelse sker i första hand mellan CM-bindemedel och kalk/cement men även Terra FMT har provats.
- Jämföra stabiliseringsutrustning via två entreprenörer, benämnes maskintyp 1 och maskintyp 2, med avseende på uppnådd pelarkvalitet.

1.2.2 Fältundersökningar

Följande fältundersökningarna har utförts:

- Traditionell pelarsondering i provpelare.
- Kolvprovtagning i pelare och ostabiliserad jord.
- Upptagning av hela pelare.

1.2.3 Laboratorieundersökningar

Laboratorieundersökningarna har utförts vid Statens geotekniska institut (SGI) och vid Chalmers tekniska högskola (CTH). Vid SGI har följande utförts:

- Inblandningsförsök
- Kalkhalt som CaO-analys
- Rutinundersökningar på jordprover från provområdet

Vid CTH har följande laboratorieundersökningar genomförts:

- Rutinundersökningar på jordprover från provområdet
- Enaxiella tryckförsök

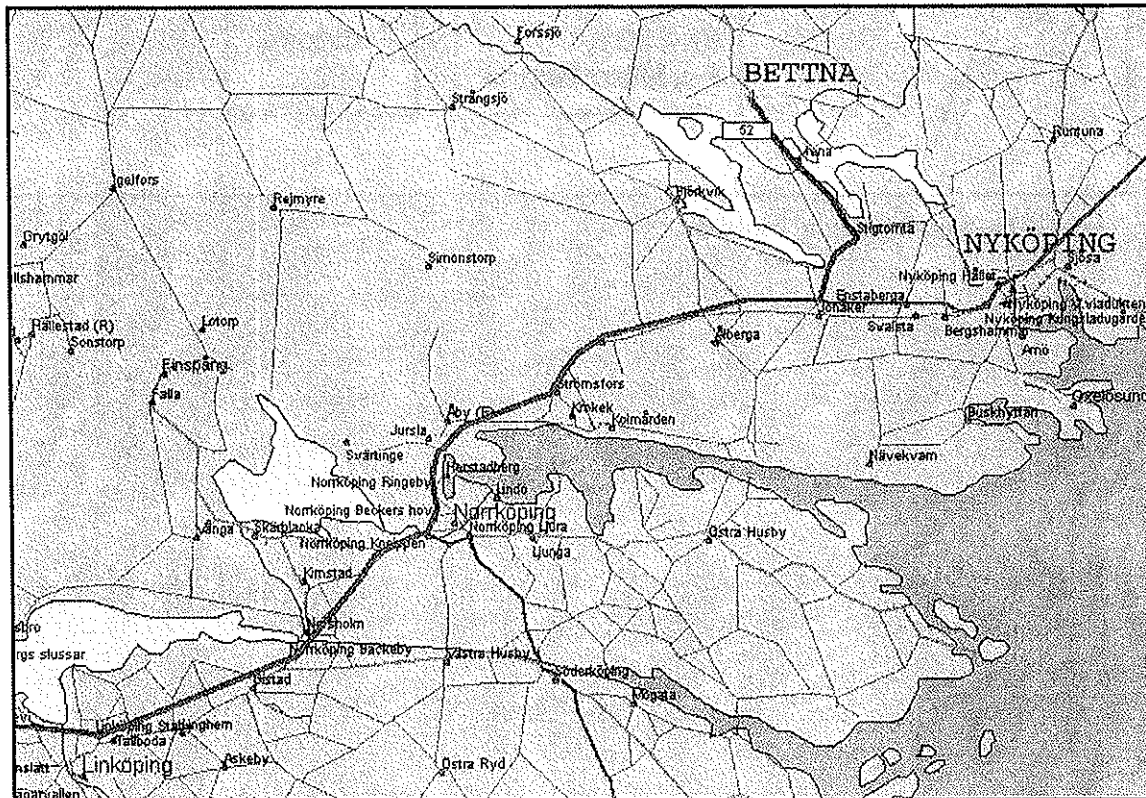
1.2.4 Bindemedel

CM-bindemedel gick tidigare under namnet Lohajmix. CM-bindemedel består av 50 % portlandcement och 50 % Merit 5000 (masugnsslagg).

Terra FMT är en produkt som ännu inte är i normal produktion utan i utvecklingsskedet. Terra FMT består av 25 % Finnstabi (gips), 50 % Merit 5000 (masugnsslagg) samt 25 % Nordkalk SL (släckt kalk)

1.2.5 Lokalisering av Bettna och provlokal

Bettna ligger i Södermanlands län, 4 mil nordväst om Nyköping, se figur 1.1.



Figur 1.1 Lokaliseringskarta, Bettna

Diagram illustrating the road layout for the experiment. The road is labeled "Väg 221, Förbifart Bettna" and "Provlokal". The diagram shows a curve with a radius of 600m, 800m, and 900m. The lane markings and dimensions are detailed in the top box:

Position	Dimensions
1 2 3 4 5	4M
6 7 8 9 10	1.6M
11 12 13 14 15	1.6M
16 17 18 19 20	0.8M
21 22 23 24 25	0.8M
26 27 28 29 30	0.8M
31 32 33 34 35	0.8M

The diagram also shows a cross-section of the road with a width of 1.2M and a height of 0.8M.

4

2

LABORATORIEUNDERSÖKNINGAR

Laboratorieundersökningar har utförts i laboratoriet vid Chalmers tekniska högskola, institutionen för geoteknik och på SGI. De undersökningar som beskrivs är rutinundersökningar på jordprover från provlokalen i Bettna, figur 1.2, samt enaxliga tryckförsök på kolvprover tagna i provpelare från Bettna.

2.1 RUTINUNDERSÖKNINGAR

Rutinundersökningar utfördes den 23:e-24:e september på jordprover upptagna från sektionerna 0/875, 0/908 samt 0/930. Undersökningen syftade till att ta reda på jordens egenskaper i området där provpelare installerades. Tidigare undersökningar har utförts i området. Det var dock önskvärt att komplettera med ytterligare undersökningar. Förvaringstiden i kylrum, från upptagning av prover, var 70 dygn.

Inblandningsförsök och rutinundersökningar på de översta jordlagren utfördes av SGI. I tabell 2.1-2.3 redovisas resultaten från rutinundersökningar gjorda på Chalmers och SGI.

Tabell 2.1 Rutinundersökningsresultat från sektion 0/875, * Utfört av SGI

Objekt: Väg 221, Bettna				Borrhål: 0/875 V9.0		
Provtagningsdatum: 990720		Lab.undersök. datum: 990924		Utfört av: Tobias Hansson		
Djup [m]	Jordart	Skrym- densitet ρ [t/m ³]	Naturlig vattenkvot w_n [%]	Konflyt- gräns w_L [%]	Sensitivitet S_t	Skjuvhåll- fasthet (reducerad) τ_{fu} [kPa]
1,0-1,7*	Lerig gyttja, gröngrå, med växtdelar	1,26	140	154	4,4	5,7
1,7-2,4	Lerig gyttja, blågrå	1,47	96,8	81,9	9,3	4,8
2,4-3,1	Lera, blågrå	1,50	114,3	80,4	15	4,7
3,1-3,8	Lera, grå, varvig	1,38	119,5	94,2	23,4	5,3
3,8-4,5	Lera, grå, varvig	1,48	100,4	80,1	9,8	4,6
4,5-5,2	Lera, grå, varvig	1,63	80,4	52,2	34,4	9,7
5,2-5,9	Siltig lera	1,75	50,6	42,8	55,6	25

Tabell 2.2 Rutinundersökningsresultat från sektion 0/908, * Utfört av SGI

Objekt: Väg 221, Bettna				Borrhål: 0/908 V11.0		
Provtagningsdatum: 990715		Lab.undersök. datum: 990923		Utfört av: Tobias Hansson		
Djup [m]	Jordart	Skrym- densitet ρ [t/m ³]	Naturlig vattenkvot w_n [%]	Konflyt- gräns w_L [%]	Sensitivitet S_t	Skjuvhåll- fasthet (reducerad) τ_{fu} [kPa]
0,7-1,4*	Lerig gyttja med växtdelar, gröngrå	1,23	186	186	5,2	4,0
1,4-2,1*	Gyttjig lera	1,38				
2,1-2,8	Lera, grå	1,51	115,9	70,7	20	4
2,8-3,5	Lera, grå	1,5	85,3	71,8	14,4	5,3
3,5-4,2	Lera, varvig, gråbrun	1,71	108,0	86,6	16,25	4,7
4,2-4,9	Lera, varvig, grå	1,6	87,2	58,7	25,2	6,8
4,9-5,6	Lera, varvig, grå	1,72	49,1	44,64	42,9	14,7
5,6-6,3	Lerig silt, siltig sand	1,9	22,7			

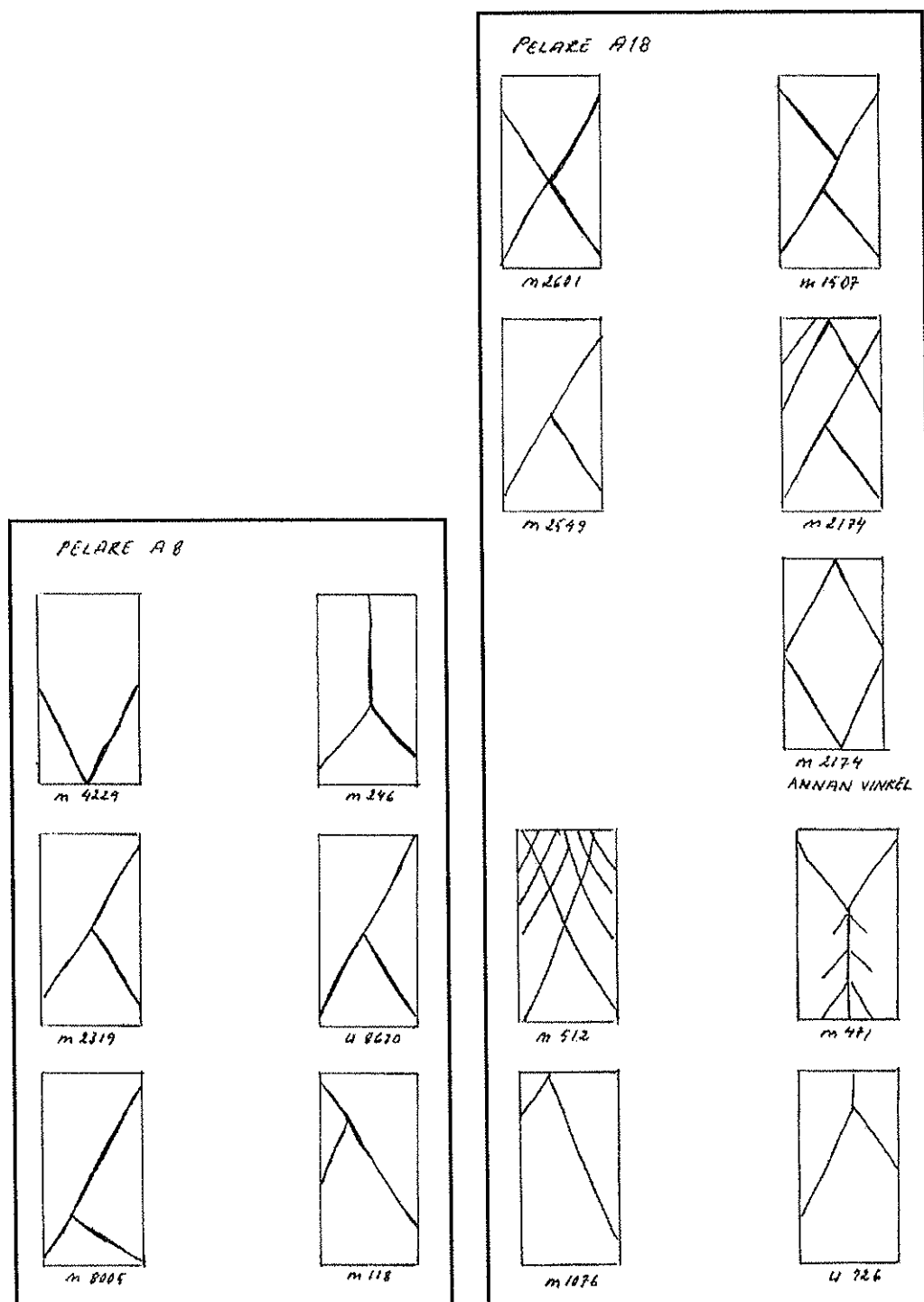
Tabell 2.3 Rutinundersökningsresultat från sektion 0/930, * Utfört av SGI

Objekt: Väg 221, Bettna			Borrhål: 0/930 V11.0			
Provtagningsdatum: 990715		Lab.undersök. datum: 990924		Utfört av: Tobias Hansson		
Djup [m]	Jordart	Skrym- densitet ρ [t/m ³]	Naturlig vattenkvot w_n [%]	Konflyt- gräns w_L [%]	Sensitivitet S_t	Skjuvhåll- fasthet (reducerad) τ_{fu} [kPa]
1,4-2,1*	Gyttja, brungrå	1,18	198	198	6,8	5,0
2,8-3,5*	Gyttjig lera, grå	1,40				
3,5-4,2	Lera, blågrå	1,44	97,7	75,6	16,2	4,9
4,2-4,9	Lera, varvig, grå	1,45	113,5	97,9	17,5	4,9
4,9-5,6	Lera, varvig, grå	1,55	69,9	55,7	23,6	10,4
5,6-6,3	Lera, varvig, grå	1,63	64,0	46,5	34,0	15,5

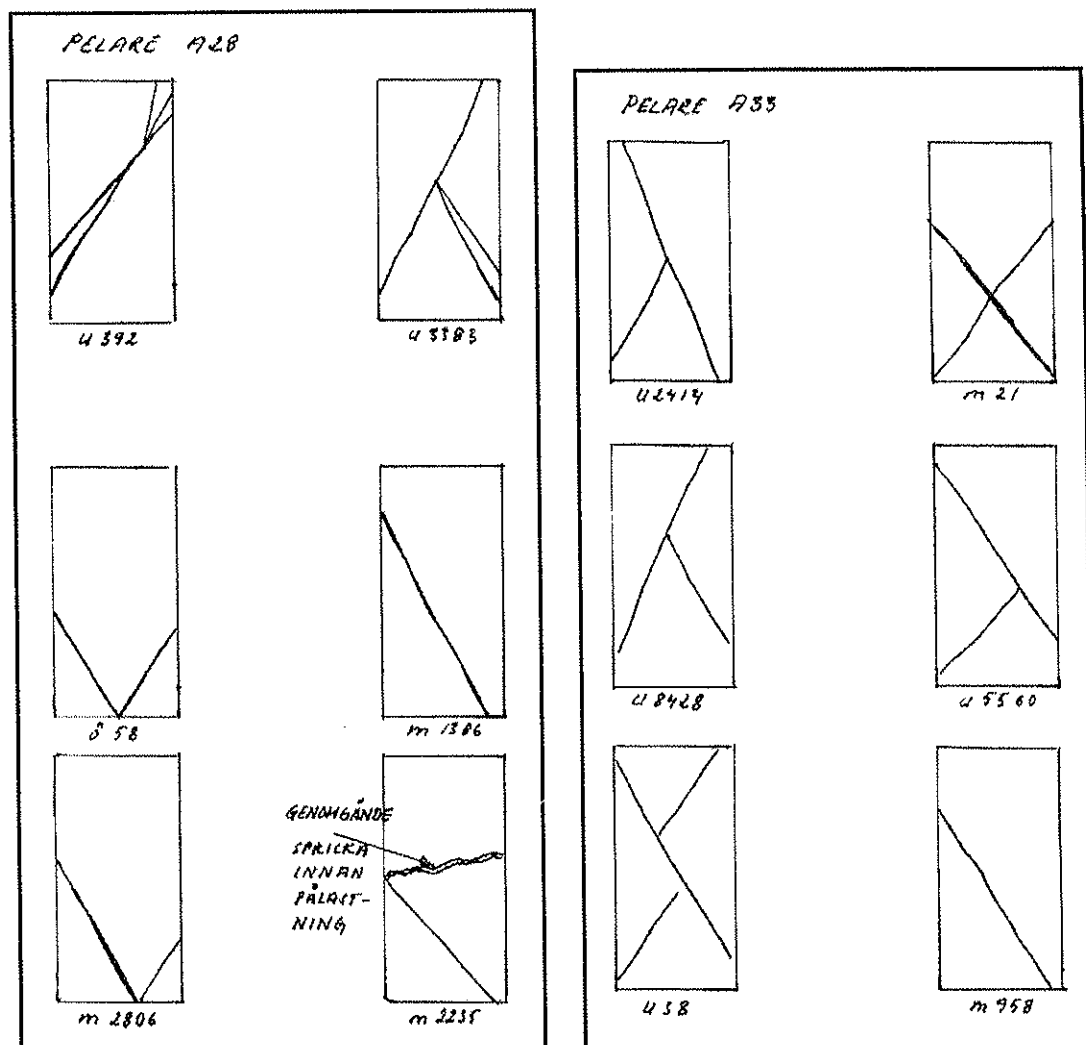
2.2

ENAXLIGA TRYCKFÖRSÖK

Enaxliga tryckförsök utfördes den 30-31 augusti på kolvprover upptagna från pelare A8 (maskintyp 1, CM-bindemedel), A18 (maskintyp 1, kalk/cement), A28 (maskintyp 2, CM-bindemedel) och A33 (maskintyp 2, kalk/cement). Syftet var att jämföra resultaten med utförda sonderingar. Förvaringstiden i kylrum, från upptagning av prover, var 50 dygn. I figur 2.1-2.2 visas skisser av de brott som fotograferades vid provtryckningen. Brott antas för lera att ske längs en glidyta med 45° lutning. För de provkroppar som provades skedde brott med en större lutning, cirka 60°. I bilaga 1.1-1.4 redovisas sammanställningar av spänning- deformationskurvorna.



Figur 2.1 Enaxiellt tryckförsök A8 och A18, Skiss av brott i provkropp



Figur 2.2 Enaxiellt tryckförsök A28 och A33, Skiss av brott i provkropp

2.3 INBLANDNINGSFÖRSÖK

2.3.1 Statens geotekniska institut

Väg 221 Bettna - Flen

Under 1997 utförde SGI inblandningsförsök på jordprover hämtade från Bettna. Proverna var från sektion 0/915 i vägmitt av den planerade vägen. I bilaga 1.5 redovisas resultaten från den rutinundersökning som gjordes på materialet.

Inblandningsförsök med 8 olika bindemedelsblandningar utfördes och hållfastheten provades med enaxliga tryckförsök. Resultaten från dessa inblandningsförsök och de olika bindmedelskombinationerna redovisas i bilaga 1.6. Hållfastheten provades efter 10 och 30 dygn. För blandning A1 och A2 provades även hållfastheten efter 99 dygn. Följande blandningar användes:

- A1 Kalk/cement (50%/50%), 150 kg/m³
- A2 Kalk/cement (50%/50%), 250 kg/m³
- B1 CM-bindemedel (100%), 150 kg/m³
- B2 CM-bindemedel (100%), 250 kg/m³
- C1 CM-bindemedel (100%), 80 kg/m³
- C2 CM-bindemedel (100%), 120 kg/m³
- D1 CM-bindemedel (100%), 80 kg/m³
- D2 CM-bindemedel (100%), 120 kg/m³

Provområde

För att komplettera de tidigare gjorda inblandningsförsöken utfördes ytterligare två inblandningsförsök med jordprover från sektion 0/908, djup 0,7-1,4 meter och sektion 0/930, djup 1,4-2,1 meter. Jorden karakteriseras som gyttja, bindemedlet var CM-bindemedel och inblandningsmängden 120 kg/m³. Försöksresultaten redovisas i bilaga 1.7.

2.3.2 CEMENTA, VIATEK

Under 1999 har Cementa utfört inblandningsförsök med jordprover från sektion 0/880, höger 20 m. Laboratieförsöken utfördes av Viatek. Jordarter och resultat redovisas i bilaga 1.8.

2.4 BINDEMEDELSMÄNGD/FÖRDELNING

För att kontrollera homogeniteten i pelarna gjordes analyser av bindemedelsmängd vid Statens geotekniska institut.

Analysen utvärderar mängden CaO (kalciumoxid) per kg torrt material vilket sedan räknas om till bindemedelsmängd i kg/m eller kg/m³.

Metoden att beräkna bindemedelsmängd utifrån CaO-halten är hämtad från en intern arbetsrapport inom Svensk Djupstabilisering, Tränk och Johnsson (1997).

Det finns två metoder beroende på förutsättningarna. Vid utvärdering enligt metod 1 förutsätts data från standardundersökning på den ostabiliserade jorden samt CaO-koncentrationen. I metod 2 erfordras endast CaO-koncentrationen.

Följande antaganden har gjorts vid beräkningen:

- Std cement har en CaO-halt på 62,2 % och förbrukar 25 g vatten per 100 g cement.
- SH cement har en CaO-halt på 62,2 % och förbrukar 25 g vatten per 100 g cement.
- Merit 5000 har en CaO-halt på 32,8 % och förbrukar 27 g vatten per 100 g merit.
- Osläckt kalk har en CaO-halt på 94 % och förbrukar 32 g vatten per 100 g kalk.

2.4.1 Bindemedelsanalys pelare A8, A18, A28, A33

I de pelare som kolvprover togs utfördes även bindemedelsanalyser för att bestämma bindemedelsmängden. Kolvprovtagning är en metod som endast tar prov i en punkt, varför värdet på bindemedelsmängden ej representerar hela tvärsnittet av pelaren. Provens storlek var cirka 400 g. I tabell 2.4 redovisas pelare, djup, vattenkvot, CaO-halt samt massan bindemedel per meter pelare med de två olika metoderna.

Tabell 2.4 Bindemedelsmängd i pelare A8, A18, A28 och A33

<i>Provbeteckning</i>	<i>Djup</i>	<i>Vattenkvot [%]</i>	<i>g CaO/kg torrt material</i>	<i>% CaO av torrt material</i>	<i>Beräknad mängd bindemedel kg/m (metod 1)</i>	<i>Beräknad mängd bindemedel kg/m (metod 2)</i>
<i>A8 CM-bindemedel</i>	<i>0,85</i>	<i>114</i>	<i>193</i>	<i>19,3</i>	<i>159</i>	<i>182</i>
<i>A8 CM-bindemedel</i>	<i>1,55</i>	<i>145</i>	<i>54,2</i>	<i>5,4</i>	<i>35</i>	<i>38</i>
<i>A8 CM-bindemedel</i>	<i>2,95</i>	<i>149</i>	<i>41,2</i>	<i>4,1</i>	<i>32</i>	<i>26</i>
<i>A8 CM-bindemedel</i>	<i>3,65</i>	<i>154</i>	<i>53,5</i>	<i>5,4</i>	<i>54</i>	<i>36</i>
<i>A18 Kalk/cement</i>	<i>0,85</i>	<i>130</i>	<i>112</i>	<i>11,2</i>	<i>55</i>	<i>86</i>
<i>A18 Kalk/cement</i>	<i>1,55</i>	<i>140</i>	<i>102</i>	<i>10,2</i>	<i>89</i>	<i>83</i>
<i>A18 Kalk/cement</i>	<i>2,95</i>	<i>148</i>	<i>90,8</i>	<i>9,1</i>	<i>99</i>	<i>69</i>
<i>A18 Kalk/cement</i>	<i>4,35</i>	<i>152</i>	<i>88,7</i>	<i>8,9</i>	<i>113</i>	<i>66</i>
<i>A28 CM-bindemedel</i>	<i>0,85</i>	<i>220</i>	<i>138</i>	<i>13,8</i>	<i>45</i>	<i>50</i>
<i>A28 CM-bindemedel</i>	<i>1,55</i>	<i>123</i>	<i>181</i>	<i>18,1</i>	<i>117</i>	<i>118</i>
<i>A28 CM-bindemedel</i>	<i>2,25</i>	<i>83</i>	<i>16,7</i>	<i>1,7</i>	<i>4</i>	<i>6</i>
<i>A28 CM-bindemedel</i>	<i>3,85</i>	<i>72</i>	<i>6,64</i>	<i>0,7</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>A28 CM-bindemedel</i>	<i>4,35</i>	<i>100</i>	<i>10,3</i>	<i>1,0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>A33 Kalk/cement</i>	<i>0,85</i>	<i>112</i>	<i>475</i>	<i>47,5</i>	<i>179</i>	<i>196</i>
<i>A33 Kalk/cement</i>	<i>2,25</i>	<i>119</i>	<i>222</i>	<i>22,2</i>	<i>88</i>	<i>90</i>
<i>A33 Kalk/cement</i>	<i>2,95</i>	<i>76</i>	<i>333</i>	<i>33,3</i>	<i>231</i>	<i>194</i>

2.4.2 Bindemedelsanalys pelare Q860, A6, A20 och A26

Ur de pelare som togs upp hela insamlades prover för bindemedelsanalys. Provens storlek varierade och de framräknade bindemedelsmängderna kan endast ses som punktvärden. I det här fallet skulle proverna visa hur homogena pelarna var i tvär- och djupled. För att få en uppfattning om utmatad mängd bindemedel i ett helt tvärsnitt bör större prover samlas in. I tabell 2.5 redovisas bindemedelsmängderna som räknats fram från CaO-halt analysen. Vid installationen var den nominella bindemedelsmängden 50 kg/m för Q860 och 60 kg/m för A6, A20 och A26.

Tabell 2.5 Bindemedelsmängd i pelare Q860, A6, A20 och A26

<i>Provbeteckning (Pelare, Djup, Avstånd från centrum)</i>	<i>Vattenkvot [%]</i>	<i>g CaO/kg torrt material</i>	<i>% CaO av torrt material</i>	<i>Beräknad mängd bindemedel kg/m (metod 1)</i>	<i>Beräknad mängd bindemedel kg/m (metod 2)</i>	<i>Provmängd (fuktig vikt) [g]</i>
<i>Q860, 2m, 0,1m fr centr</i>	69,4	241	24,1	151	146	66
<i>Q860, 2m, 0,2m fr centr</i>	73,6	207	20,7	121	118	100
<i>Q860, 2m, periferi</i>	75,0	87,5	8,75	39	45	115
<i>Q860, 3m, i centrum</i>	87,8	134	13,4	68	65	176
<i>Q860, 3m, 0,15m fr centr</i>	88,7	110	11,0	53	52	166
<i>Q860, 3m, periferi</i>	88,1	126	12,6	62	61	159
<i>Q860, 4m, i centrum</i>	82,1	44,9	4,49	18	19	87
<i>Q860, 4m, 0,15m fr centr</i>	81,6	53,4	5,34	23	24	90
<i>Q860, 4m, periferi</i>	80,8	85,5	8,55	42	42	122
<i>Q860, 4m, 0,15m fr centr</i>	57,4	78,4	7,84	52	48	107
<i>A6, 2m, i centrum</i>	65,4	63,2	6,32	49	57	197
<i>A6, 2m, 0,15m fr centr</i>	52,5	104	10,4	96	116	77
<i>A6, 2m, periferi</i>	68,5	52,0	5,2	37	43	187
<i>A6, 3m, i centrum</i>	57,7	44,5	4,45	30	39	161
<i>A6, 3m, 0,15m fr centr</i>	65,5	44,0	4,4	30	36	256
<i>A6, 3m, periferi</i>	56,6	76,4	7,64	63	77	155
<i>A20, 2m, i centrum</i>	80,0	87,0	8,7	42	43	87
<i>A20, 2m, 0,15m fr centr</i>	77,5	58,7	5,87	25	28	146
<i>A20, 2m, periferi</i>	80,0	73,7	7,37	34	36	98
<i>A20, 3m, i centrum</i>	79,9	69,7	6,97	32	33	99
<i>A20, 3m, 0,15m fr centr</i>	74,4	42,0	4,2	16	19	104
<i>A20, 3m, periferi</i>	70,9	54,0	5,4	23	27	106
<i>A26, 1,8m, i centrum</i>	82,5	112	11,2	90	94	27
<i>A26, 3,2m, i centrum</i>	64,1	92,2	9,22	76	89	85
<i>A26, 3m, 0,15m fr centr</i>	63,3	62,9	6,3	45	57	32
<i>A26, 4m, 0,15m fr centr</i>	64,0	95,6	9,6	82	93	15

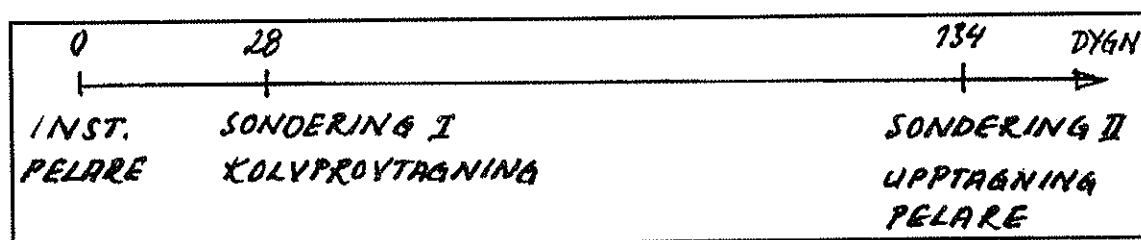
3

FÄLTARBETE

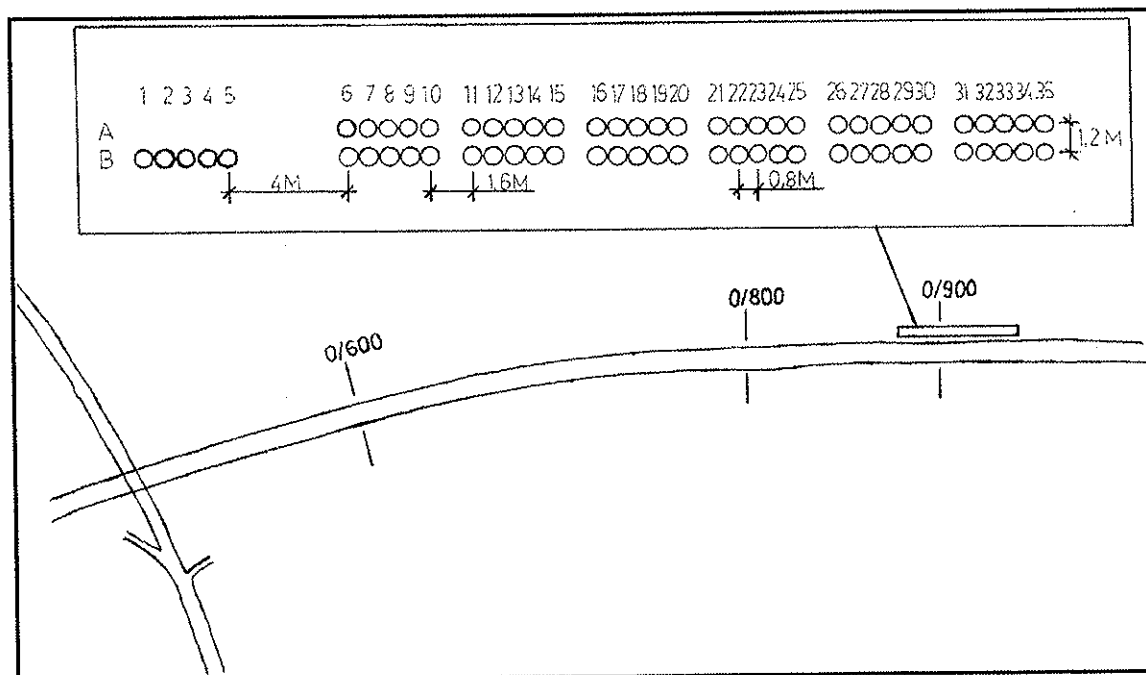
Detta kapitel behandlar det fältarbete som ligger till grund för denna rapport.

3.1 INLEDNING

Fältarbetet påbörjades 15 juni 1999 och de sista provtagningarna gjordes den 27 oktober 1999. I figur 3.1 redovisas en tidsaxel över fältarbetet. För de geologiska förhållanden som råder hänvisas till kapitel 3. Provområdet är beläget enligt figur 4.2.



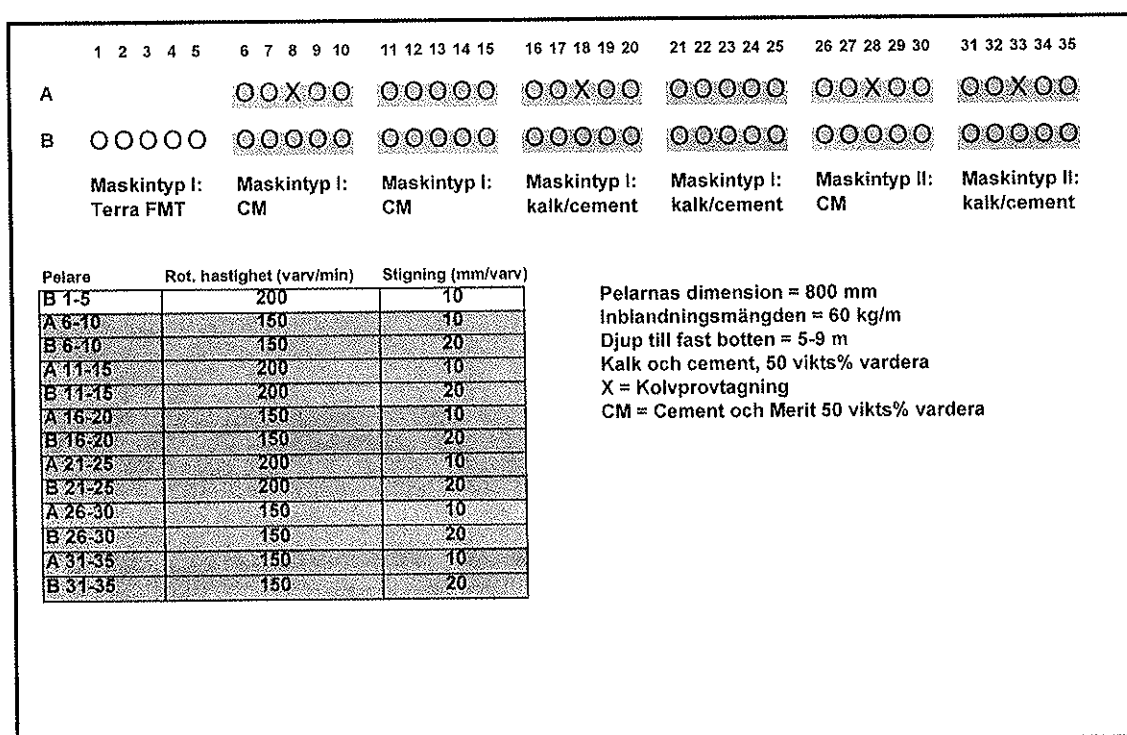
Figur 3.1 Tidsaxel för fältarbete



Figur 3.2 Provområdet lokalisering

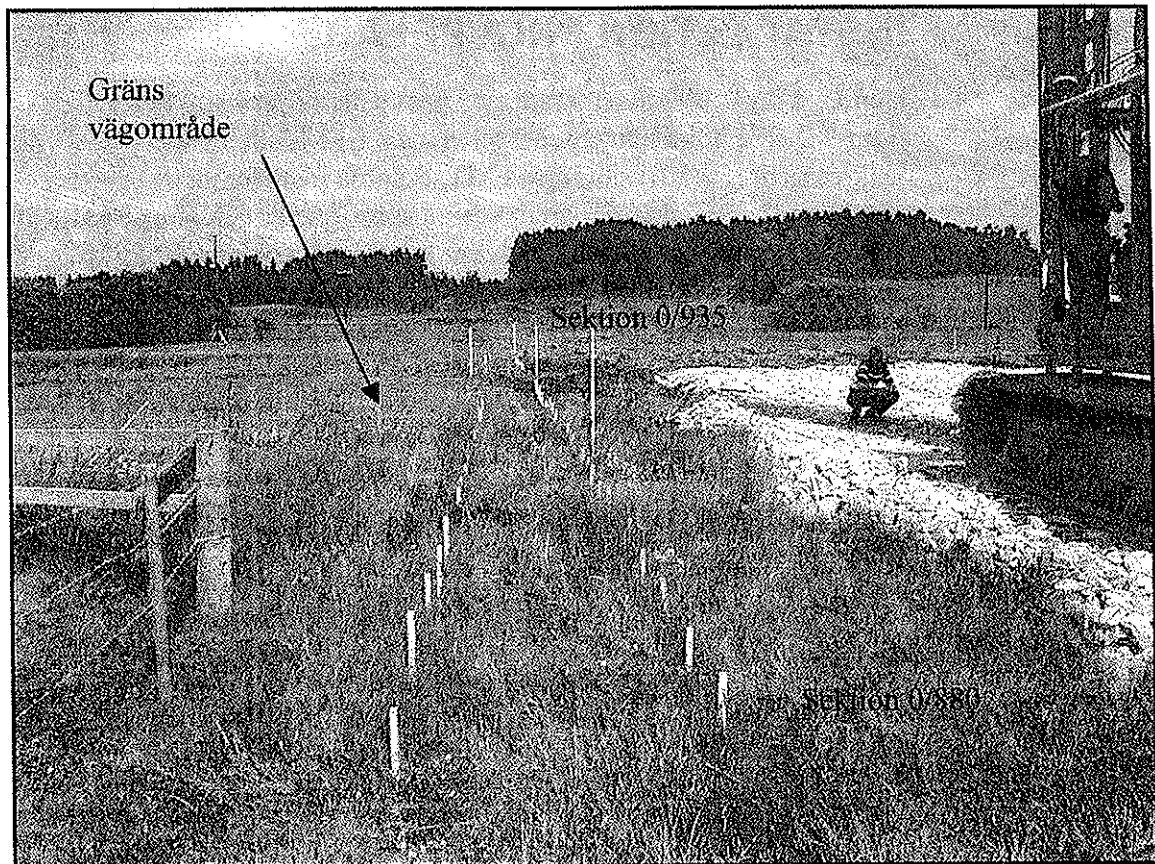
3.2 INSTALLATION PROVPELARE

Den 15:e juni 1999 installerades 65 provpelare i provområdet enligt figur 3.2. Tre olika bindemedel användes: CM-bindemedel, kalk/cement (50/50) och Terra FMT. Pelarna installerades i grupper om fem pelare med varierande rotationshastigheter och stigningar. Den totala bindemedelsmängden var lika för alla pelare, 60 kg/m. Bindemedlen levererades färdigblandade från leverantören samma dag som provpelarna installerades. I figur 3.3 redovisas de förutsättningar under vilka installationen utfördes.



Figur 3.3 Installationsförutsättningar

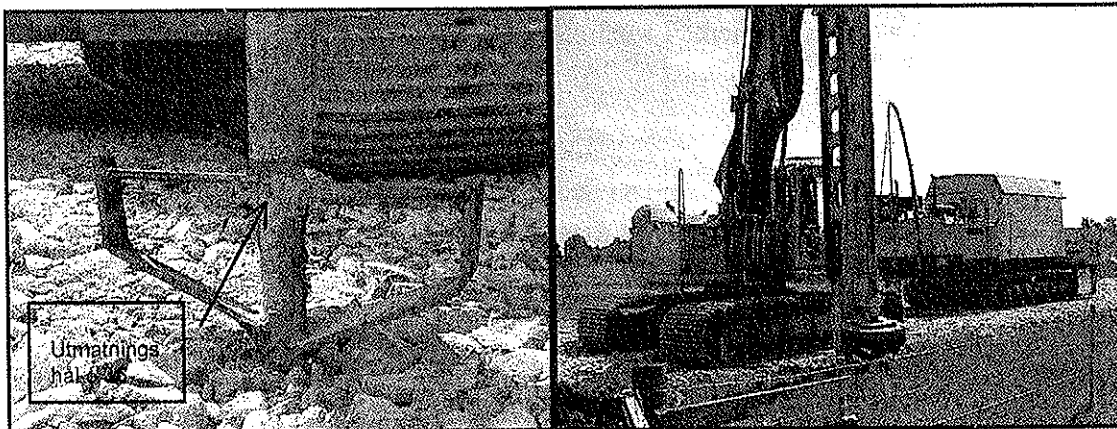
Vägområdet är begränsat, varför provområdet placerades i direkt anslutning till anläggningsområdet av vägen. För utsättning se figur 3.4.



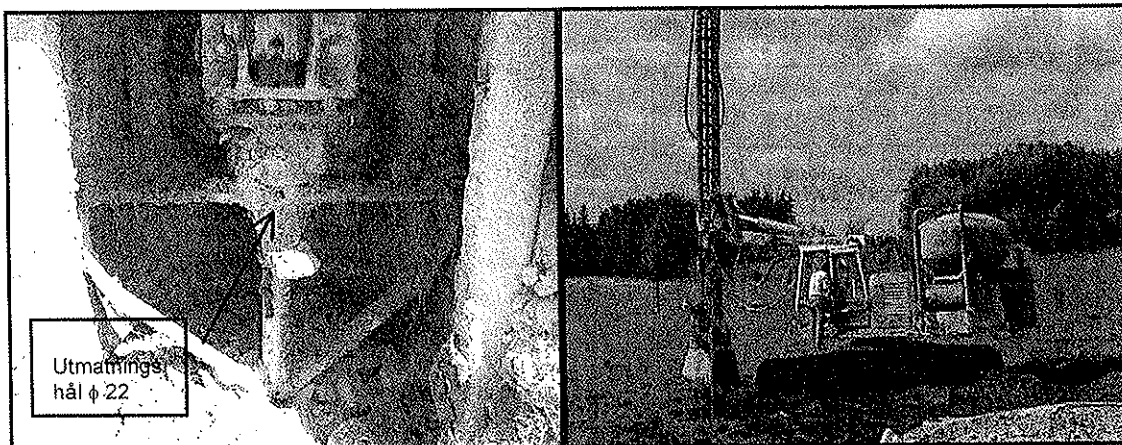
Figur 3.4 Utsättning provområde

3.2.1 Inblandningsverktyg

Maskintyp 1 och maskintyp 2 använder sig av liknande verktyg som föreskrivs i SGF 4:95 men de skiljer sig även något sinsemellan. I figur 3.6 visas maskinen och inblandningsverktyget för maskintyp 1 och i figur 3.7 motsvarande för maskintyp 2.



Figur 3.6 Inblandningsverktyg 800 mm, maskintyp 1



Figur 3.7 Inblandningsverktyg 800 mm, extra blad (skrängda) L=400+400 mm, maskintyp 2

3.2.2 Maskintyp 1

Omfattningen för maskintyp 1 var 45 provpelare. Inga komplikationer tillstötte under arbetet. Vid byte av bindemedel kördes 3-4 pelare utanför provområdet för att ställa in inställningarna. Pelarna installerades till fast botten och medellängden på pelarna blev 5-6 meter.

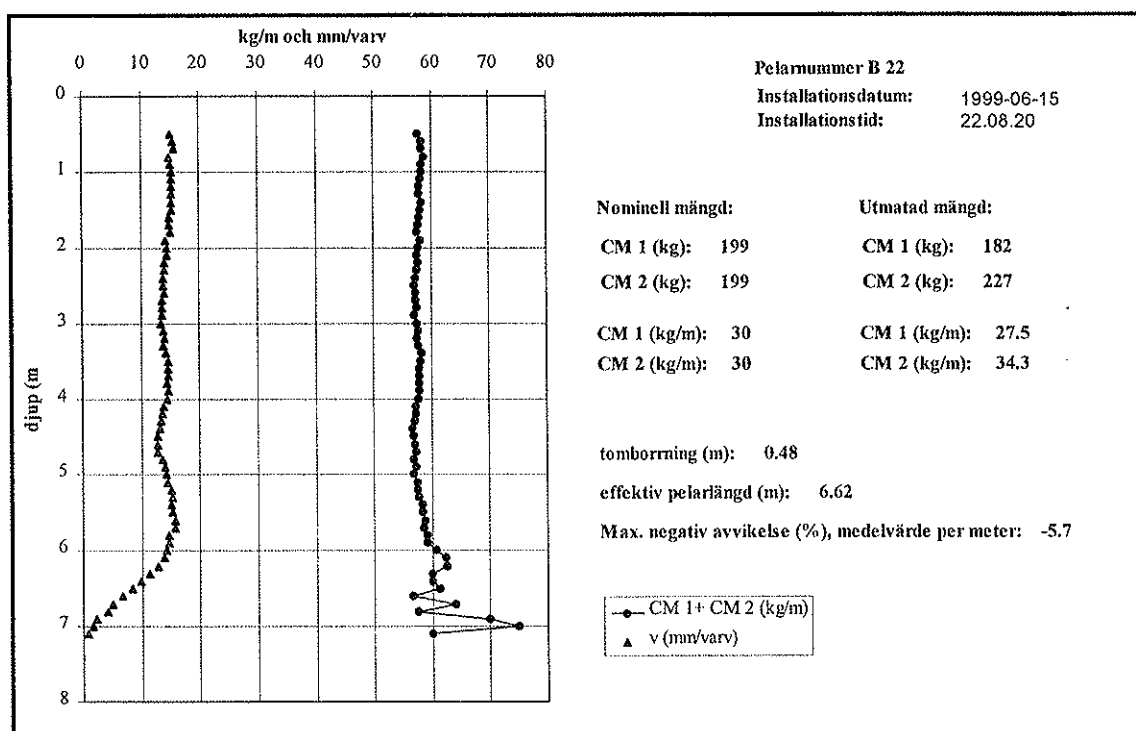
Maskintyp 1 har följande utrustningsspecifika egenskaper:

- Inblandningsverktyg, bygel: 800mm
- Utmatningshål: ϕ 35 mm
- Slangdimension: ϕ 38 mm invändigt
- Vridmoment: 1 tonmeter (230 varv/min), 2 tonmeter (110 varv/min)
- Utmatningstryck: max 7,5 bar

Under installationen användes ett kompressortryck på 4,6 bar för samtliga pelare. Enligt maskinförarna i maskintyp 1 uppfattades bindemedlet Terra FMT som "lättast att köra".

Utmatningsprotokoll

Installationsprocessen är automatisk och de olika processtegen lagras för att kunna verifiera att utmatningen skett enligt de förutsättningar som ställts upp. I figur 3.9 visas ett exempel på ett utmatningsdiagram från denna provserie.



Figur 3.9 Utmatningsdiagram maskintyp 1

Den högra kurvan visar summan av utmatad mängd bindmedel från cellmatare 1 och 2, (CM 1 + CM 2). Varje punkt representerar ett medelvärde av de tio tidigare registrerade punkterna. Registreringen börjar i botten av pelaren och det sker tio registreringar per meter. De första värdena, värde 1 till 9, är därför ej medelvärden av tio tidigare registreringar vilket visar sig som en större variation. Denna framställan rekommenderas av SGF rapport 4:95 (1995). Den vänstra kurvan visar stigningen i mm/varv.

För att bedöma avvikelser i utmatad mängd bindmedel har produktionsanpassade bedömningskriterier använts. Kriterierna är från SGF:s rapport 4:95 (1995), vilka säger:

”Tillåten tolerans för inblandad stabiliseringsmängd är 10 %. Detta krav förutsätts uppfyllas inom ett 1,0 m tjockt skikt av pelaren när inget annat anges. Inom ett sådant skikt bör toleransen högst vara ± 2 -3 kg /m (för varje stabiliseringsmedel) vid normala tillämpningar.”

Tillämpas dessa toleranser blir kravet följande:

- Max avvikelse från nominell utmatad totalmängd 10 %.
- Max avvikelse i enstaka punkter tillåts vara 20 % på grund av att serierna av pelare som installeras med samma förutsättningar är små. Vid stora serier av pelare kan inställningarna trimmas så utmatningen sker med mindre avvikelse.

Efter genomförd installation kontrollerades att samtliga pelare installerats korrekt. För att bedöma avvikelse från nominell totalmängd beräknades ett medel på den mängd bindemedel som matas ut i botten av pelaren innan den uppåtgående djupregistreringen påbörjas. För beräkning se figur 3.10 och tabell 3.1.

INDATA	Rot. hast.	200	varv/min
	Stigning	20	mm/varv
	Utm. av bindemedel	60	kg/m
ANTAGANDE	4 s. Stillestånd innan borrarstangen börjar arbeta sig uppåt.		
LÖSNING	$60 \text{ kg/m} = 6 \text{ kg/dm}$ $200 \times 20 = 4000 \text{ mm/min}$ $\frac{4000}{60} = 66,67 \text{ mm/s} = 0,667 \text{ dm/s}$ $6 \times 0,667 = 4,0 \text{ kg/s}$ $\Rightarrow 4 \times 4 = 16 \text{ kg}$		

Figur 3.10 Beräkning av utmatad mängd bindemedel i botten av pelare

Tabell 3.1 Beräkning av medelvärde för utmatad bottenmängd

Stillestånd [s]	Rot.hast./Stig. [v/min]/[mm/v]	Rot.hast./Stig. [v/min]/[mm/v]	Rot.hast./Stig. [v/min]/[mm/v]	Rot.hast./Stig. [v/min]/[mm/v]
	200/20	200/10	150/20	150/10
3	12 kg	6 kg	9 kg	4,5 kg
4	16 kg (ex ovan)	8 kg	12 kg	6 kg
5	20 kg	10 kg	15 kg	7,5 kg
6	24 kg	12 kg	18 kg	9 kg

Beroende på antagandet om hur långt stilleståndet är innan stigning påbörjas erhålls olika mängd utmatad mängd bindemedel. Av dessa erhållna värden bildas ett medelvärde på cirka 12 kg.

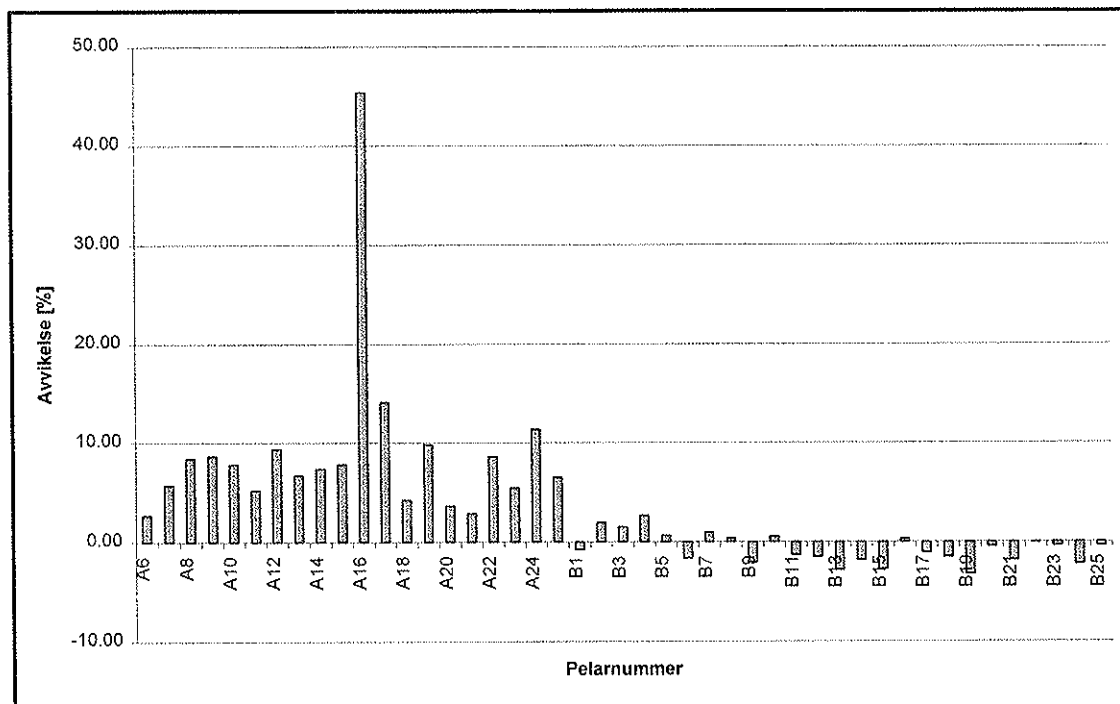
Den totalt utmatade mängden bindemedel sammanställs automatiskt till ett protokoll. Här redovisas pelarnummer, totallängd (djup från markyta till pelarfot), tomborring (avståndet från markyta till pelartopp), utmatad mängd från respektive behållare (cellmatare), totalmängden samt den genomsnittliga mängden per meter. Beräkning av avvikelse från nominell mängd per meter sker automatiskt, se även figur 3.9. Vid beräkning av avvikelse från nominell totalmängd skall man beakta ovan beskrivna utmatning i botten. Detta skall göras när den registrerade totalmängden inkluderar även bottenmängden.

I figur 3.11 redovisas avvikelse från nominell totalmängd för samtliga pelare som maskintyp 1 installerat. Värdena är framtagna enligt:

A = Totalt utmatad mängd bindmedel

B = Nominell mängd

$$\text{Avvikelse [\%]} = (((A-12)-B)/B)*100$$



Figur 3.11 Avvikelse från nominell totalmängd, maskintyp 1

Vad man bör beakta vid små provserier är att det inte finns utrymme för "inkörning" av materialet. Det krävs omkring tio inställningspelare vid varje byte av inställningar. Av detta skäl bedöms produktionsanpassade krav som riktvärden och endast pelare A 16 som avvikande.

3.2.3 Maskintyp 2

Omfattningen för maskintyp 2 var 20 provpelare. Inga komplikationer rapporterades. Installation av pelare med två bindmedel utfördes, CM-bindemedel samt kalk/cement. Samma leveranser och samma blandning som för maskintyp 1. Pelarna installerades till fast botten och medeldjupet blev 8 meter. Under installationen användes följande kompressortryck:

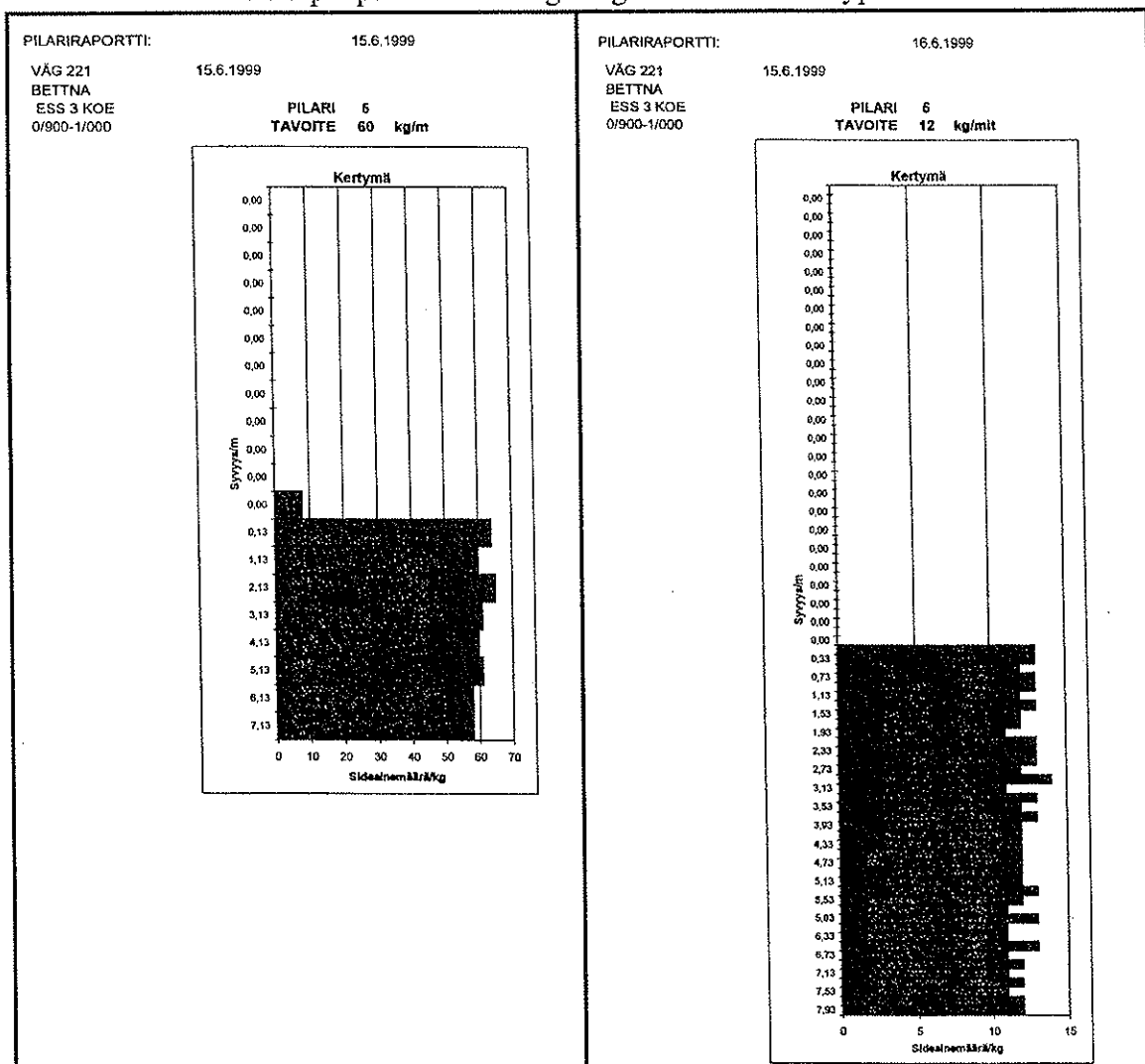
- A26-A35 3.2 bar
- B26-B30 4.9 bar
- B31-B35 4.7 bar

Maskintyp 2 har följande utrustningsspecifika egenskaper:

- Inblandningsverktyg, bygel: 800 mm
- Utmatningshål: ϕ 22 mm
- Slangdimension: ϕ 28 mm
- Vridmoment: 0,8 tonmeter
- Utmatningstryck: max 4,9-5,0 bar

Utmatningsprotokoll

Tillgången till information om installationsprocess för maskintyp 2 var begränsad varför den ej beskrivs ingående. Data lagras emellertid för verifiering av utmatad mängd bindemedel. I figur 3.13 visas ett exempel på ett utmatningsdiagram från maskintyp 2.



Figur 3.13 Utmatningsdiagram maskintyp 2

I utmatningsdiagrammet till vänster visas medelvärde per meter och till höger medelvärde per 0,2 meter.

Tillgång till de data som behövs för att beskriva processtyrningen fanns ej. Detta medför att något värde på den eventuella bottenutmatning ej kan uppskattas. För att kontrollera kriterierna för inblandningsmängd enligt, SGF rapport 4:95 (1995), gjordes uppskattning av avvikelse från nominell totalmängd med

utgångspunkt från det sammanställningsprotokoll, se figur 3.14, som bifogades utmatningsdiagrammet. Avvikelse från nominell totalmängd redovisas i figur 3.15. Avvikelsen över eller understiger ej tio procent. Alla pelare anses därför godkända.

SÄILIÖRAPORTTI:15.6.1999(1 / 1)

VÄG 22115.6.1999

BETTNA

ESS 3 KOE

0/900-1/000

Otsikko:22

Nr.	kg/m	Pel. längd	Tot. mängd	stig.	Tid
Pilarinno	Keskiarvo	Syvyys	Pituus	Sideaine	mm/r
A35 1	61,95	7,81	7,81	484	9,9 18:22
A34 2	60,93	8,14	8,14	496	10,0 18:29
A33 3	61,51	8,11	8,11	499	10,0 18:36
A32 4	60,71	7,84	7,84	476	10,0 18:43
A31 5	60,88	8,13	8,13	495	10,0 18:49

SäiliöNo: 141

Yhteensä:

5kpl 61.19kg 40.04m 40.04m 2450kg 10mm/r

B35 6	56,01	8,23	8,23	461	20,3 19:20
B34 7	59,72	8,44	8,44	504	20,1 19:25
B33 8	59,68	8,85	8,85	528	19,3 19:29
B32 9	60,89	8,82	8,82	537	18,8 19:34
B31 10	60,41	8,66	8,66	523	19,1 19:39

SäiliöNo: 142

Yhteensä:

5kpl 59.34kg 43m 42.99m 2553kg 19.5mm/r

B30 11	61,10	8,33	8,33	509	17,3 20:09
B29 12	60,51	8,36	8,36	506	16,8 20:14
B28 13	60,95	8,42	8,42	513	17,1 20:19
B27 14	60,09	8,51	8,50	511	17,2 20:23
B26 15	59,78	8,03	8,03	480	16,7 20:28
A30 16	60,21	7,99	7,99	481	10,0 20:52
A29 17	59,49	8,09	8,09	481	10,0 20:59
A28 18	60,79	8,05	8,04	489	10,0 21:05
A27 19	60,80	8,09	8,09	492	10,0 21:12
A26 20	60,71	6,82	6,82	414	10,0 21:18

SäiliöNo: 143

Yhteensä:

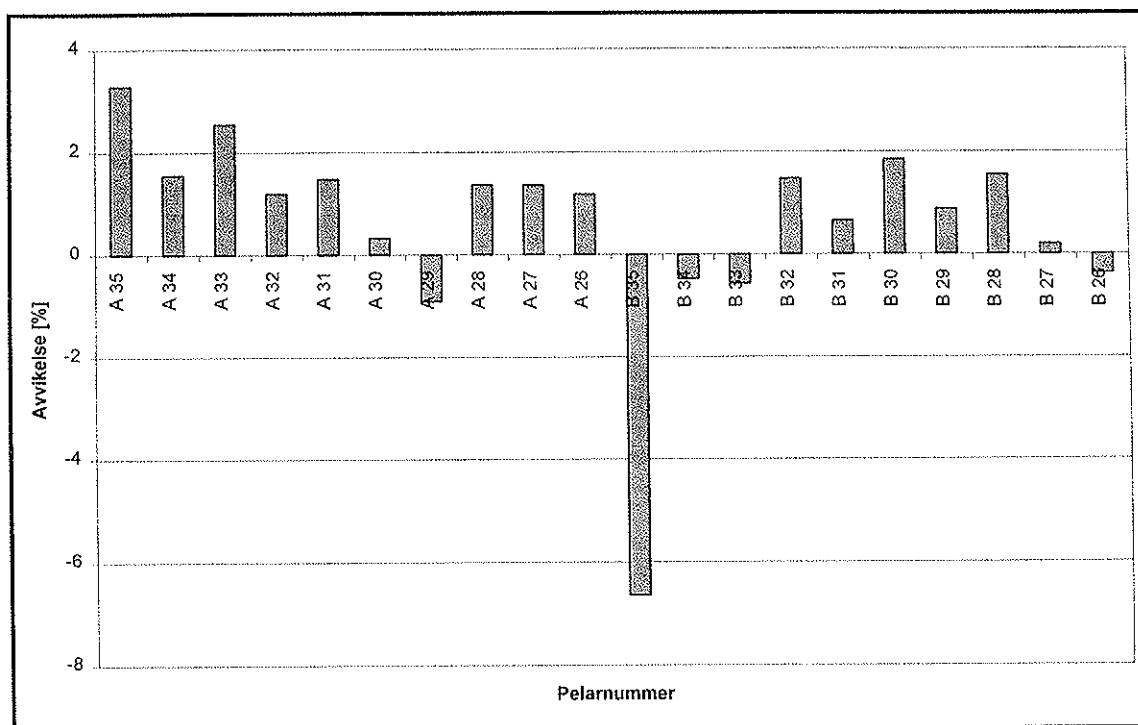
10kpl 60.44kg 80.68m 80.67m 4876kg 13.5mm/r

15.6.1999

Yhteensä:

20kpl 60.36kg 163.72m 163.7m 9879kg 14.1mm/r

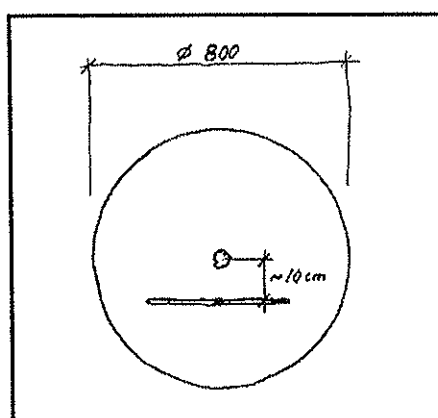
Figur 3.14 Sammanställningsprotokoll, maskintyp 2



Figur 3.15 Avvikelse från nominell totalmängd för maskintyp 2

3.3 SONDERING I

Vecka 28 (12:e-15:e juli), 28 dygn efter installationen av provpelare, genomfördes sondering av 59 utav de 65 provpelarna. Provtagningen utfördes av Vägverket Konsult. Sonderingsmetoden var traditionell pelarsondering utan förborrning, med en sondstorlek på 400x20 mm. Övervägande om sondstorlek 600x15 mm gjordes med då det var önskvärt att förskjuta nerdrivningen från centrum av pelaren valdes 400x20 mm. Förskjutningen från centrum valdes för att undvika störningar från ett eventuellt hål skapat av borrstängen. Sonden placerades enligt figur 3.16.



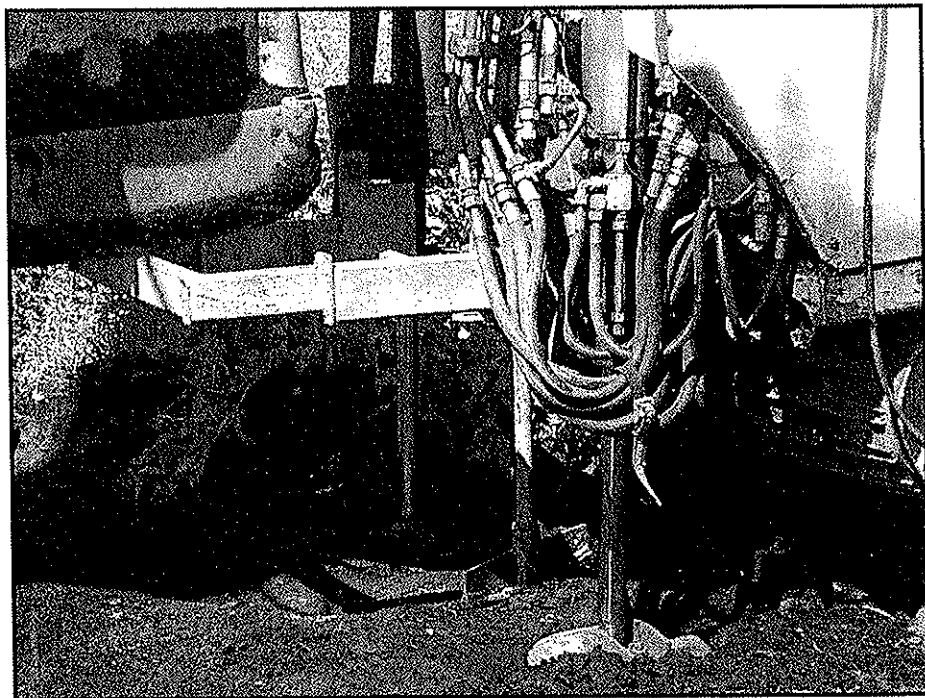
Figur 3.16 Sondens utgångsläge i pelartopp

De reflektioner som gjordes under arbetets gång var att pelare installerade av maskintyp 1 var homogena och jämnfasta med några undantag. CM-pelare installerade av maskintyp 2 uppfattades som svårsonderade då det fanns mycket hårda skikt i toppen av pelaren. Några av dessa pelare sonderades två gånger för att säkerställa att sonden ej gått ur pelaren.

Sonderingskurvorna från provtagningen visade att de erfarenhetsmässiga slutsatser som antagits också stämde med sonderingsresultaten. I bilaga 2.1 redovisas sonderingsresultaten sammanställda i grupper med samma installationsförutsättningar. I figur 3.17 och figur 3.18 visas sonderingsarbetet i fält.



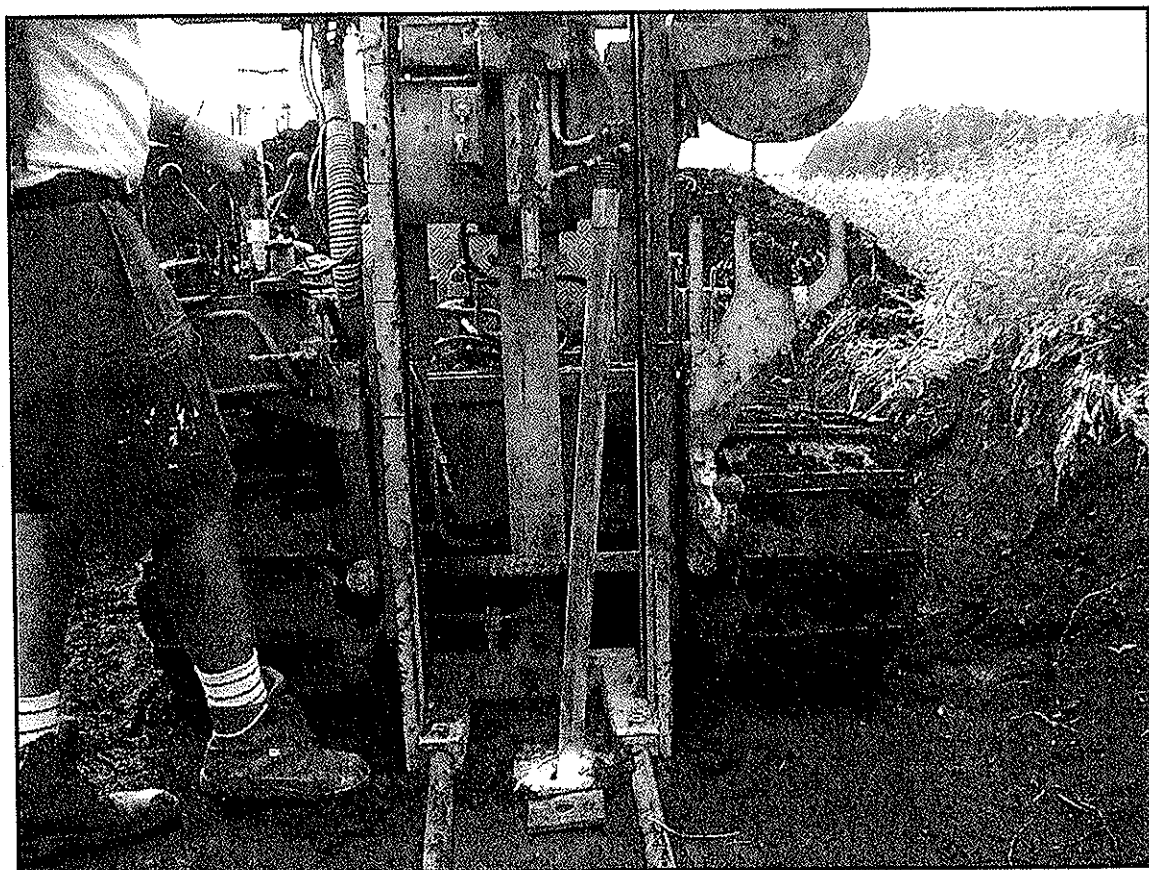
Figur 3.17 Framgrävda pelare klara för sondering



Figur 3.18 Vingens placering i marken. Grävmaskin som mothåll

3.4 KOLVPROVTAGNING

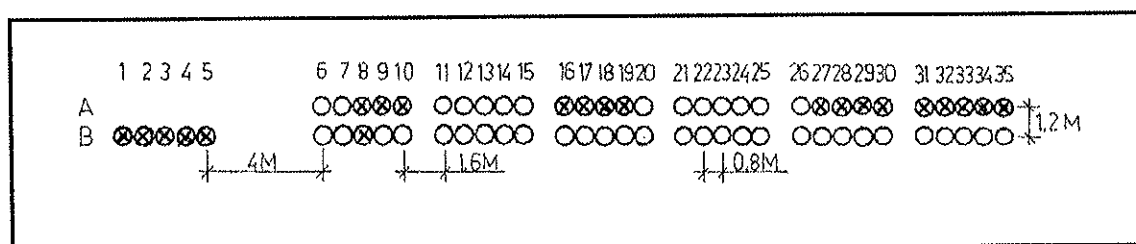
Under vecka 28 genomfördes även provtagning med kolv i fyra pelare samt i ostabiliserad jord. Pelare A8, A18, A28 samt A33 och sektion 0/875, 0/908 samt 0/930 ostabiliserad jord. Proverna ur pelare och ostabiliserad jord fördes till Chalmers tekniska högskola för hållfasthetstest och rutinundersökningar. Vid kolvprovtagningen användes en grävmaskin som mothåll för att förenkla arbetet. Det var svårt att få upp hela och ostörda prover i de pelare som var inhomogena. I de pelare som kolvprovtagning utfördes skedde ingen sondering. Under kolvprovtagningen fördes protokoll och en preliminär bedömning av jordart gjordes. I pelare A 28 var det komplicerat att driva kolven vertikalt i pelaren. Tre omstarter gjordes innan förborrning med jordskruv provades. Jordskruv skruvades cirka en meter ner för att rikta kolven. Figur 3.19 visar hur kolvstången drog sig ur pelaren.



Figur 3.19 Kolvprovtagning i pelare A28, Sned nerdrivning

3.5 SONDERING II

Vecka 43 (26:e-27:e oktober), 134 dygn efter installation av provpelare utfördes sondering II. Vid detta tillfälle sonderades endast pelare installerade med rotationshastighet 150 varv/min och stigning 10 mm/varv. Sonden placerades i centrum av pelaren samt roterad 90° jämfört med placeringen vid sonderingstillfälle I. I figur 3.20 redovisas de pelare som sonderades. I bilaga 2.2 redovisas sonderingsresultaten sammanställda i grupper med samma installationsförutsättningar.



Figur 3.20 Pelare som sonderades vid sondering II är markerade med X

3.6 UPPTAGNING AV PELARE

Under vecka 43 (25:e-26:e oktober), 134 dygn efter installation genomfördes upptagning av 3 provpelare samt 1 produktionspelare. De pelare som togs upp var A6, A20, A26 samt produktionspelare Q860.

3.6.1 Utförande vid upptagning av pelare

Kontrollmetoden ”upptagning av hela pelare” är en resurs och arbetsinsatskrävande provmetod. Vid upptagningen användes följande utrustning:

- Mobilkran 40 ton med dubbla spel
- Grävmaskin
- Tvådelat, ledat järnrör, 900 mm i diameter
- Vibro 625
- Tryckluftskompressor
- Diverse mindre utrustning som exempelvis bultdragare, elverk, motorsåg, spadar, avvägningsstänger, måttband mm.

Upptagningen av pelare samt den därpå efterföljande provtagningen utfördes i följande ordning:

1. Lokalisering av pelare samt framschaktning av pelartopp med grävmaskin. Toppen grävdes sedan ytterligare fram med spade för att underlätta placeringen av röret.
2. Provtagningsröret rengjordes på insidan och bultades ihop. Om röret innehåller rester från tidigare provtagningar kan dessa rester ansamlas vid luckorna i botten när röret reses till vertikalt läge och medföra att de ej går att öppna fullt ut.
3. Röret fästes i ett av mobilkranens spel, fyra infästningar på röret användes. Röret restes något innan man fäste vibron i det andra spelet. Kranföraren lyfte sedan rör och vibro sakta så att vibron hamnade rakt ovanför röret.
4. Röret placerades på pelaren och vibron riktades i läge och fästes sedan i röret. Man hade vid inriktningen av vibron hjälp av grävmaskinen som hindrade röret från att välta.
5. Vibron vibrerade sakta röret ner över pelaren. Inga extra laster behövdes utan röret sjönk av sin egen vikt.
6. När röret nått cirka en meter under botten av pelaren avbröts vibreringen och vibron kopplades loss.
7. Infästningen på röret ändrades nu till de vajrar som stänger luckorna i botten av röret. Mobilkranen drog sedan igen rörluckorna. När luckorna var stängda byttes infästningen tillbaka till öglorna i rörtoppen.
8. Tryckluft kopplades till och kompressorn hjälpte sedan till att underlätta uppdragningen av pelaren.
9. När pelaren var uppdragen placerades röret horisontellt på marken för att kunna öppnas och provtagningen skulle kunna ske.
10. När röret öppnats görs den provtagning som man önskar i röret, alternativt rullas pelaren ur röret och provtagningen sker parallellt med upptagning av nästa pelare. I Bettna gjordes provtagningen när pelare låg kvar i röret, eftersom det fanns risk att pelaren skulle gå sönder om den togs ur röret.
11. När röret öppnats skrapades pelarens yta fram. Avvägningsstång lades på för längdmätning, pelaren fotograferades och

videofilmades. Vid denna första okulära besiktning gjordes även en bedömning av pelarens form och kvalitet.

12. Pelaren schaktades av i längdled, till halva diametern, för att få ett tvärsnitt som var hanterbart för vidare provtagning. När avschaktningen var klar mättes tvärsnittet varje meter för kontroll av diametern. Avvägningstång placerades och fotografering utfördes.
13. För att mäta hållfastheten i fält användes en penetrometer. Tre till sex punkter per meter provtrycktes med olika avstånd från centrum för att täcka in hela tvärsnittet.
14. Varje längdmeter, i samma tvärsnitt som provtryckning med penetrometer gjorts, insamlades tre materialprover för att bestämma CaO-halt i laboratorium.
15. När provtagningen var klar grävdes röret rent för nästa provtagning.

Proceduren som beskrivits under punkt 1-9 tar cirka en timma om ingenting oförutsett inträffar, se punkt problem/förbättringar nedan. Den omfattning av provtagning som beskrivs under punkterna 11-14 utfördes på ungefär två timmar.

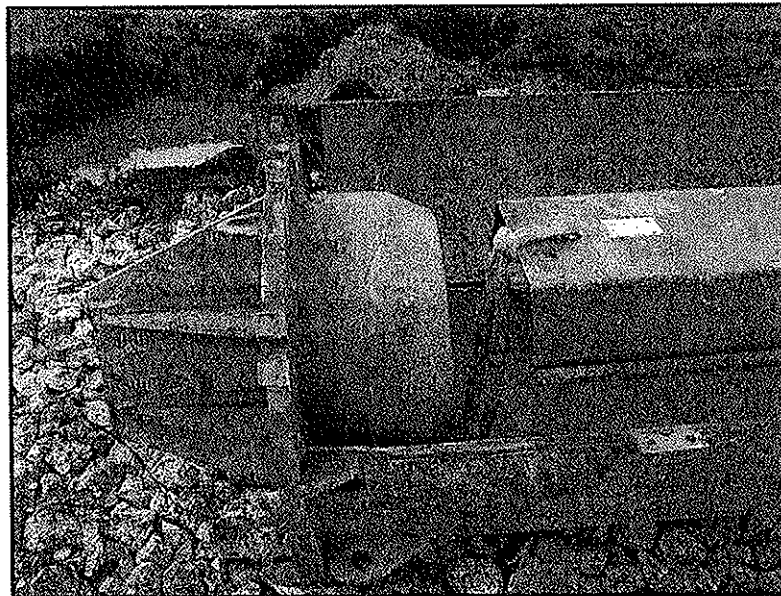
3.6.2 Problem / förbättringar

Under arbetes gång tillstötte en del komplikationer och ett antal förbättringsåtgärder diskuterades för att göra metoden mer rationell. Då det gäller upptagningen pelare skulle man spara mycket tid om vibron kunde fästas i rörtoppen när röret ligger på marken. Ett annat alternativ är att svetsa en styrning så att inpassningen av vibron förenklas. Problemet idag är att fästet är utformat så att vibron ej kan fästas på marken och inpassningen är för beroende av kranförarens skicklighet och vana att hantera dubbla spel.

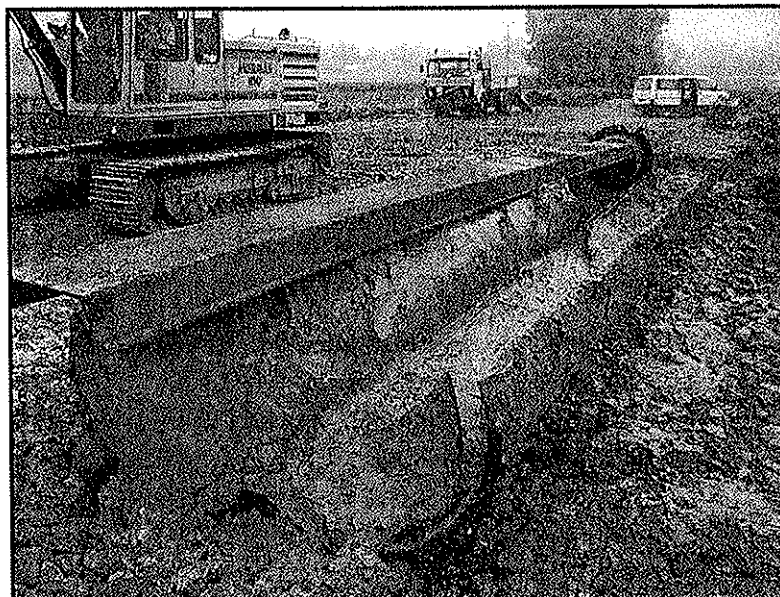
För att effektivisera provtagningen när pelaren är upptagen provades att använda en spontplanka som behållare till pelaren. Idén initierades av Magnus Ruin, Hercules Grundläggning AB. När röret öppnats lades en spontplanka på pelaren och tanken var att man skulle stänga röret, vända röret, öppna det och dra ut pelaren och på så sätt kunna påbörja nästa upptagning under tiden som provtagningen av första pelaren pågick. Det var emellertid komplicerat att stänga röret när spontplankan lagts på pelaren och försöket avbröts. Formen på en spontplanka är inte optimerad för detta ändamål och pelaren utsätts för

krafter i tvärled som gör att den spricker. Tidsåtgången för att applicera plankan, stänga röret, vända, öppna och slutligen dra pelaren ur röret beräknades vara för stor för att öka effektiviteten tillräckligt.

Ett alternativ till spontplankan är att förse röret med dubbla väggar och på liknande sätt som med spontplankan dra pelaren ur röret. Denna metod provades aldrig men anses som intressant för framtida projekt. I figur 3.22 och 3.23 visas försöket med spontplankan.



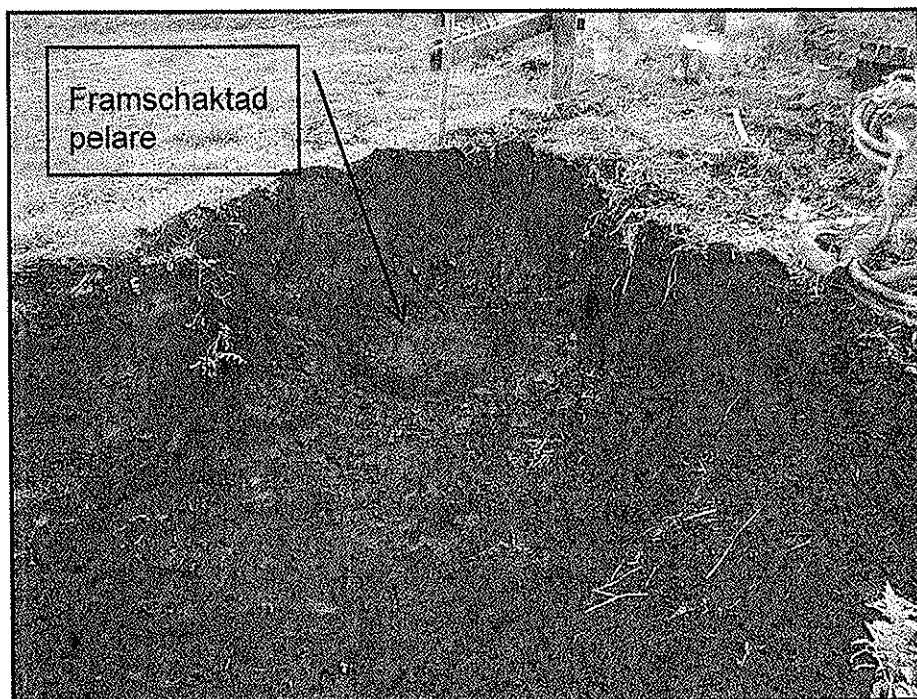
Figur 3.22 Infästning av tygstropp för utdragning



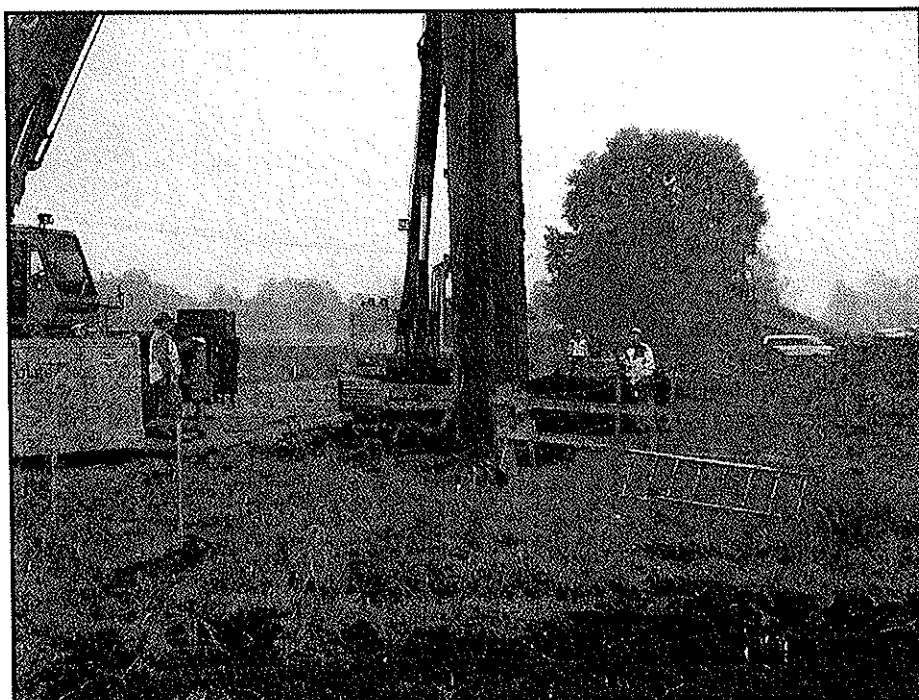
Figur 3.23 Spontplanka på pelare

3.6.3 Bildserie

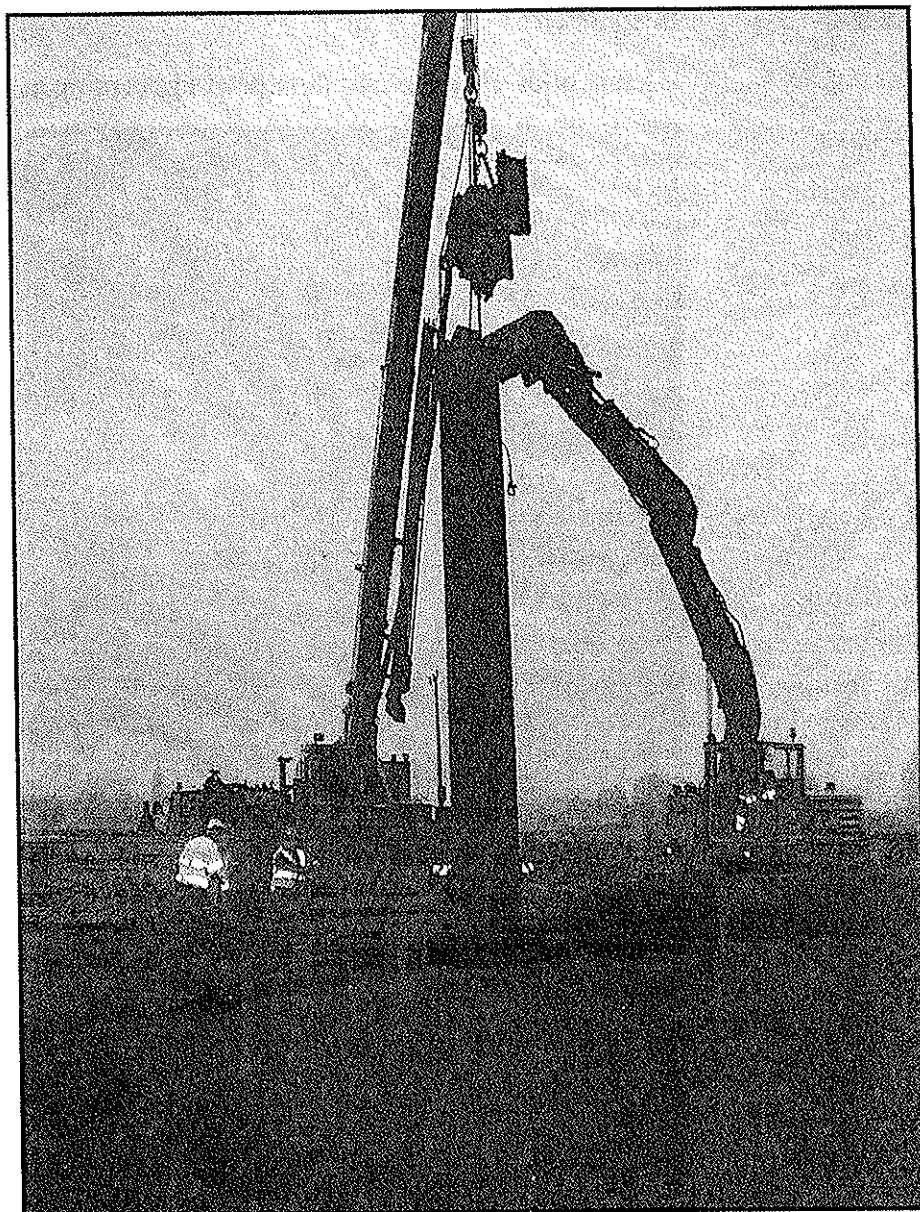
I denna bildserie redovisas fältarbetet upptagning av pelare.



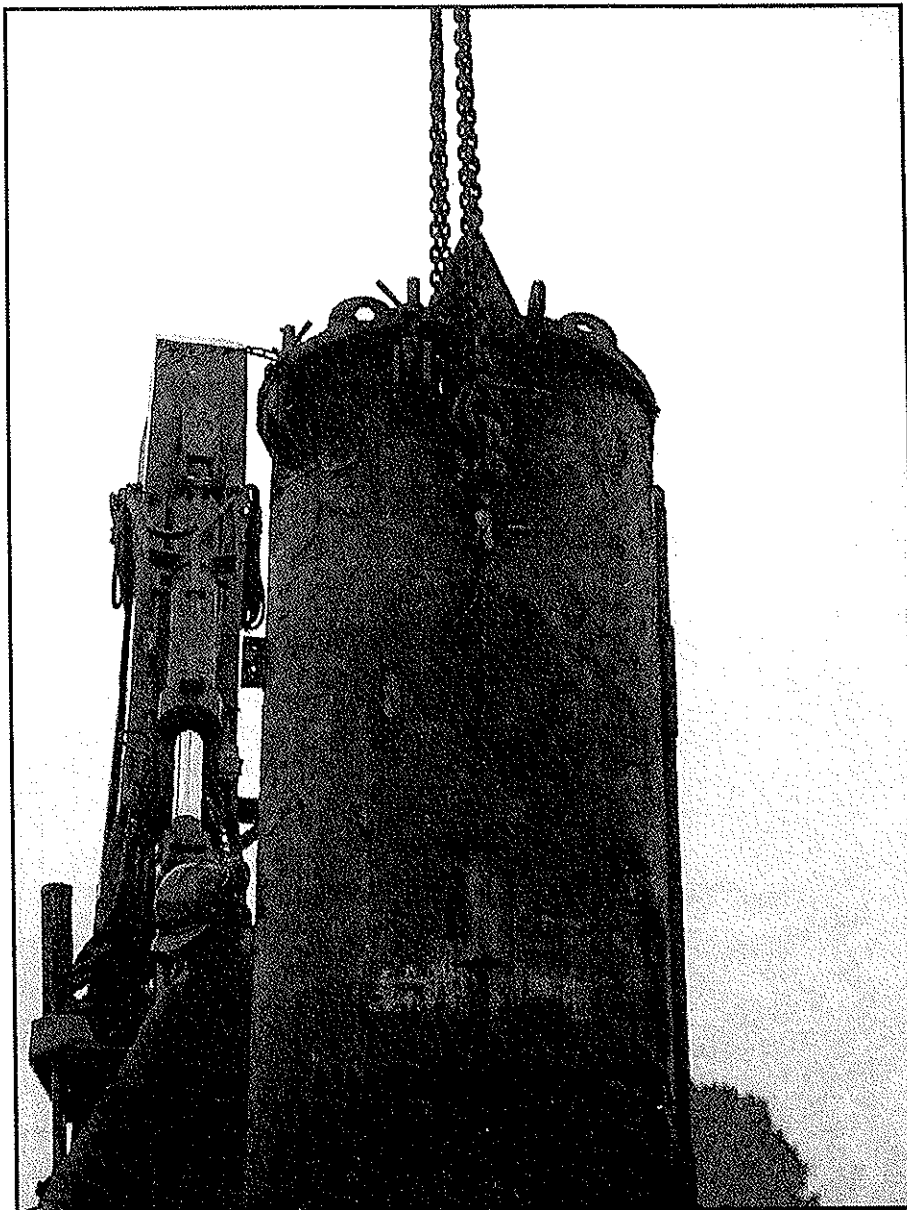
Figur 3.24 Lokalisering och framschaktning av pelare A6



Figur 3.25 Placering av rör på pelare



Figur 3.26 Inpassning av vibro på rörtopp



Figur 3.27 Luckorna stängs genom att dra i vajrarna kopplade till luckorna

4

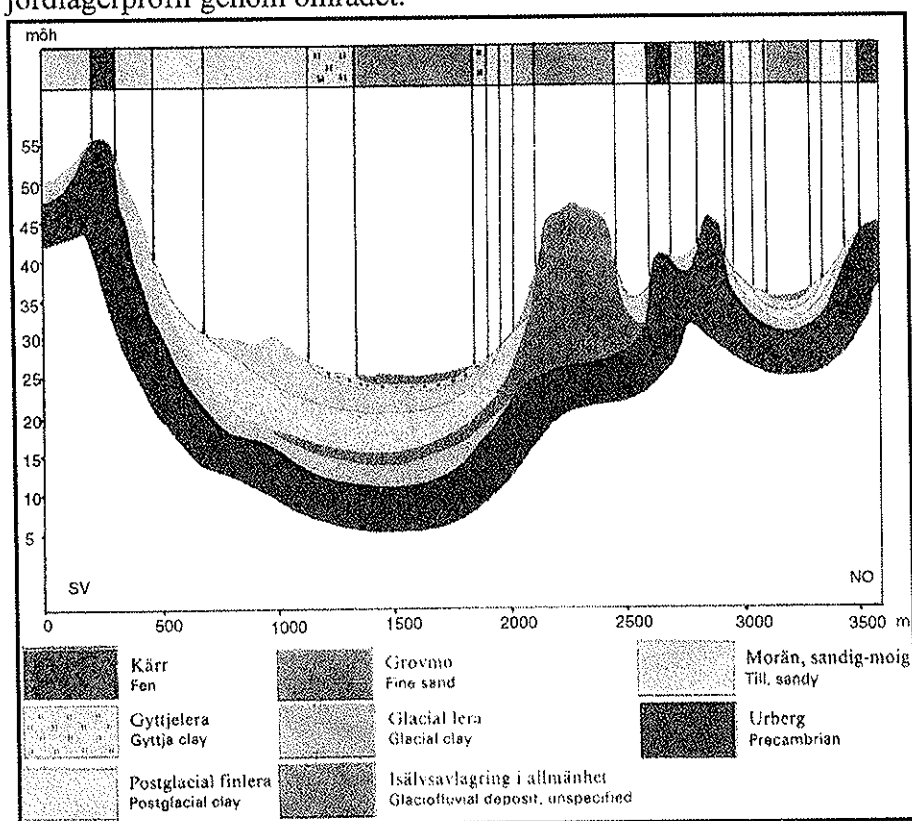
UTVÄRDERING AV RESULTAT

Kapitel 4 omfattar resultat samt utvärdering av resultat från laboratorie- och fältundersökningar. I detta innefattas en slutlig jordprofil, inblandningsförsök, enaxliga tryckförsök, bindemedelsfördelning i pelarens tvärsnitt, traditionell pelarsondering samt upptagning av hela pelare.

4.1

JORDPROFIL

Med utgångspunkt ifrån studier av jordartskartan och dess beskrivning har en geologisk modell ansatts. Modellen redovisas i figur 4.1 som en jordlagerprofil genom området.



Figur 4.1 Jordlagerprofil SV-NO

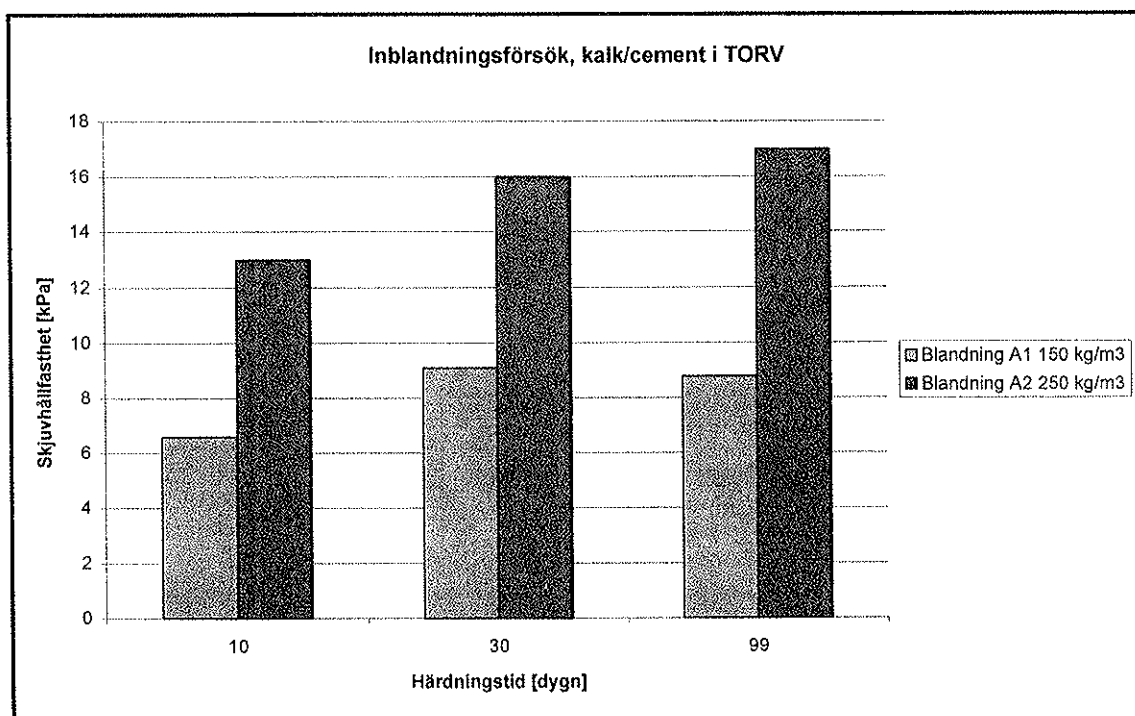
Det slutgiltiga utseendet på markförhållandena vid provområdet i Bettna sammanfattas i figur 4.2. Profilens utseende grundar sig på laboratorieförsök (bilaga 1.5, 1.8 samt kapitel 2) och okulärbesiktningar i fält. I sektion 0/930 går gränsen mellan gyttjig lera och varvig lera vid 3,5 meters djup.

0	1162	11214
	TORV	$W_N \approx 500\%$
1	GYTTJA	$W_N \approx 140-180\%$
2	LERIG GYTTJA	$S \approx 1,25 \text{ t/m}^3$
	GYTTJIG LERA	$c_{\text{red}} \approx 4-6 \text{ kPa}$
3		$W_N \approx 50-110\%$
4	VARVIG LERA	$S \approx 1,5 \text{ t/m}^3$
5		$c_{\text{red}} \approx 6-15 \text{ kPa}$
6	SILTIG LERA	$W_N \approx 50\%$

Figur 4.2 Jordprofilens utseende vid provområdet i Bettna, Sektion 0/875 och 0/930.

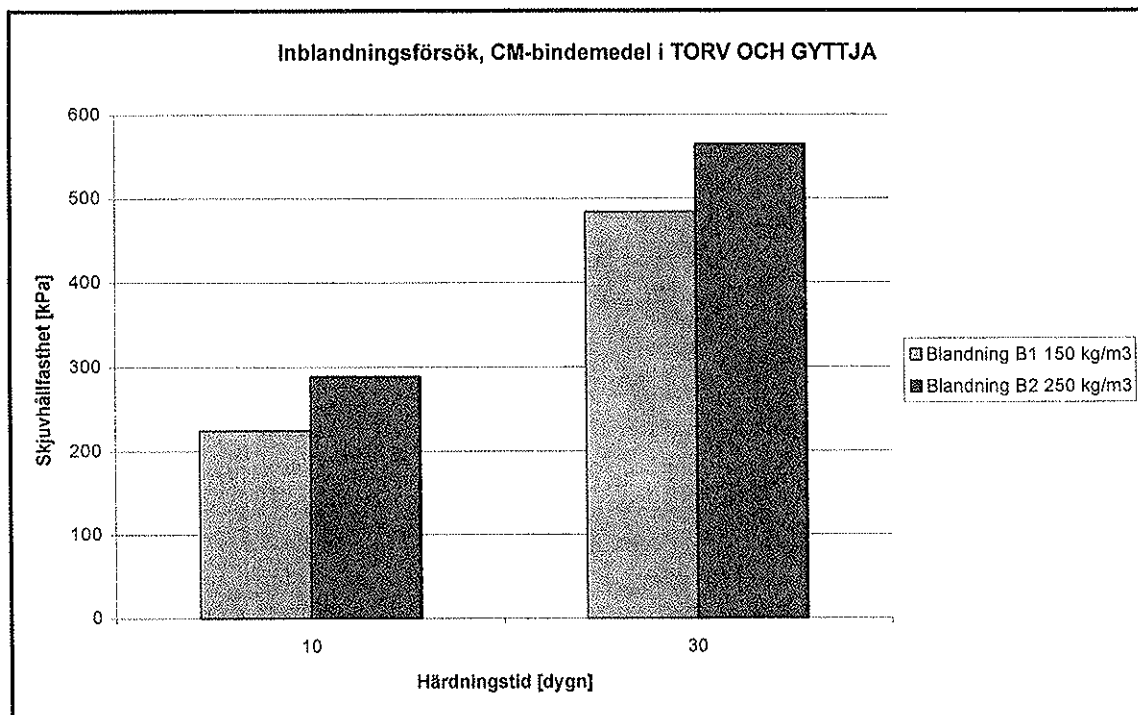
4.2 INBLANDNINGSFÖRSÖK

De utförda inblandningsförsöken visar att CM-bindemedel ger en högre hållfasthet än kalk/cement i laboratoriet. I figur 4.3- 4.6 redovisas resultaten från inblandningsförsök som laboratoriet på SGI utförde under 1997. Indata till sammanställningsdiagrammen finns redovisade i bilaga 1.5-1.6. De kompletterande inblandningsförsöken som gjordes under 1999 i gytta finns redovisade i figur 4.7.

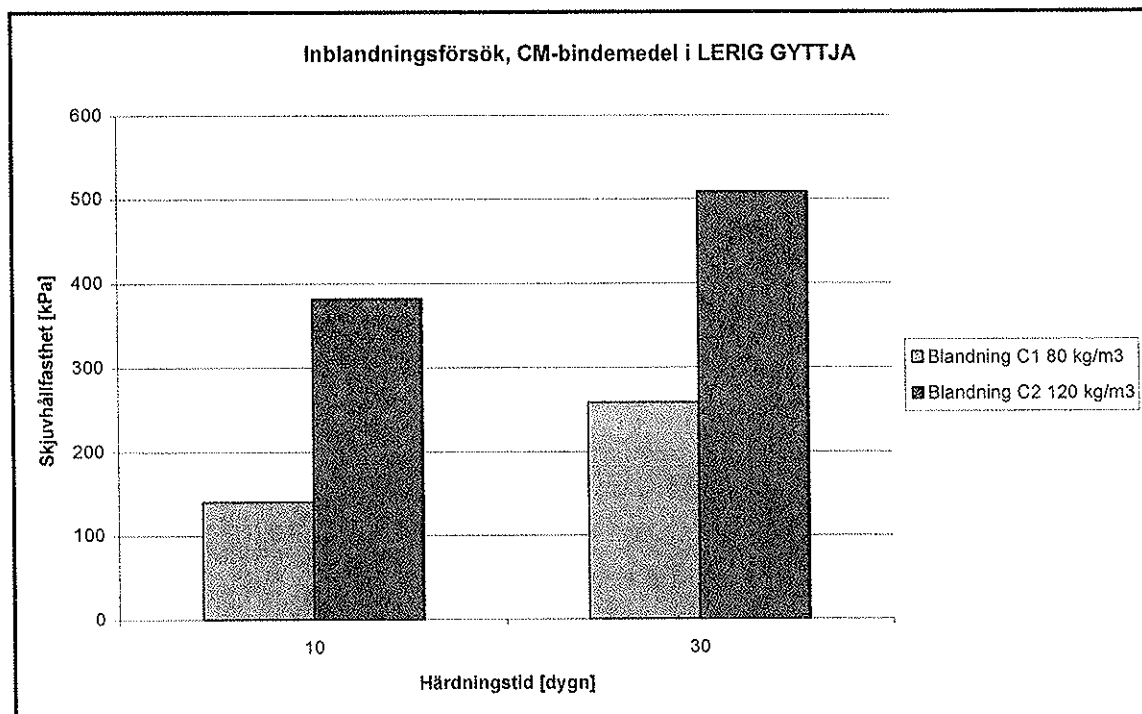


Figur 4.3 Inblandningsförsök, SGI, Blandning A1 och A2

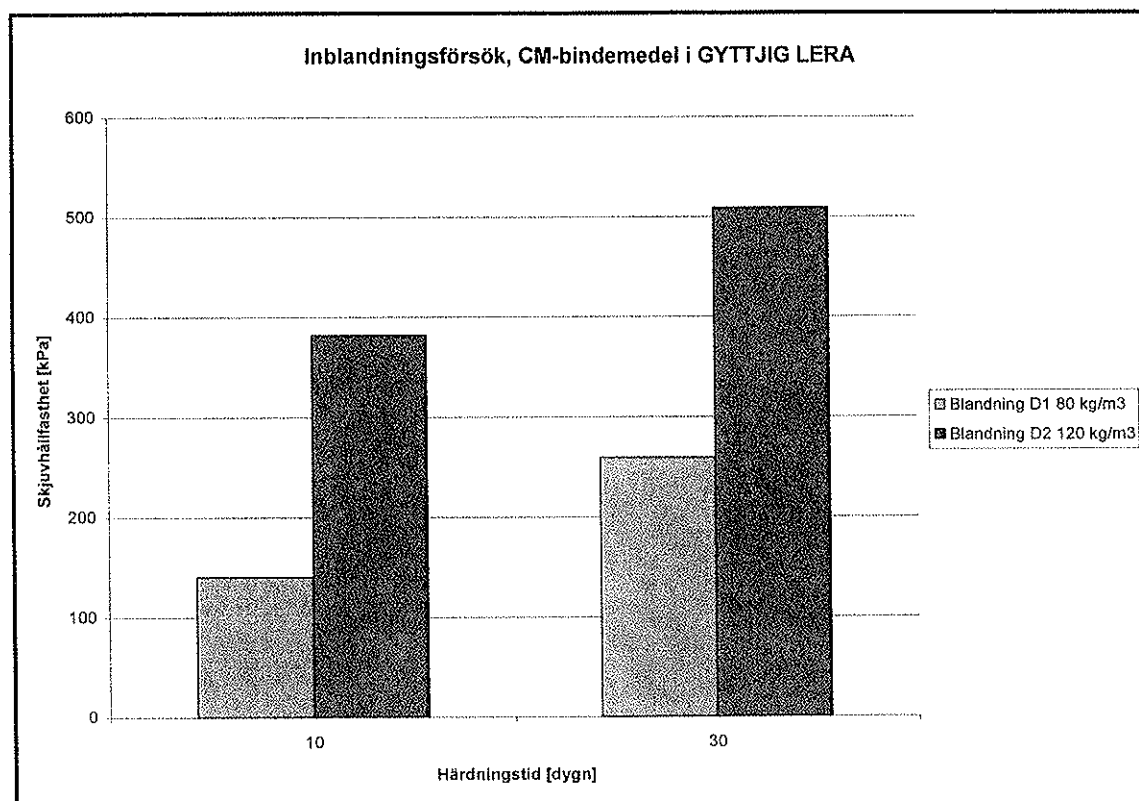
Skjuvhållfastheterna i figur 4.3 är låga. Det låga resultaten kan bero på ett flertal faktorer, till exempel att proverna är härdade obelastade i små hylsor (ø 50 mm, höjd 20 mm). Rutinerna för inblandningsförsök har ändrats till att man använder större hylsor (ø 68 mm, höjd 250 mm) som under härdningen belastas med 18 kPa. Det kan också bero på att kalken ej förvarats på ett riktigt sätt och blivit exponerad för fuktig luft. Om osläckt kalk exponeras för fuktig luft påbörjas släckningsprocessen och kalken blir inaktiv. I det här fallet hade kalken som användes till inblandningsförsöket förvarats 6 månader inplastad i ett mörkt svalt utrymme. Utrustningen som användes var rätt kalibrerad.



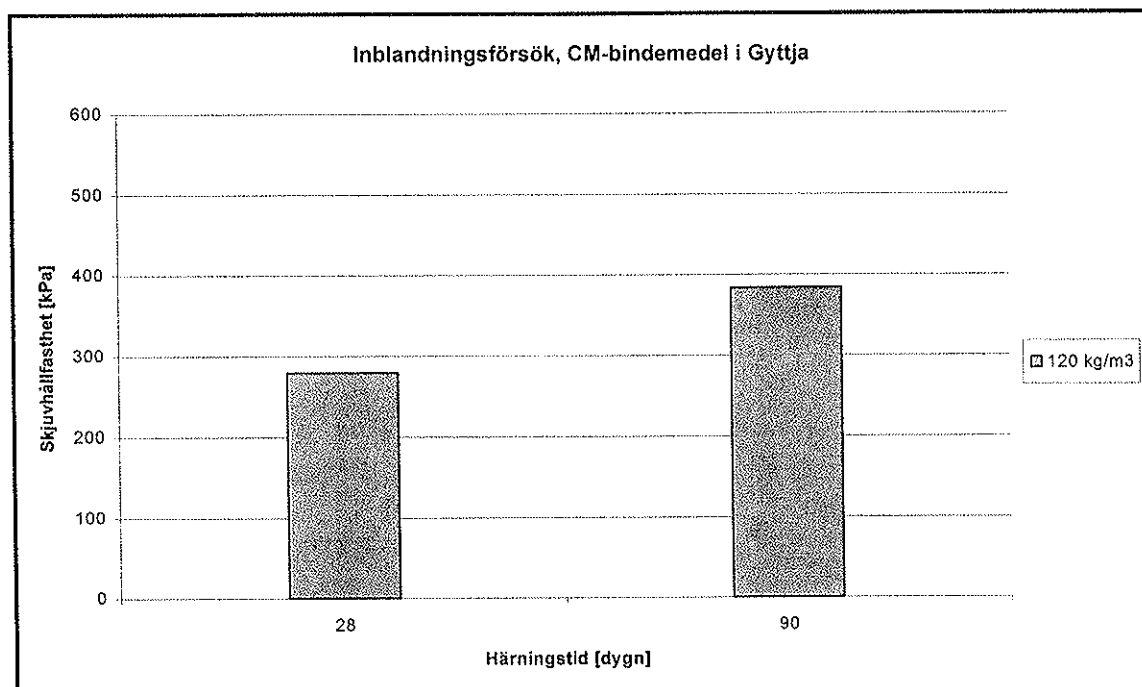
Figur 4.4 Inblandningsförsök, SGI, Blandning B1 och B2



Figur 4.5 Inblandningsförsök, SGI, Blandning C1 och C2

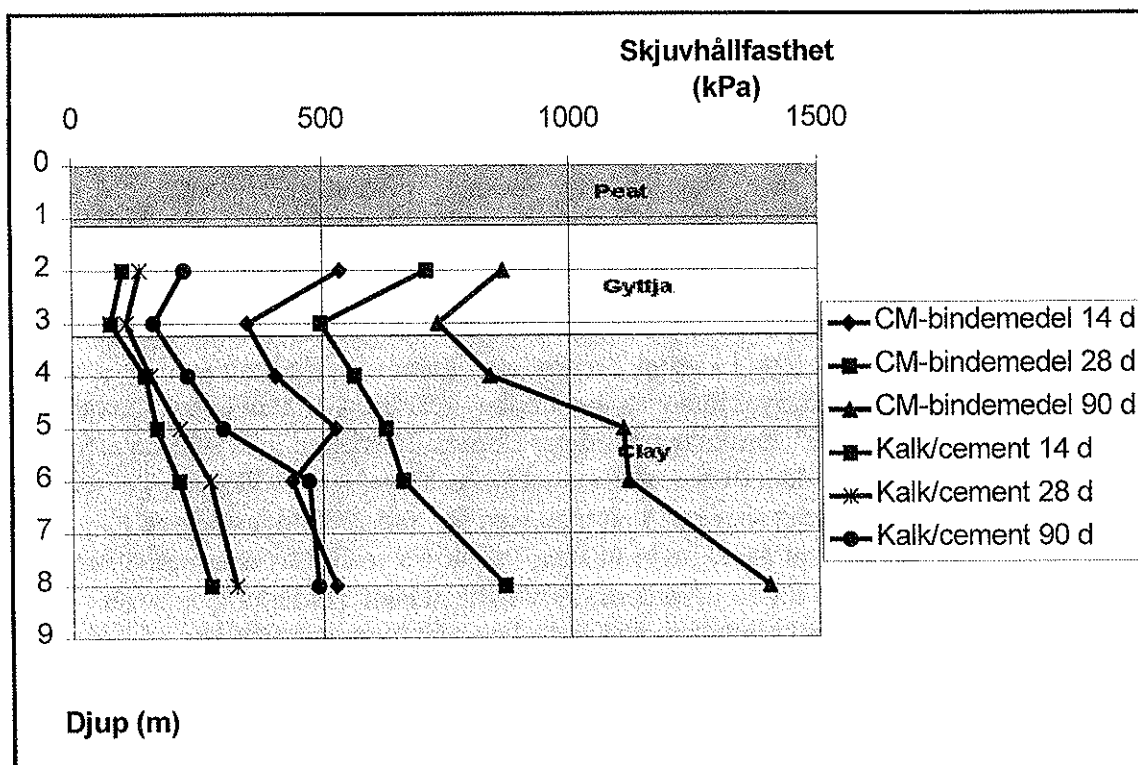


Figur 4.6 Inblandningsförsök, SGI, Blandning D1 och D2



Figur 4.7 Inblandningsförsök, SGI, Gyttja 1999

Under 1999 genomförde Viatek inblandningsförsök åt Cementa. I figur 4.8 redovisas en sammanställning av jordarter och hållfasthetsresultat. Även dessa inblandningsförsök visar att CM-bindemedel ger högre hållfasthet än kalk/cement. I bilaga 1.8 redovisas de data som Cementa tagit fram.



Figur 4.8 Resultat från inblandningsförsök utförda av Viatek

4.3

ENAXLIGA TRYCKFÖRSÖK

Utvärderingen av de enaxliga tryckförsöken sker enligt brottkriterier för jord. För jord används Mohr-Coulomb's brottkriterium:

$$\tau_f = c + \sigma \cdot \tan \phi$$

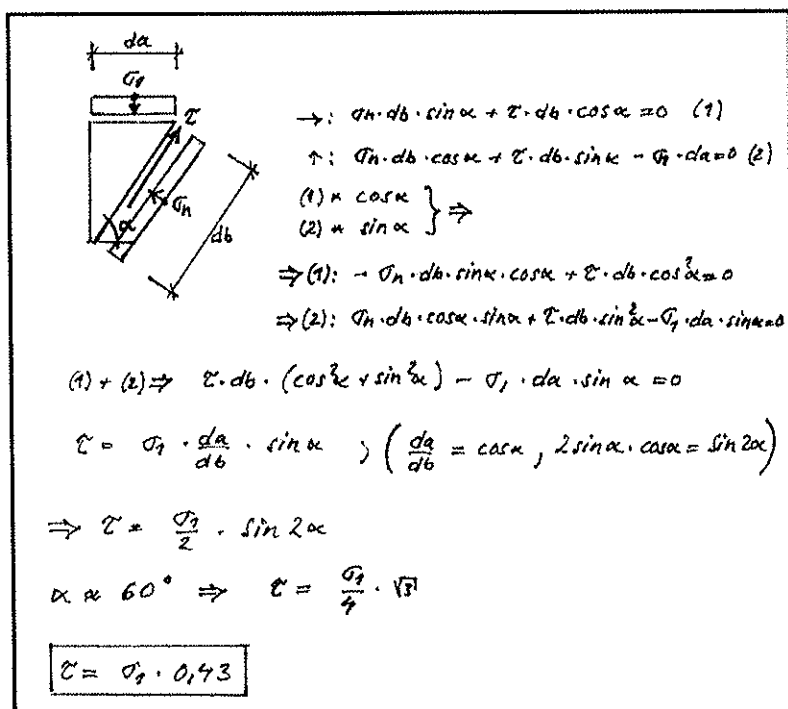
Vid enaxiellt tryckförsök utsätts provet för en vertikal kraft och för lera utvärderas skjuvhållfastheten enligt:

$$\tau_f = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2 \cdot \sin(2\alpha)$$

$$\sigma_3 = 0$$

$$\alpha = 45^\circ$$

Brottbilden för kalkcementpelare och CM-pelare är inte den samma som för lera. I kapitel 2 redovisas figurer över de brott som de enaxliga tryckförsöken gav upphov till. Brottvinkeln uppskattas till cirka 60° . Om man utvärderar skjuvhållfastheten med samma metod som för lera överskattas skjuvhållfastheten. Brottbilden är ej entydig och brottet sker inte i ett plan som för lera. Det bildas en zon i materialet där skjuvbrott sker. I figur 4.9 redovisas den metod som använts för att utvärdera skjuvhållfastheten. Härledningen är en förenklad modell av vad som sker i det brott som uppstår.



Figur 4.9 Utvärderingsmetod av skjuvhållfasthet enaxliga tryckförsök

I tabell 4.1 redovisas resultaten från de enaxliga tryckförsöken utvärderade enligt figur 4.8.

Tabell 4.1 Resultat från enaxliga tryckförsök

<i>Datum</i>	<i>Pelare</i>	<i>Djup</i>	<i>Vikt [g]</i>	<i>Benämning</i>	<i>Odränerad skjuvhållfasthet [kPa]</i>
990830	A 8	0.5-1.2	223.3	Pel/Torv (lerig)	21.5
990830	A 8	1.2-1.9	284.6	Pel/Lera (gyttjig)	12.5
990830	A 8	1.9-2.6	291.2	Pel/Lera	63.6
990830	A 8	2.6-3.3	293.5	Pel/Lera	12.9
990830	A 8	3.3-4.0	302.2	Pel/Lera	37.4
990830	A 8	4.0-4.7	334.0	Pel/Lera	30.5
990830	A 8	4.7-5.4	377.2	Pel/Silt	55.0
990831	A 18	0.5-1.2	256.2	Pel/Gyttja	54.2
990831	A 18	1.2-1.9	274.5	Pel/Gyttja	61.1
990831	A 18	1.9-2.6	285.0	Pel/Lera	59.8
990831	A 18	2.6-3.3	289.7	Pel/Lera	49.5
990831	A 18	3.3-4.0	294.1	Pel/Lera	64.5
990831	A 18	4.0-4.7	299.4	Pel/Lera	64.5
990831	A 18	4.7-5.4	330.2	Pel/Lera (siltig)	62.4
990831	A 18	5.4-6.1		Pel/Silt	
990831	A 18	5.4-6.1	344.2	Pel/Silt	57.6
990831	A 28	0.5-1.2	213.8	Pel/Torv	10.3
990831	A 28	1.2-1.9	195.0	Pel/Gyttja	24.5
990831	A 28	3.3-4.0	287.3	Pel/Lera	3.0
990831	A 28	3.3-4.0	288.0	Pel/Lera	3.4
990831	A 28	4.0-4.7	293.0	Pel/Lera	4.7
990831	A 28	3.5-4.2	298.4	Pel/Lera	6.5
990831	A 33	0.5-1.2	254.8	Pel/Torv	56.3
990831	A 33	1.2-1.9	232.1	Pel/Gyttja	29.2
990831	A 33	1.9-2.6	255.7	Pel/Lera (gyttjig)	63.2
990831	A 33	2.6-3.3	283.4	Pel/Lera	64.5
990831	A 33	4.7-5.4	296.8	Pel/Lera (siltig)	5.6
990831	A 33	5.4-6.1	280.1	Pel/Lera (siltig)	3.0

De framgår tydligt att i pelare A28 har kolvprovtagaren gått ur pelaren och värdena från 3 meter och djupare är från ren lera.

4.4 BINDEMEDELSFÖRDELNING

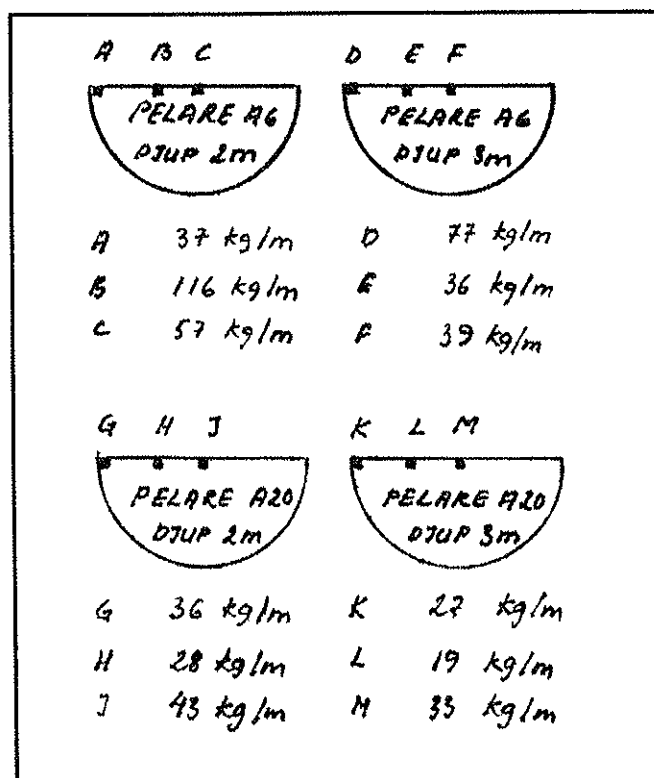
4.4.1 Bindemedelshalt, kolvprovtagning

Bindemedelsmängden som framräknades i A8 och A18, installerade av maskintyp 1 visar punktvärden. Dessa värden på bindemedelsmängden representerar inte hela tvärsnittet. Resultat visas i kapitel 2. Kolvprovtagaren bedöms gått ur pelare A28 och de värden som finns på djupet 2,25 meter och därunder är ej relevanta. I pelare A33 är analyser gjorda de översta tre metrarna och bindemedelskoncentrationen är hög. Orsaken antas bero på en ojämn utmatning som skapar delar med hög hållfasthet och hög bindemedelskoncentration. Detta antagande bekräftas av upptagningen av pelare A26 som finns beskriven i avsnitt 4.6.4.

4.4.2 Bindemedelshalt, upptagning av pelare

Maskintyp 1, A6 och A20

Bindemedelsmängden i pelaren utvärderas enbart som punktvärden och anses inte representera någon uppskattning av den totalt utmatade bindemedelsmängden i tvärsnittet. För att utvärdera ett medelvärde på utmatad mängd i ett tvärsnitt krävs större prover för analys. Värdena visar att spridningen i tvärsnittet är stor och man inte kan hitta några tendenser till att bindemedelskoncentrationen är större i periferin eller i centrum av pelaren. I figur 4.10 redovisas de punktvärden som utvärderats med metod 2 (se kapitel 2).



Figur 4.10 Bindemedelshalt i pelare A6 (Maskintyp 1, CM-bindemedel nominell mängd 60 kg/m) och A20 (Maskintyp 1, kalk/cement, nominell mängd 60 kg/m)

Maskintyp 2, Q860 och A26

Bindemedelsmängden i pelaren utvärderas enbart som punktvärden och anses inte representera någon uppskattning av den totalt utmatade bindemedelsmängden i tvärsnittet. För att utvärdera ett medelvärde på utmatad mängd i ett tvärsnitt krävs större prover för analys. Värdena visar att spridningen i tvärsnittet är stor. Pelare A26 (nominellt värde 60 kg/m) hade ett mycket varierat tvärsnitt och provtagningen för CaO-haltbestämningen utfördes i de delar av pelaren som hade uppnått hållfasthet. Koncentrationen av bindemedel var högre än det nominella värdet i dessa bitar. I de partier som var ren lera togs inga prover. Produktionspelare Q860 (nominellt värde 50 kg/m) uppvisade samma mönster som pelare A26 men ej lika tydligt. För punktvärden på bindemedelsmängden hänvisas till kapitel 2.

4.5

TRADITIONELL PELARSONDERING

Traditionell pelarsondering är en kontrollmetod för kalk- och kalkcementpelare. Med metoden kan man utvärdera den odränerade skjuvhållfastheten från ett registrerat sonderingsmotstånd. Enligt SGF:s rapport 4:95 (1995), är metoden användbar för pelare som inte är längre än 8 meter. Pelarens skjuvhållfasthet bör ej heller överstiga 150 kPa. Gränserna är satta för att minska risken att sondstången skall styra ur pelaren. Om förborrning sker med geostång 44, kan det maximala sonderingsdjupet ökas.

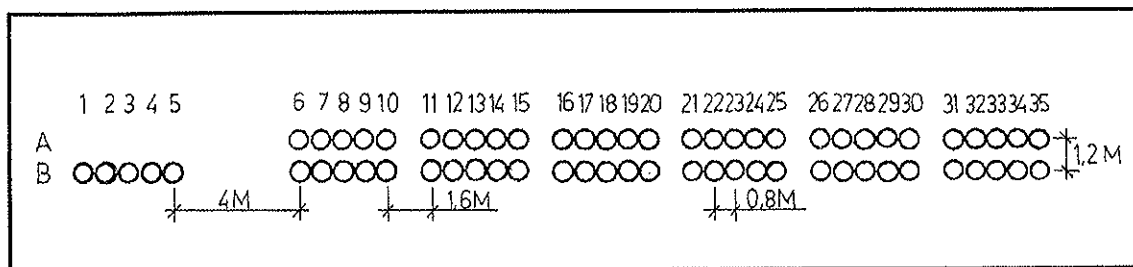
SGF:s rapport 4:95 (1995) föreskriver en pelarsond med en tvärsnittsarea på 0,01 m². Vid pelare med en diameter på 800 mm föreskrivs att vingen skall vara 15 mm tjock och vara 600 mm bred. Vid det aktuella tillfället för provning valdes dock en vinge med tjocklek 20 mm och bredd 400 mm. Orsaken till valet av vinge var att minska risken för stången att gå ur pelaren. För att undvika störningar från centrumhålet placerades sonden cirka 100 mm från centrum av pelaren. Vid neddrivningen registreras total neddrivningskraft kontinuerligt.

Frågeställningar

Som utgångspunkt för utvärderingen av sonderingsresultaten ligger följande kriterier:

- Jämföra olika bindemedels hållfasthet i organisk jord. Jämförelse sker i första hand mellan CM-bindemedel och kalk/cement men även Terra FMT har provats.
- Jämföra stabiliseringsutrustning via två entreprenörer, maskintyp 1 och maskintyp 2, med avseende på uppnådd pelarkvalitet.
- Finna samband mellan blandningsarbete (rotationshastighet/stigning), och hållfastheten hos pelarna.

Figur 4.11 visar pelarplacering och i tabell 4.2 sammanfattas de olika förutsättningar under vilka pelarna är tillverkade. Pelarna är kontrollerade med traditionell pelarsondering utan förborrning. Pelare A8, A18, A28 samt A33 sonderades ej då kolvprovtagning utfördes i dessa pelare. I pelare A13 har ingen provtagning utförts. Utvalda grupper av pelare sonderades två gånger för att kontrollera relativa hållfasthetsförändringar med tiden, se kapitel 3 fältarbete.



Figur 4.11 Pelarplacering

Tabell 4.2 Installationsförutsättningar

<i>Pelare</i>	<i>Rot.hast. [varv/min]</i>	<i>Stigning [mm/varv]</i>	<i>Bindemedel</i>	<i>Entreprenör</i>
<i>B 1-5</i>	<i>200</i>	<i>10</i>	<i>Terra FMT</i>	<i>Maskintyp 1</i>
<i>A 6-10</i>	<i>150</i>	<i>10</i>	<i>CM-bindemedel</i>	<i>Maskintyp 1</i>
<i>B 6-10</i>	<i>150</i>	<i>20</i>	<i>CM-bindemedel</i>	<i>Maskintyp 1</i>
<i>A 11-15</i>	<i>200</i>	<i>10</i>	<i>CM-bindemedel</i>	<i>Maskintyp 1</i>
<i>B 11-15</i>	<i>200</i>	<i>20</i>	<i>CM-bindemedel</i>	<i>Maskintyp 1</i>
<i>A 16-20</i>	<i>150</i>	<i>10</i>	<i>Kalk/cement</i>	<i>Maskintyp 1</i>
<i>B 16-20</i>	<i>150</i>	<i>20</i>	<i>Kalk/cement</i>	<i>Maskintyp 1</i>
<i>A 21-25</i>	<i>200</i>	<i>10</i>	<i>Kalk/cement</i>	<i>Maskintyp 1</i>
<i>B 21-25</i>	<i>200</i>	<i>20</i>	<i>Kalk/cement</i>	<i>Maskintyp 1</i>
<i>A 26-30</i>	<i>150</i>	<i>10</i>	<i>CM-bindemedel</i>	<i>Maskintyp 2</i>
<i>B 26-30</i>	<i>150</i>	<i>20</i>	<i>CM-bindemedel</i>	<i>Maskintyp 2</i>
<i>A 31-35</i>	<i>150</i>	<i>10</i>	<i>Kalk/cement</i>	<i>Maskintyp 2</i>
<i>B 31-35</i>	<i>150</i>	<i>20</i>	<i>Kalk/cement</i>	<i>Maskintyp 2</i>

4.5.1

Utvärdering av pelarens skjuvhållfasthet

För att ta reda på hur stor del av sonderingsmotståndet som utgörs av mantelfriktion utnyttjas det spel som finns i sondstången. Skall resultaten från sonderingen användas för en relativ jämförelse behöver man inte uppskatta skjuvhållfastheten utan jämförelsen kan ske utifrån det registrerade sonderingsmotståndet. För att jämföra resultaten från sonderingen med resultaten från de enaxliga tryckförsöken beräknades en uppskattad skjuvhållfasthet. I det aktuella området utfördes två sonderingar i ostabiliserad jord. Det konstaterades att de geologiska

förutsättningarna var likvärdiga i hela provområdet, dock skilde sig förutsättningarna något i djupled i sektion 0/930.

Skjuvhållfasthetsutvärdering, Sondering I och II

Utvärderingen av skjuvhållfastheter har utförts enligt SGF:s rapport 4:95 (1995). I tabell 4.3 och 4.4 redovisas resultatet av utvärderingen från sondering I respektive II. Grupper med samma installationsförutsättningar har sammanförts till samma diagram varefter en medelvärdesuppskattning utförts. Tabellerna tar ingen hänsyn till avvikelser på speciella djup utan visar maximum och minimum för medelvärdet. Mantelfriktionen uppskattas till 15 kPa i botten av pelarna på djupet cirka 6 meter. Mantelfriktionen varierar sedan linjärt mot 0 vid markytan. Beräkningen har utförts enligt:

- Värdet av registrerad matningskraft ex. min 8 kN, max 12 kN
- Värdet av skjuvhållfasthet min $80-0=80$ kPa, max $150-15=135$ kPa

Sonderingsresultaten i de pelare som maskintyp 2 installerat med CM-bindemedel tas ej med i utvärderingen då upptagningen av hela pelare visar att sondstången gått ur vid sonderingen.

Den redovisade pelarlängden är tagen från djupregistreringen vid sonderingen. Detta djup stämmer inte exakt med det registrerade djupet från utmatningsdiagrammen som beskrivs i kapitel 3. Det beror bland annat på att pelarna installeras från ytan och sondering sker cirka 0,5 meter under markytan. Sondstången kan också ha drivits igenom pelaren och in i fastare jordlager och det är svårt att bedöma botten av pelaren.

Tabell 4.3 Skjuvhållfasthetsutvärdering sondering I enligt SGF:s rapport 4:95 (1995)

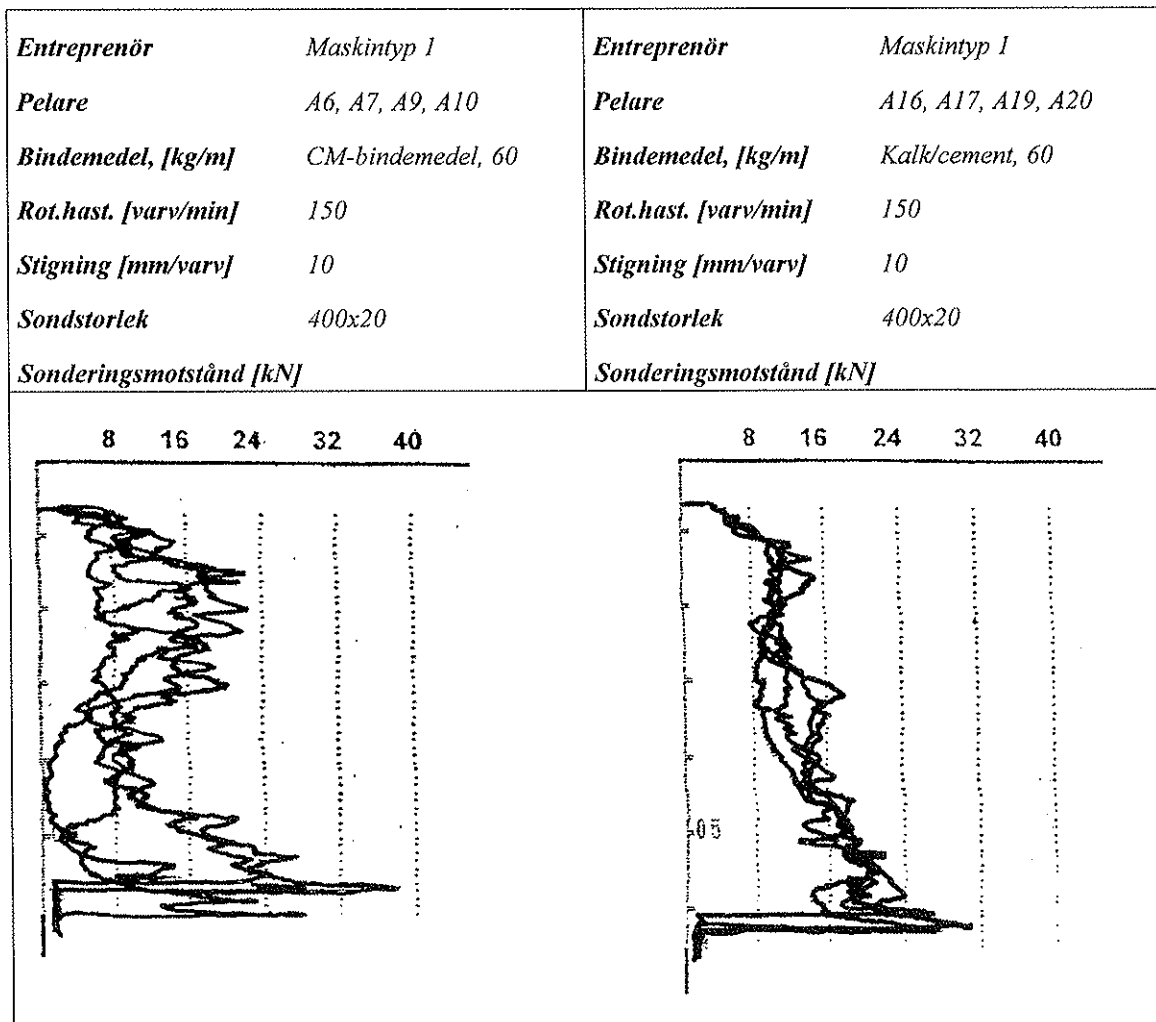
<i>Pelare</i>	<i>Sonderings- motstånd [kN]</i>	<i>Skjuvhåll- fasthet [kPa]</i>	<i>Pelarlängd (sonderat djup) [m]</i>	<i>Bindemedel rot.hast/stigning</i>
<i>B1,B2,B3,B4,B5</i>	<i>8-11</i>	<i>80-95</i>	<i>5,0</i>	<i>Terra FMT 200/10</i>
<i>A6,A7,A9,A10</i>	<i>8-16</i>	<i>80-145</i>	<i>5,5</i>	<i>CM-bindemedel 150/10</i>
<i>B6,B7,B8,B9,B10</i>	<i>4-14</i>	<i>40-125</i>	<i>5,5</i>	<i>CM-bindemedel 150/20</i>
<i>A11,A12,A14,A15</i>	<i>8-12</i>	<i>80-105</i>	<i>5,5</i>	<i>CM-bindemedel 200/10</i>
<i>B11,B12,B13,B14,B15</i>	<i>8-12</i>	<i>80-105</i>	<i>6,0</i>	<i>CM-bindemedel 200/20</i>
<i>A16,A17,A19,A20</i>	<i>8-18</i>	<i>80-165</i>	<i>6,0</i>	<i>Kalk/cement 150/10</i>
<i>B16,B17,B18,B19,B20</i>	<i>8-16</i>	<i>80-145</i>	<i>6,0</i>	<i>Kalk/cement 150/20</i>
<i>A21,A22,A23,A24,A25</i>	<i>8-16</i>	<i>80-145</i>	<i>5,5</i>	<i>Kalk/cement 200/10</i>
<i>B21,B22,B23,B24,B25</i>	<i>8-16</i>	<i>80-145</i>	<i>6,5</i>	<i>Kalk/cement 200/20</i>
<i>A31,A32,A34,A35</i>	<i>9-12</i>	<i>90-105</i>	<i>7,0</i>	<i>Kalk/cement 150/10</i>
<i>B31,B32,B33,B34,B35</i>	<i>8-12</i>	<i>80-105</i>	<i>8,5</i>	<i>Kalk/cement 150/20</i>

Tabell 4.4 Skjuvhållfasthetsutvärdering sondering II enligt SGF:s rapport 4:95 (1995)

<i>Pelare</i>	<i>Sonderings- motstånd [kN]</i>	<i>Skjuvhåll- fasthet [kPa]</i>	<i>Pelarlängd (sonderat djup) [m]</i>	<i>Bindemedel rot.hast/stigning</i>
<i>B1,B2,B3,B4,B5</i>	<i>10-15</i>	<i>100-135</i>	<i>5,0</i>	<i>Terra FMT 200/10</i>
<i>A8,A9,A10</i>	<i>12-20</i>	<i>120-185</i>	<i>5,5</i>	<i>CM-bindemedel 150/10</i>
<i>A16,A17,A19</i>	<i>10-15</i>	<i>100-135</i>	<i>6,0</i>	<i>Kalk/cement 150/10</i>
<i>A31,A32,A34,A35</i>	<i>5-12</i>	<i>50-105</i>	<i>7,0</i>	<i>Kalk/cement 150/10</i>

4.5.2 Jämförelse bindemedel

Jämförelsen av CM-bindemedel mot kalk/cement är en relativ jämförelse som bygger på den registrerade matningskraften vid sonderingen. Undersökningar i laboratorium visar att CM-bindemedel ger en högre hållfasthet än kalk/cement vid inblandningsförsök. I figur 4.12 jämförs CM-bindemedel och kalk/cement där maskintyp 1 installerat pelarna. Jämförelsen visar sonderingskurvor för grupper av pelare som installerats med samma förutsättningar. Inga medelvärden är inritade utan kurvorna uppvisar en bild av spridningen inom gruppen och ger indirekt en uppfattning av pelarens homogenitet och kvalitet. Kalk/cement ger jämnare pelare och spridningen är mindre än för CM-bindemedel.



Figur 4.12 Sonderingsresultat, sondering I, Jämförelse CM-bindemedel och kalk/cement, Maskintyp 1

Sonderingsmotståndet (matningskraften) registreras digitalt. En bearbetning av de digitala värdena har utförts av SGI. Värdena har sedan sammanställts som medelvärden per meter för varje pelare. Med utgångspunkt ifrån dessa medelvärden har olika jämförelser gjorts. I figurerna har benämningen Lohjamix använts istället för CM-bindemedel. Nedan redovisas de olika indata om de pelare som ingår i varje jämförelse. Utmatningsdiagrammen visar vilken stigning som den datorstyrda processen använt vid installationen. Då inställningen är gjord på 10 mm per varv lyckas processen mata ut material och stigningen hålls konstant. Processen för maskintyp 1 prioriterar att rätt mängd bindemedel matas ut och en inställning på 20 mm per varv kan bli lägre för att rätt mängd skall levereras till jorden. Detta gör att stigningen kan variera vid jämförelsen och att skillnaderna i stigning inte är så stora som avsetts.

Kalk/cement-CM-bindemedel-Terra FMT, sondering I (28 dygn)

Entreprenör: Maskintyp 1

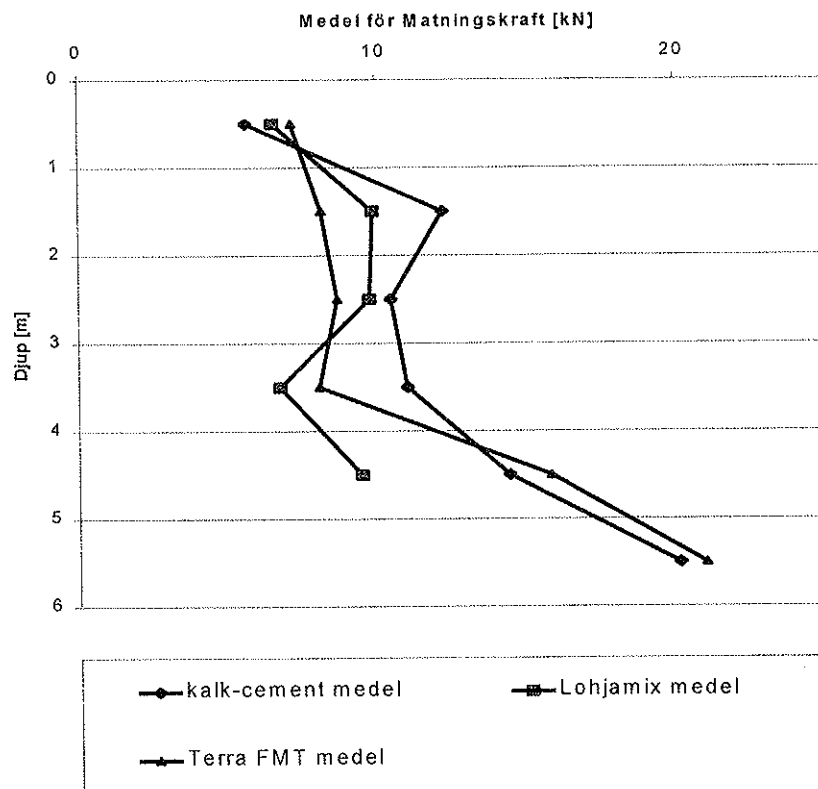
Pelare som ingår i jämförelsen, (Rot.hast./Stigning):

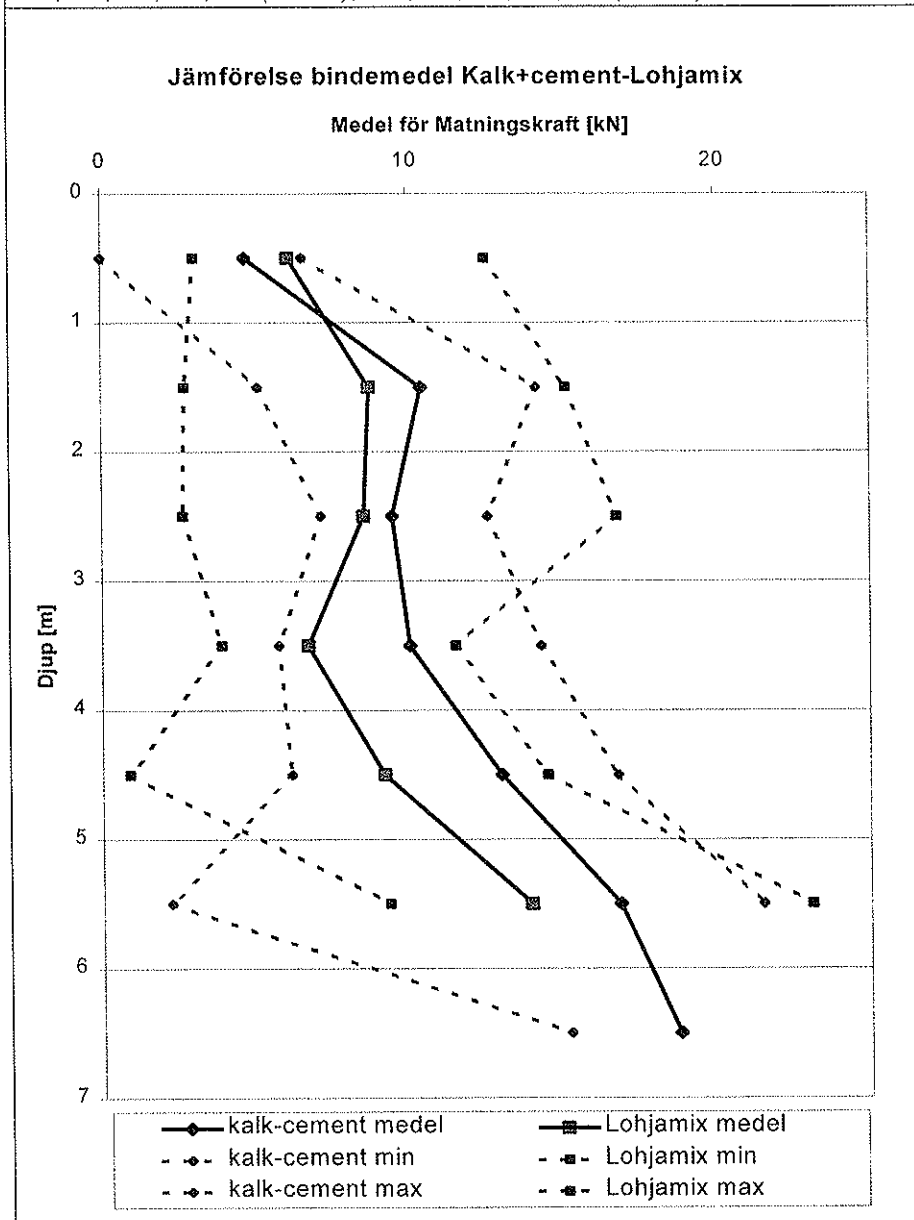
Terra FMT: B1,B2,B3,B4,B5 (200/10)

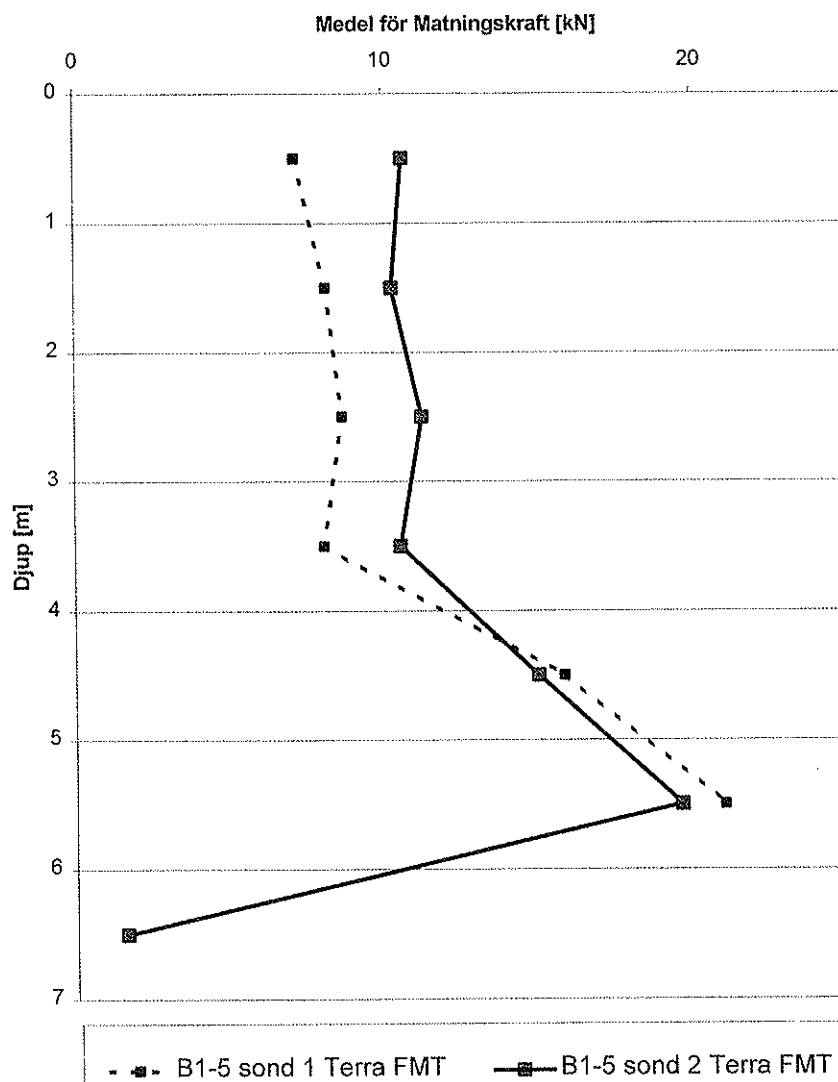
CM-bindemedel: A11,A12,A14,A15 (200/10)

Kalk/cement: A21,A22,A23,A24,A25 (200/10)

Jämförelse bindemedel kalk+cement-Lohjamix-Terra FMT



CM-bindemedel- Kalk/cement, sondering I (28 dygn)*Entreprenör: Maskintyp 1**Pelare som ingår i jämförelsen, (Rot.hast./Stigning):**CM-bindemedel: A6,A7,A9,A10 (150/10), A11,A12,A14,A15 (200/10)**B6,B7,B8,B9,B10 (150/18), B11,B12,B13,B14,B15 (200/13)**Kalk/cement: A16,A17,A19,A20 (150/10), A21,A22,A23,A24,A25 (200/10)**B16,B17,B18,B19,B20 (150/19), B21,B22,B23,B24,B25 (200/15)*

Terra FMT Sond I – Sond II (28-134 dygn)*Entreprenör: Maskintyp 1**Pelare som ingår i jämförelsen, (Rot.hast./Stigning):**Terra FMT sond I: B1,B2,B3,B4,B5 (200/10)**Terra FMT sond II: B1,B2,B3,B4,B5 (200/10)***Jämförelse bindemedel Terra FMT Sond 1- Sond 2**

Kalk/cement & CM-bindemedel Sond I – Sond II (28-134 dygn)

Entreprenör: Maskintyp 1

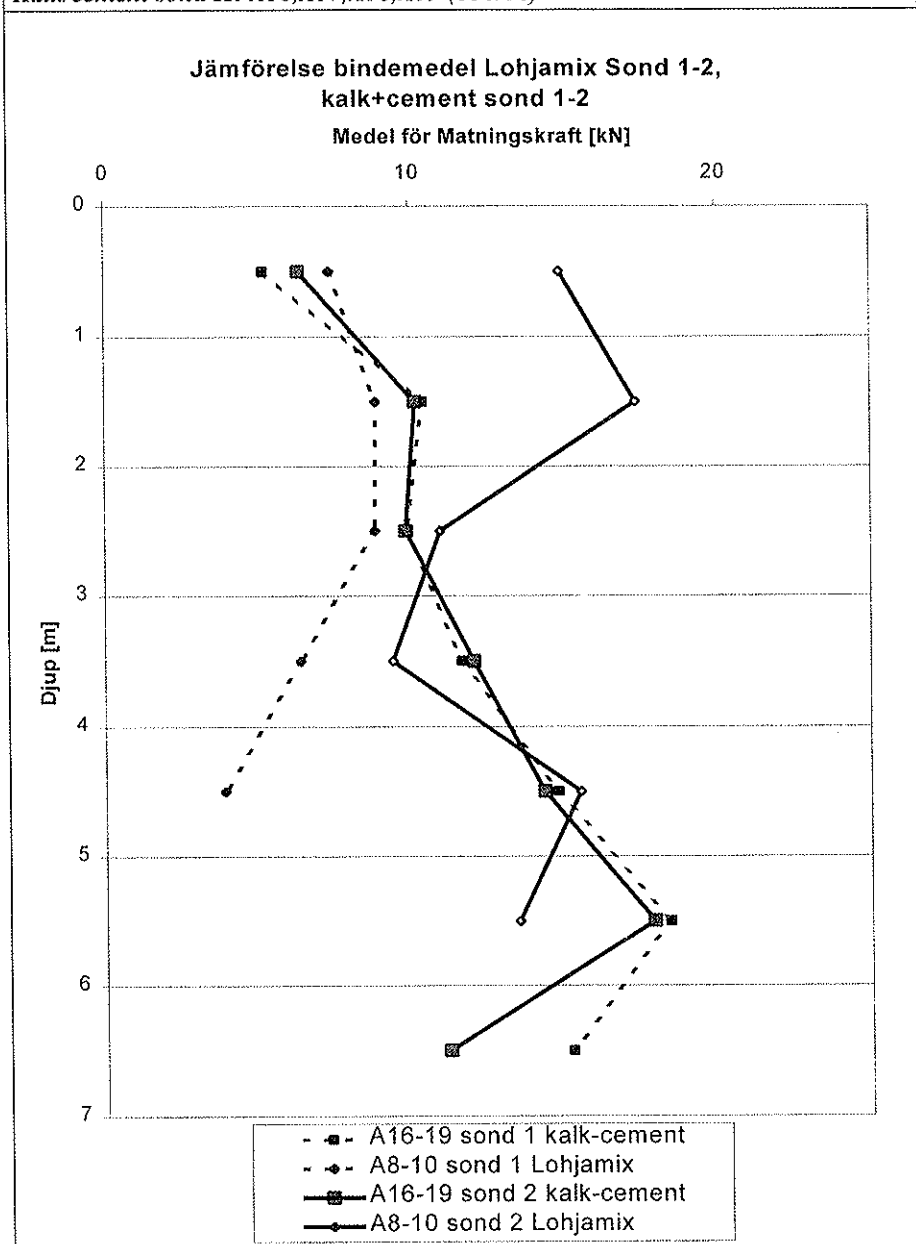
Pelare som ingår i jämförelsen, (Rot.hast./Stigning):

CM-bindemedel sond I: A6,A7,A9,A10 (150/10)

CM-bindemedel sond II: A8,A9,A10 (150/10)

Kalk/cement sond I: A16,A17,A19,A20 (150/10)

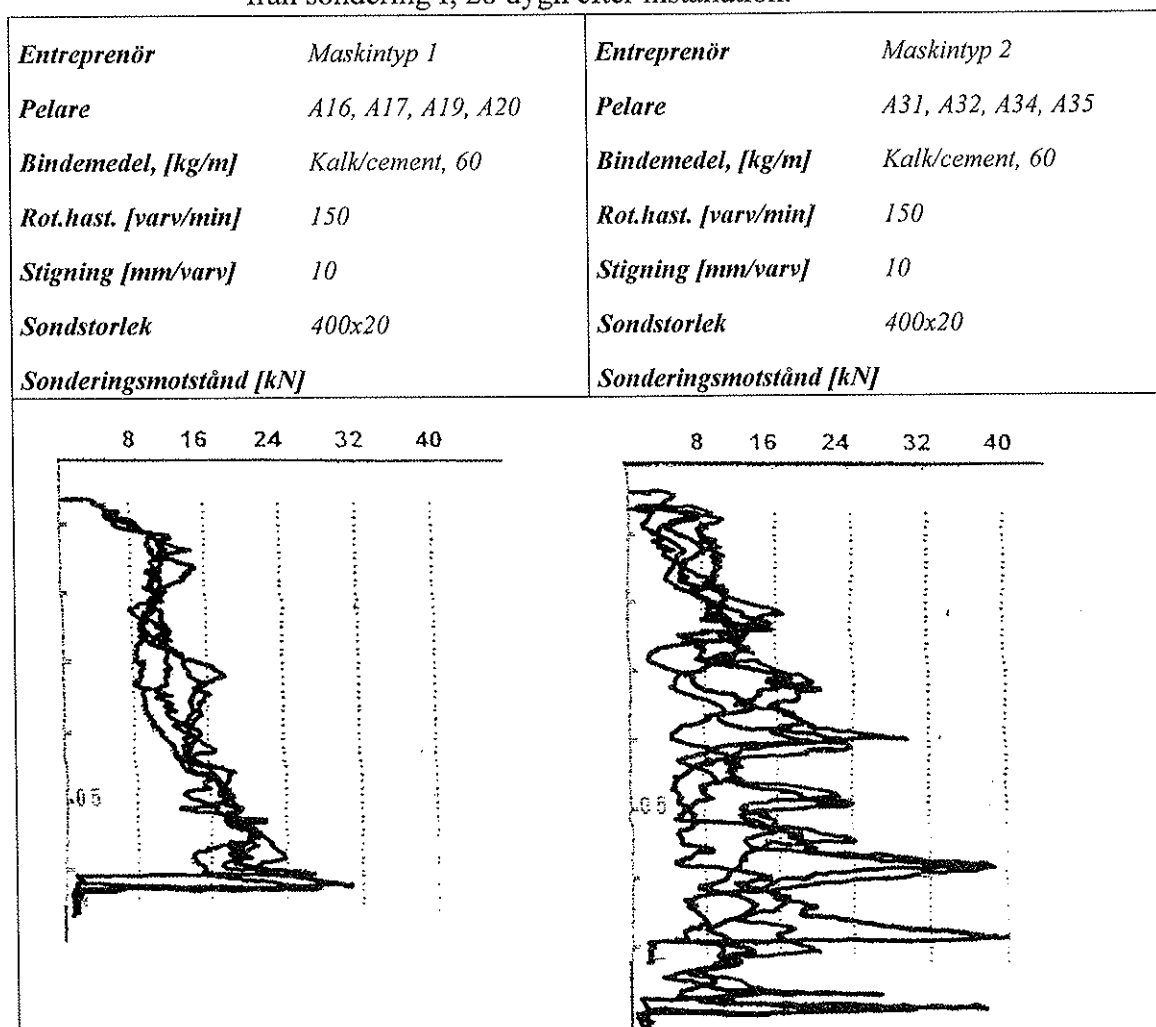
Kalk/cement sond II: A16,A17,A18,A19 (150/10)



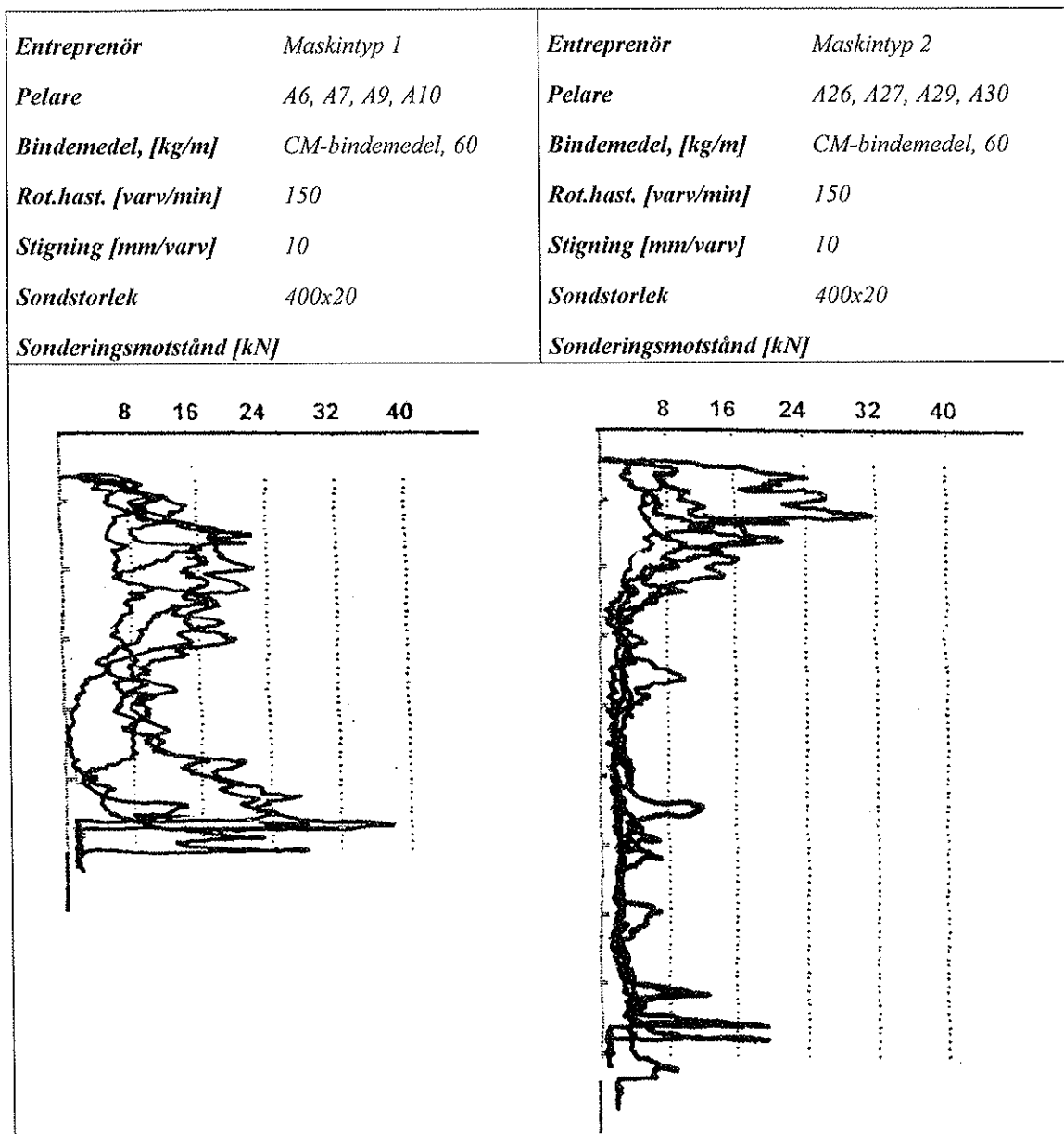
4.5.3

Jämförelse av stabiliseringsutrustning

Det finns många faktorer som påverkar resultatet vid pelartillverkning. Stabiliseringsmaskinen påverkar slutresultatet det framgår tydligt vid en jämförelse av pelare utförda av maskintyp 1 och maskintyp 2. I figur 4.13 jämförs maskintyp 1 och maskintyp 2 med pelare av kalk/cement installerade med samma rotation och stigning. I figur 4.14 jämförs maskintyp 1 och maskintyp 2 med pelare av CM-bindemedel installerade med samma rotation och stigning. Jämförelsen med CM-bindemedel visar inte en korrekt bild av hur CM-pelare, installerade med maskintyp 2, ser ut under cirka 2 meters djup då sondstängen har troligtvis drivit ur pelaren. I kapitel 4.6 ges en tydlig bild av utseendet hos CM-pelare installerade med maskintyp 2. Sonderingskurvorna är från sondering I, 28 dygn efter installation.



Figur 4.13 Sonderingsresultat, sondering I, maskintyp 1 jämfört med maskintyp 2, kalk/cement



Figur 4.14 Sonderingsresultat, Sondering I, maskintyp 1 jämfört med maskintyp 2, CM-bindemedel (Sondstången har drivits ur pelare installerade med maskintyp 2 på cirka 2 meters djup.)

4.5.4 Inblandningsarbete

För att kontrollera skillnader i inblandningsarbete studeras rotationshastighet och stigning/varv. Samtliga jämförelser från de digitalt framställda medelvärdeskurvorna är från maskintyp 1. Jämförelsen är gjord från sondering I.

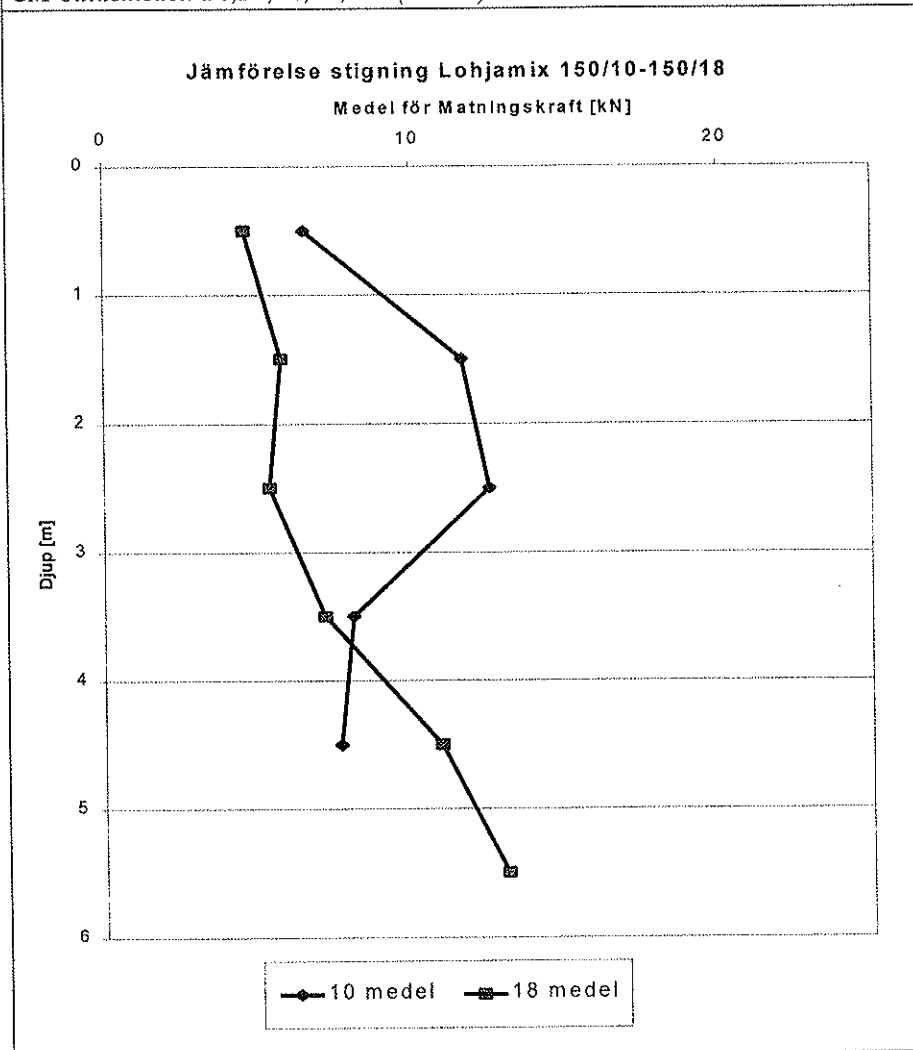
Stigning CM-bindemedel 150/10-150/18, sondering I (28 dygn)

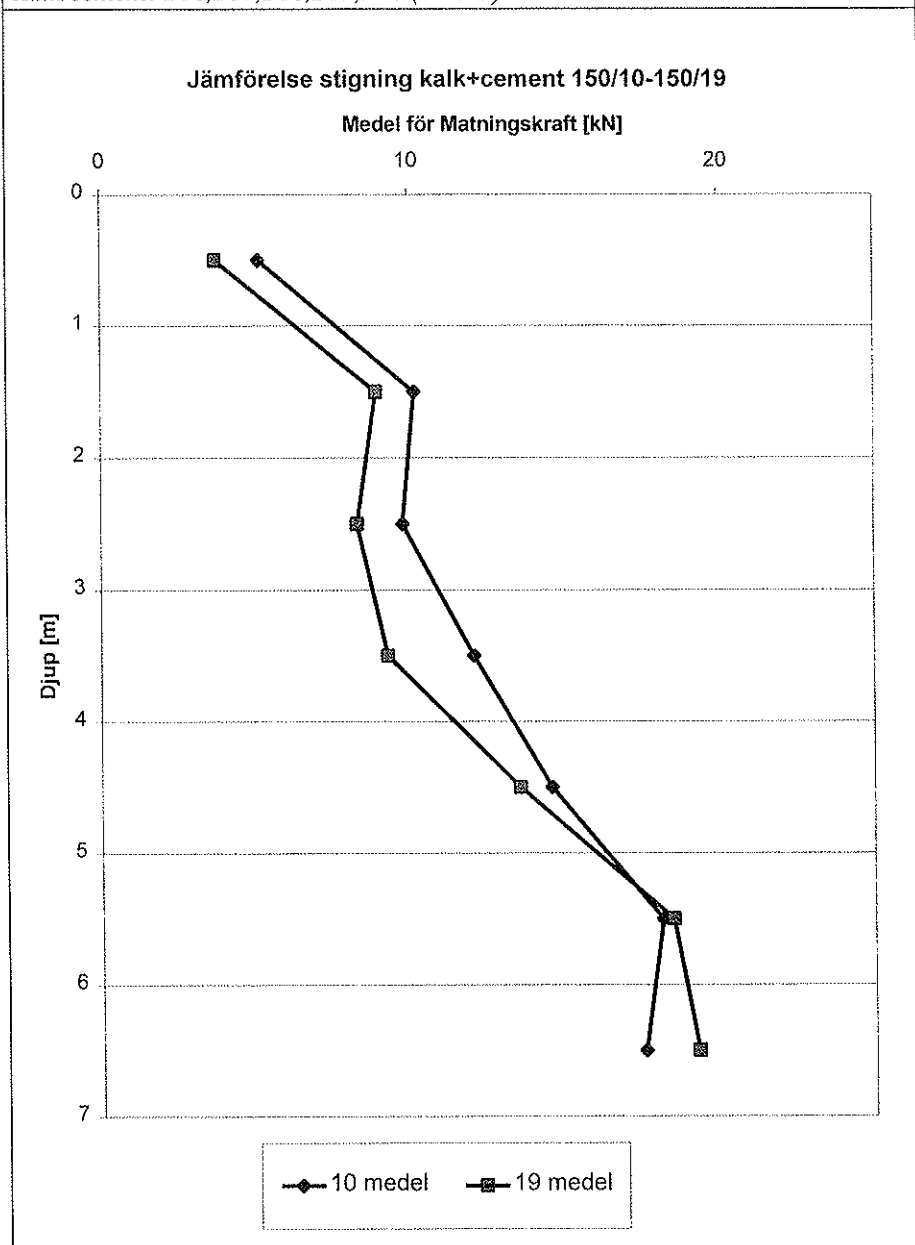
Entreprenör: Maskintyp 1

Pelare som ingår i jämförelsen, (Rot.hast./Stigning):

CM-bindemedel: A6,A7,A9,A10 (150/10)

CM-bindemedel: B6,B7,B8,B9,B10 (150/18)



Stigning kalk/cement 150/10-150/19, sondering I (28 dygn)*Entreprenör: Maskintyp I**Pelare som ingår i jämförelsen, (Rot.hast./Stigning):**Kalk/cement: A16,A17,A19,A20 (150/10)**Kalk/cement: B16,B17,B18,B19,B20 (150/19)*

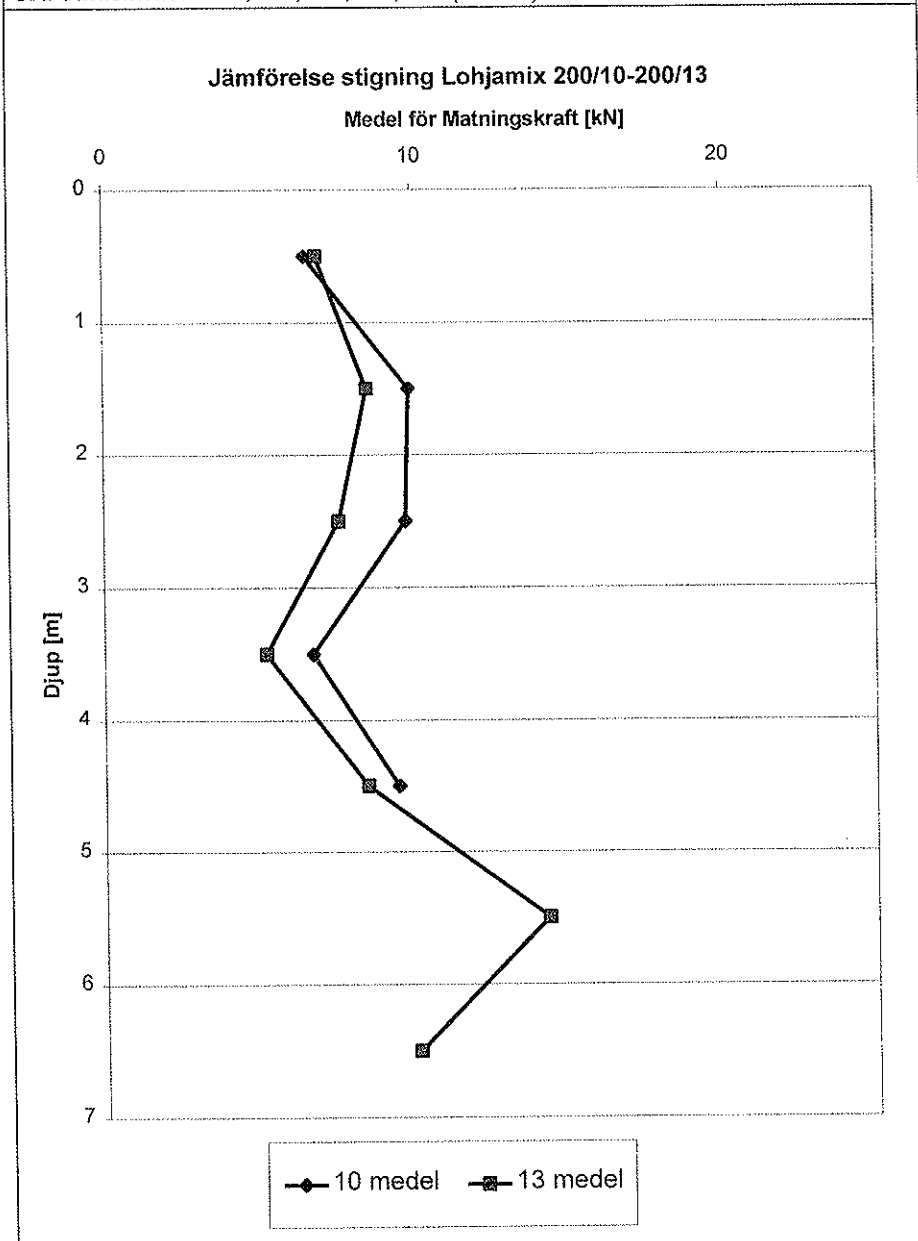
Stigning CM-bindemedel 200/10-200/13, sondering I (28 dygn)

Entreprenör: Maskintyp 1

Pelare som ingår i jämförelsen, (Rot.hast./Stigning):

CM-bindemedel: A11,A12,A14,A15 (200/10)

CM-bindemedel: B11,B12,B13,B14,B15 (200/13)



Stigning kalk/cement 200/10-200/15, sondering I (28 dygn)*Entreprenör: Maskintyp I**Pelare som ingår i jämförelsen, (Rot.hast./Stigning):**Kalk/cement: A21,A22,A23,A24,A25 (200/10)**Kalk/cement: B21,B22,B23,B24,B25 (200/15)*

Rot.hast. CM-bindemedel 150/10-200/10, sondering I (28 dygn)

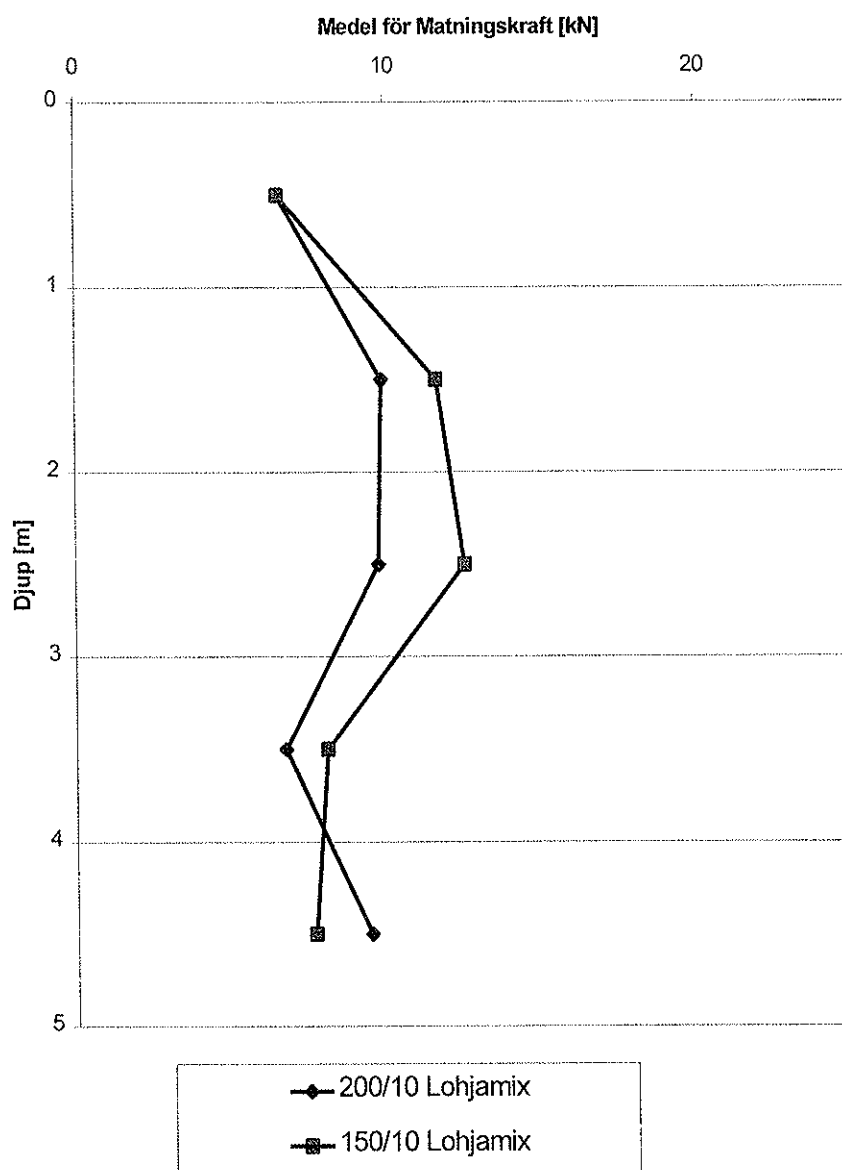
Entreprenör: Maskintyp I

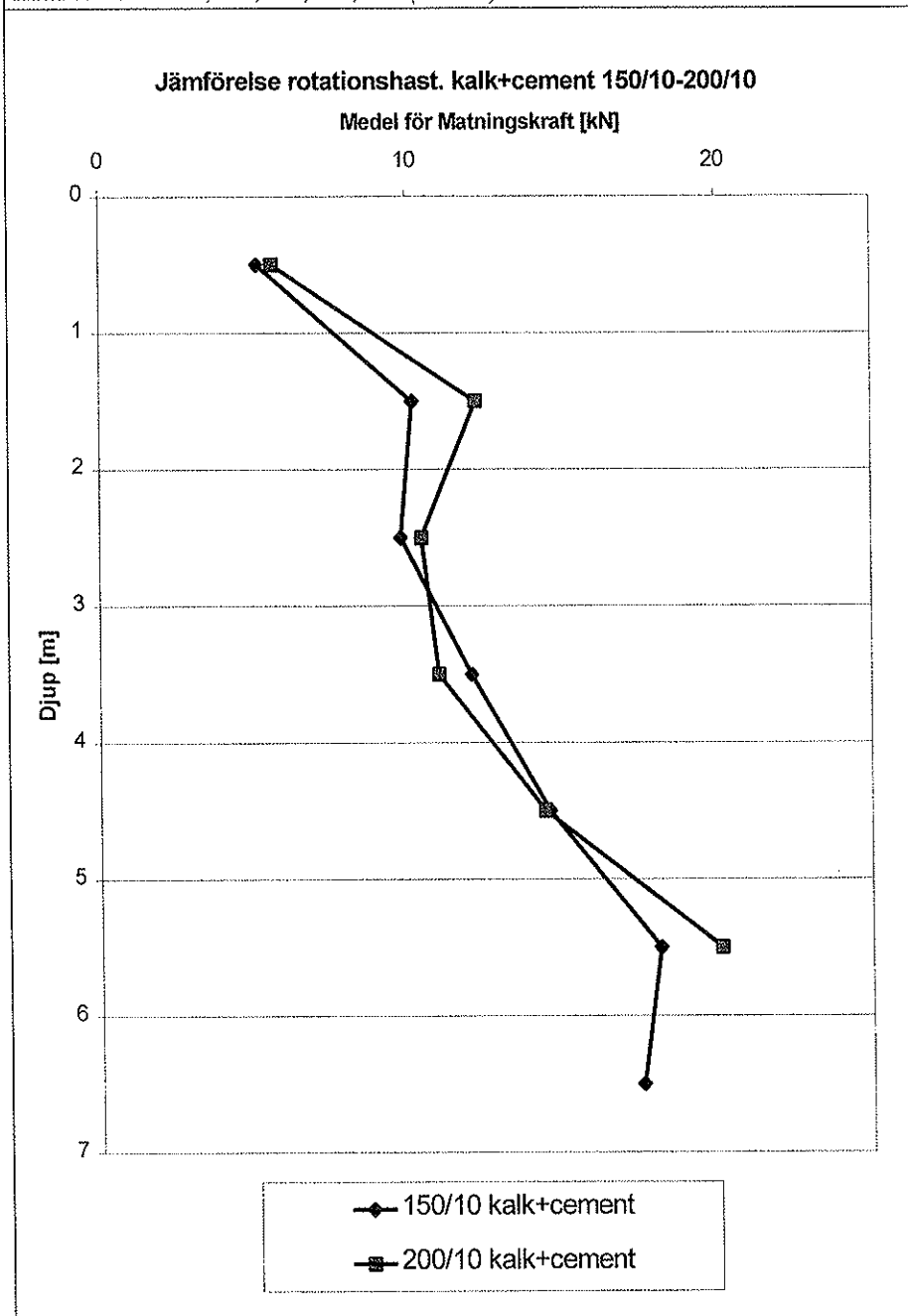
Pelare som ingår i jämförelsen, (Rot.hast./Stigning):

CM-bindemedel: A6,A7,A9,A10 (150/10)

CM-bindemedel: A11,A12,A14,A15 (200/10)

Jämförelse rotationshast. Lojamix 150/10-200/10



Rot.hast. kalk/cement 150/10-200/10, sondering I (28 dygn)*Entreprenör: Maskintyp 1**Pelare som ingår i jämförelsen, (Rot.hast./Stigning):**Kalk/cement: A16,A17,A19,A20 (150/10)**Kalk/cement: A21,A22,A23,A24,A25 (200/10)*

4.6 UPPTAGNING AV PELARE

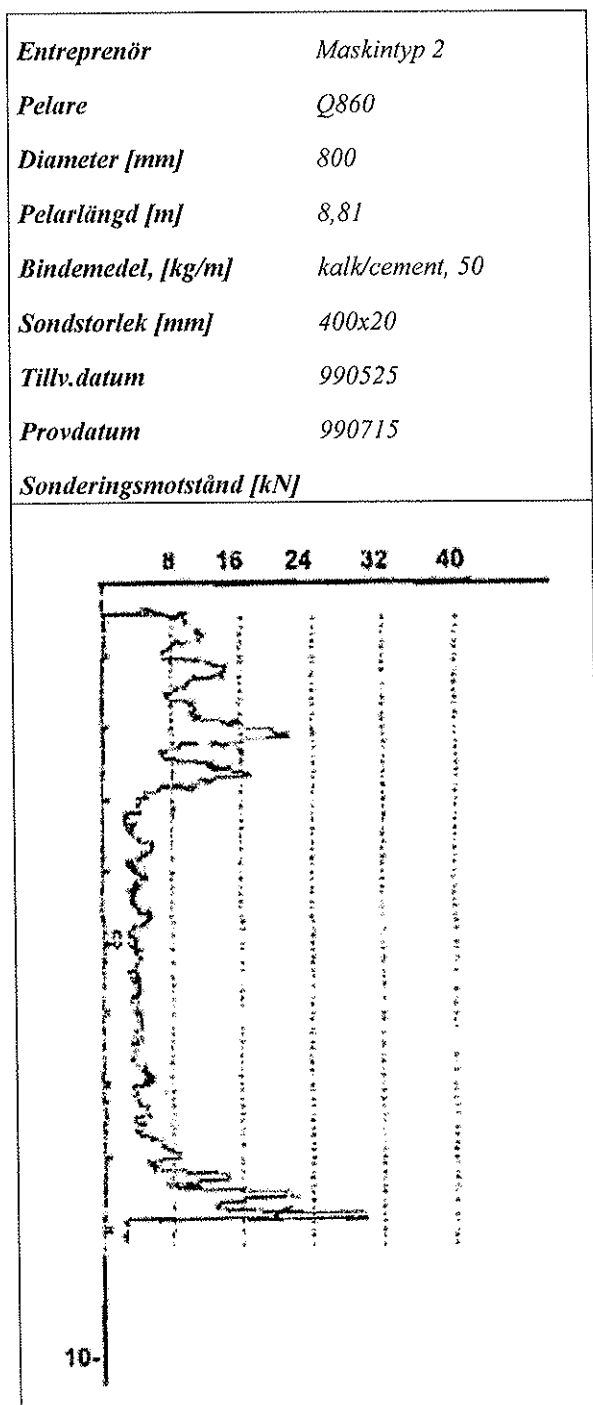
När pelarna tagits upp och röret öppnats okulärbesiktigades pelarna och en första bedömning gjordes. Utseendet hos pelarna dokumenterades med stillbildskamera och filmkamera. Upptagning av pelare beskriver utvärderingen av fältarbetet med upptagning av hela pelare.

4.6.1 Produktionspelare Q860

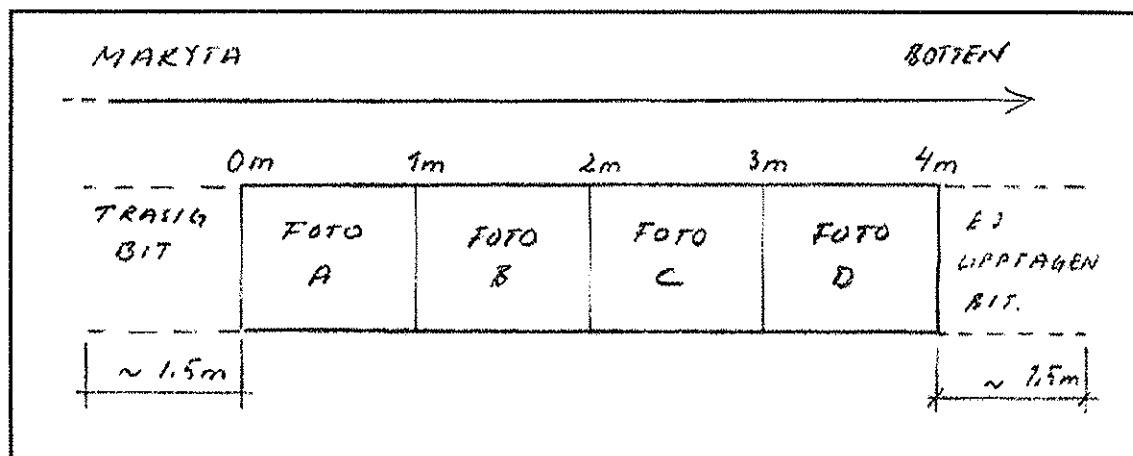
Produktionspelare Q860 är en kalkcementpelare som maskintyp 2 installerat. Bindemedelsmängden är 50 kg/m eller 100 kg/m³. 51 dygn efter installation sonderades pelaren med traditionell pelarsondering. Resultatet från sonderingen redovisas i figur 4.15. Pelare Q860 installerades i ytterraden på höger sida, sektion 0/950. De geotekniska förhållandena stämmer väl överens med förhållandena i området för provpelarna.

En bedömning med utgångspunkt ifrån sonderingskurvan är att det finns en skiktad pelare från 0-3 meters djup. Från 3-8 meter är sonderingsmotståndet nära noll, om mantelfriktionen hos sondstängen subtraheras från sonderingsmotståndet. Detta tyder på att det inte skett någon reaktion mellan jord och bindemedel eller så har inte bindemedel matats ut på ett tillfredställande sätt. Det kan också vara så att sonden gått ur pelaren vid provtillfället.

Vid okulärbesiktningen uppvisar dock pelaren inte detta mönster. Q860 är mycket spröd och grynig. Tvärsnittet varierar kraftigt med djupet och vissa bitar av pelaren består enbart av lera. Där bindemedel reagerat med jorden är pelaren mycket hård. Figur 4.16 visar en skiss av den upptagna pelaren. En bit av toppen på pelaren, cirka 1-2 meter, blev förstörda vid upptagningen. Vid stängning av luckorna förstördes cirka 1 meter av pelaren. Figur 4.17-4.20 visar att pelaren ej är homogen och har varierande tvärsnitt.



Figur 4.15 Sonderingsresultat pelare Q860



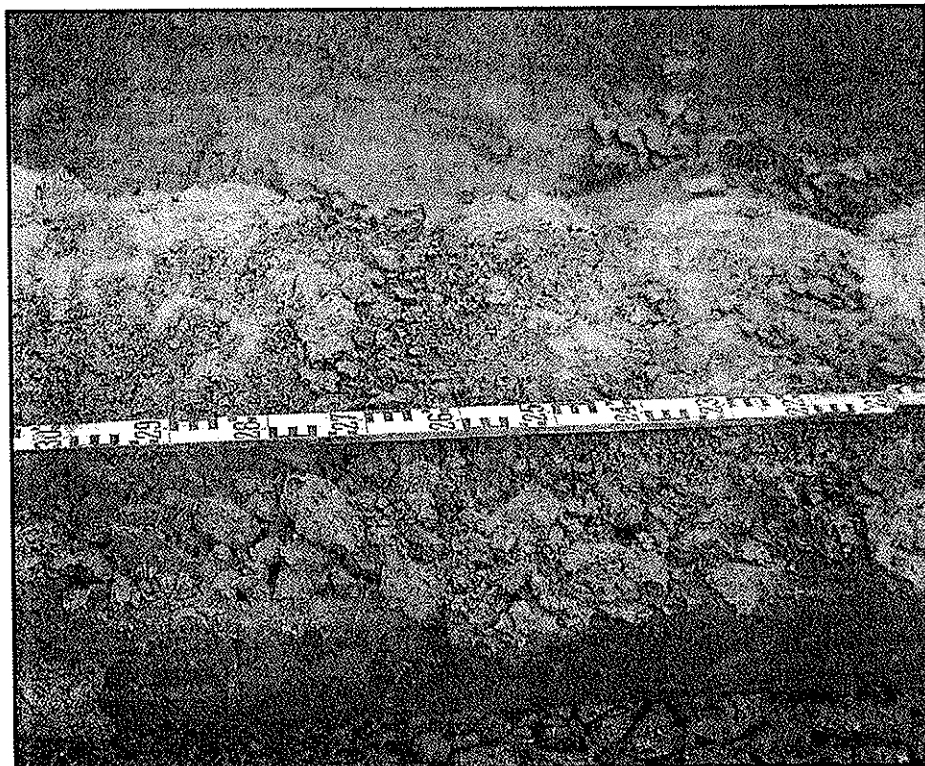
Figur 4.16 Pelare Q860, Skiss av pelaren



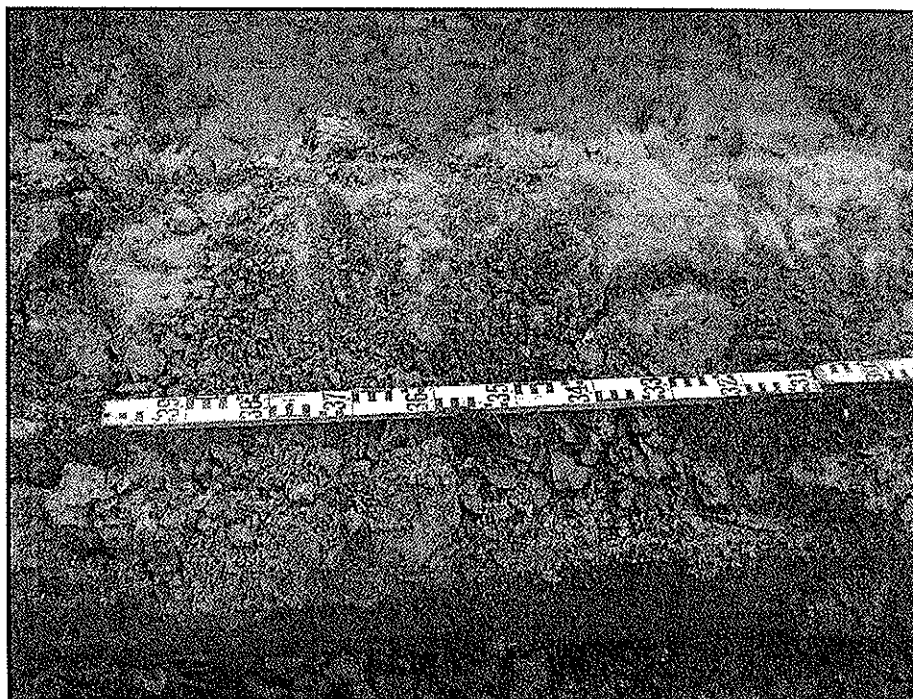
Figur 4.17 Pelare Q860, Foto A 0-1m (se figur 4.15)



Figur 4.18 Pelare Q860, Foto B, 1-2m (se figur 4.15)



Figur 4.19 Pelare Q860, Foto C, 2-3m (se figur 4.15)



Figur 4.20 Pelare Q860, Foto D, 3-4m (se figur 4.15)

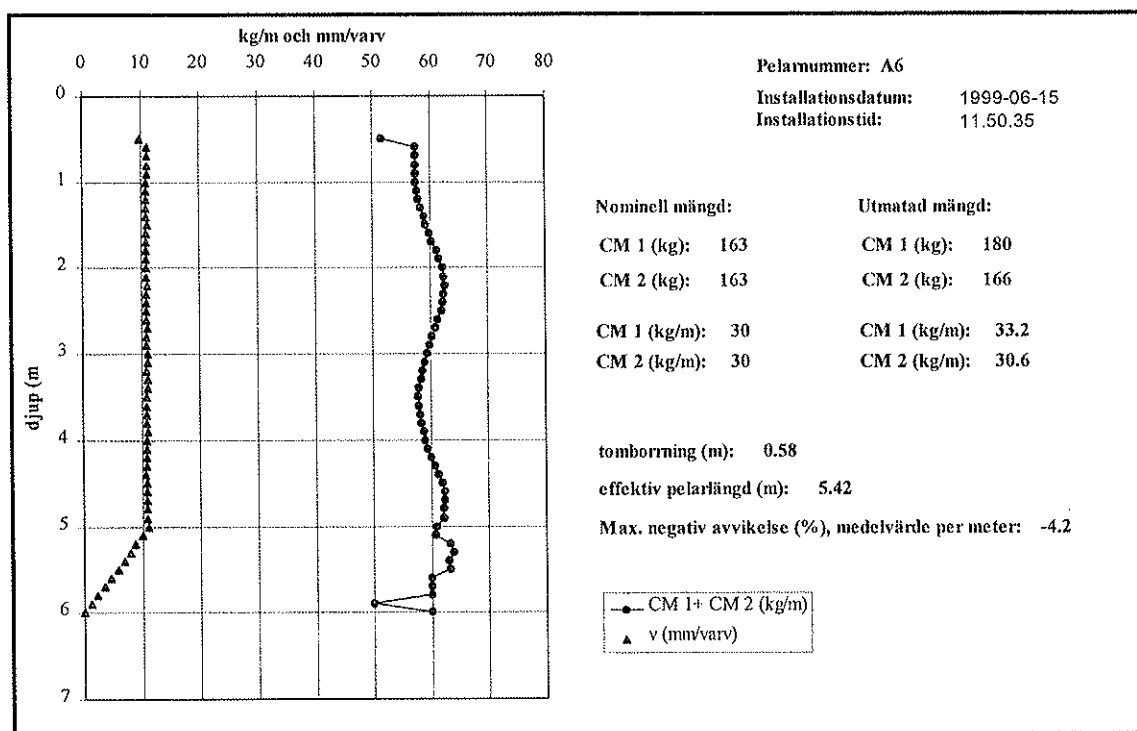
4.6.2

Provpelare A6

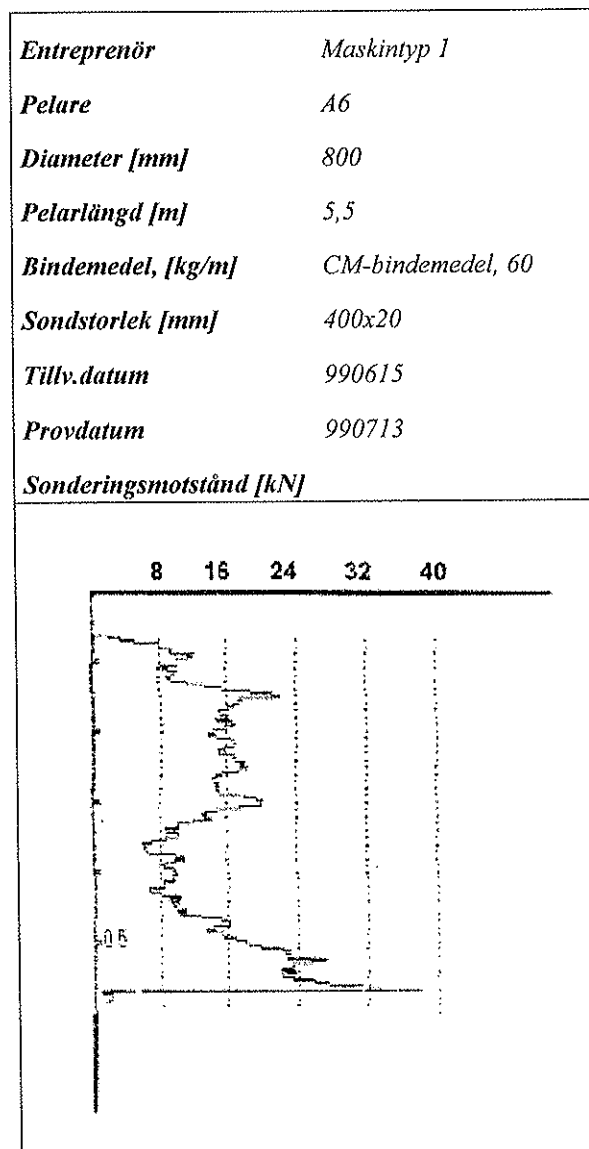
Provpelare A6 är en CM-bindemedelpelare som installerats av maskintyp 1. Bindemedelsmängden är 60 kg/m eller 120 kg/m³. Rotationshastighet 150 varv per minut och stigning 10 mm per varv. I figur 4.21 redovisas det utmatningsdiagram som automatiskt genereras från datorn i installationsmaskinen, se kapitel 3 fältdel.

28 dygn efter installationen sonderades pelaren med traditionell pelarsondering. Resultatet från sonderingen redovisas i figur 4.22. Sonderingsdiagrammet visar en pelare som har en svaghetszon på 3,5 till 4 meters djup. Orsakerna till svaghetszonen kan vara flera, till exempel dåligt blandningsarbete, sulfidflammig lera eller ej tillräcklig bindemedelsmängd. Utmatningsdiagrammet visar en jämn rotationshastighet och en liten avvikelse från utmatad nominell mängd, vilket tyder på att blandningsarbetet varit konstant, och bindemedel matats ut. Tittar man på övriga pelare i samma grupp så återfinns en svaghetszon på 3 till 4 meters djup. Vid sondering i CM-bindemedelpelare som installerats med högre rotationshastighet och samma stigning återfinns samma svaghetszon på djupet 3 till 4 meter. Orsaken till den lägre hållfasthetstillväxten på 3 till 4 meters djup bedöms därför vara geologiskt betingad. Figur 4.23 visar pelaren direkt efter att röret öppnats. Det fanns en genomgående spricka som

troligtvis uppkommit vid sondering I. Pelaren var mycket jämn i sin geometri. För att ta prover och bedöma homogenitet schaktades pelaren enligt figur 4.24. När halva pelaren schaktats bort återfanns ett tydligt spår från sondering I. Spåret visar att sondstången gått i pelaren dock ej helt vertikalt, se figur 4.25. Sonderingen bedöms lyckad och sonderingsresultatet speglar pelarens kvalitet. Vid upptagningen skadas en bit av toppen på pelaren. För pelare A6 bedöms cirka en meter vara skadad. I botten bedöms cirka 0,5 meter skadade av luckstängningen. Bottenutmatningen som beskrivs i kapitel 3, ger en högre koncentration av bindemedel i pelarens botten. Vid avschaktningen av pelaren återfanns en tydlig bottenfot med mycket hög hållfasthet. Detta styrker antagandet om en betydande bottenutmatning. I figur 4.26 visas en skiss, som beskriver vilken del av pelaren som röret tagit upp och vidare var figur 4.27 och figur 4.28 är hämtade. Dessa figurer benämns foto A och foto B och visar närbilder på pelaren där spåret av sonderingen är tydligt.



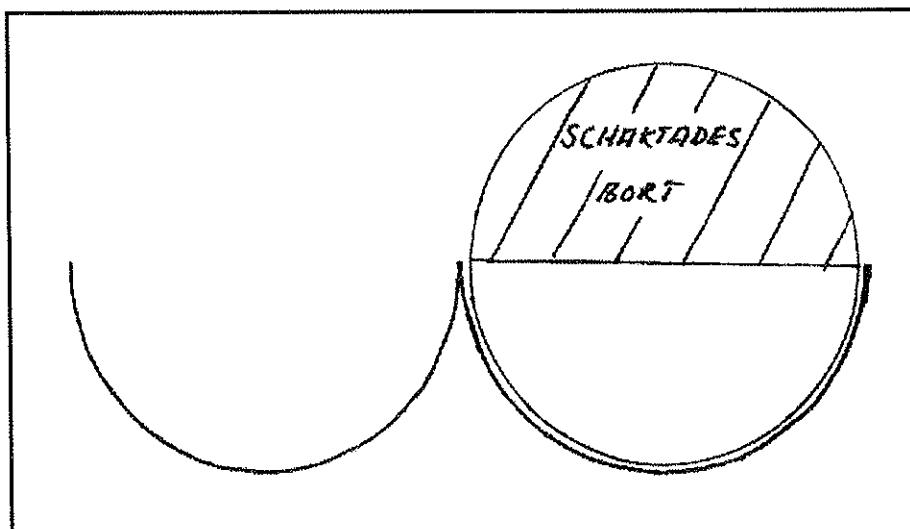
Figur 4.21 Utmatningsdiagram pelare A6



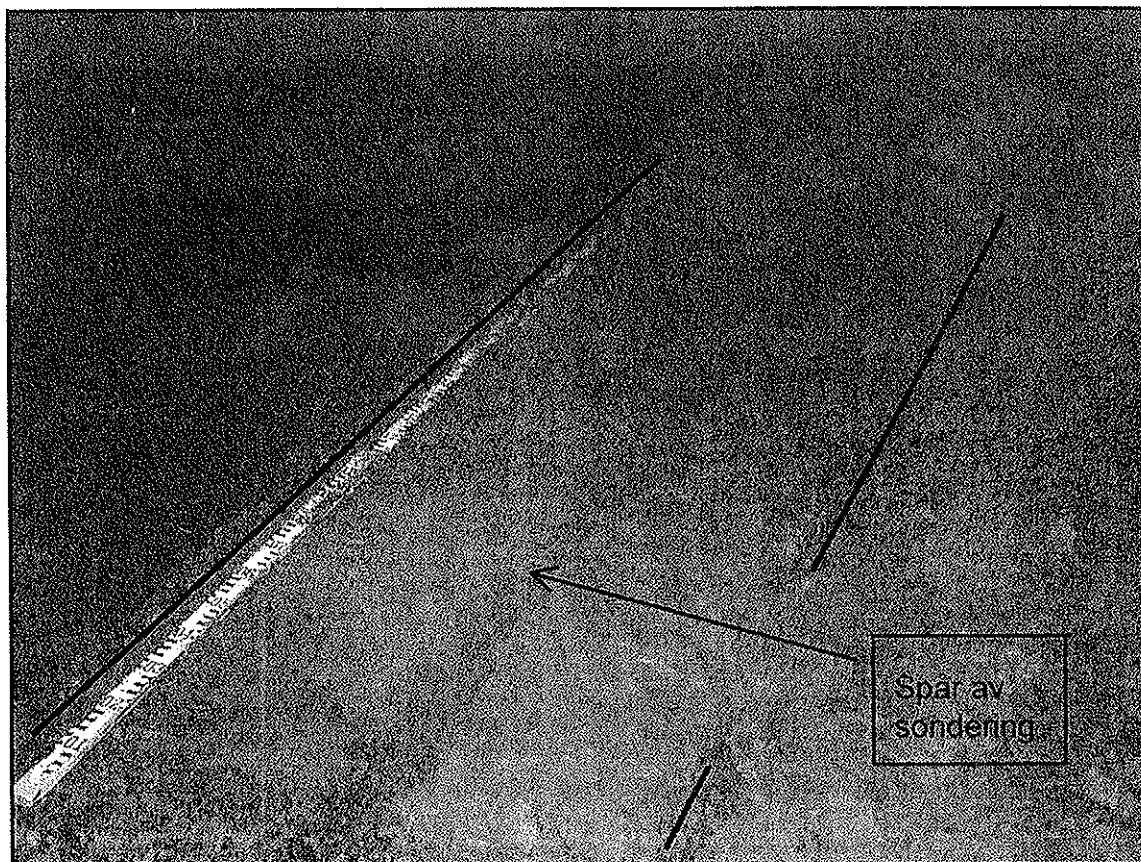
Figur 4.22 Sonderingsresultat pelare A6



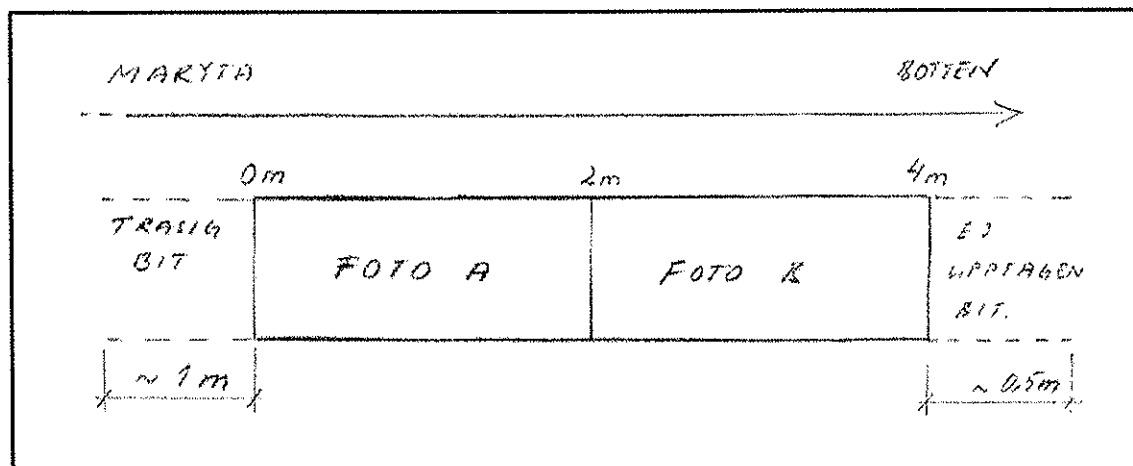
Figur 4.23. Pelare A6 när röret öppnats.



Figur 4.24 Pelare A6, Skiss av avschaktning



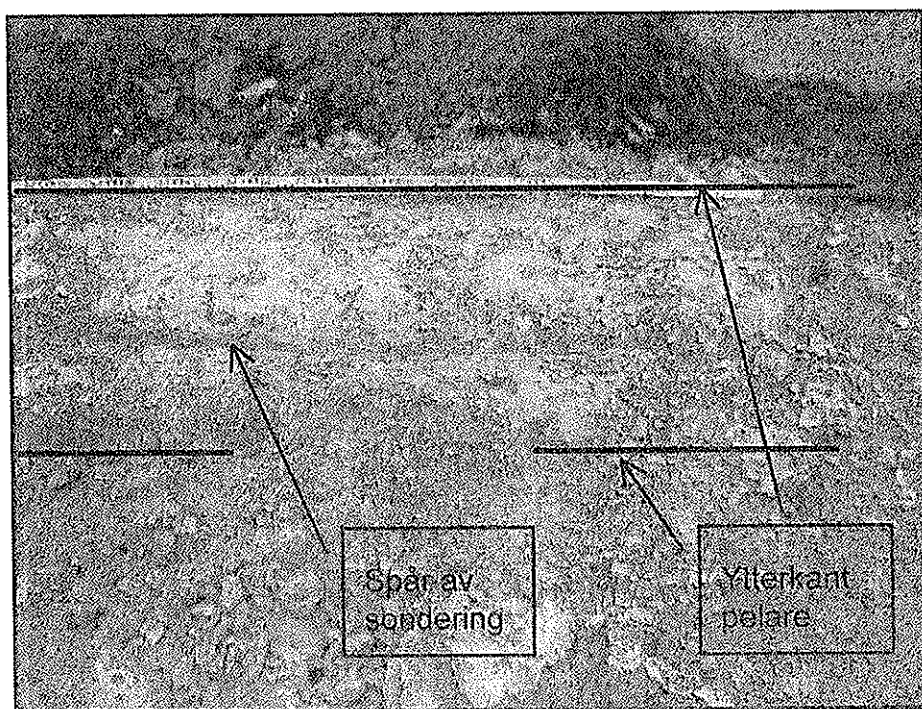
Figur 4.25 Pelare A6, hela pelaren avschaktad



Figur 4.26 Pelare A6, Skiss av pelaren



Figur 4.27 Pelare A6, Foto A, 0-2m (se figur 9.1.2.4)



Figur 4.28 Pelare A6, Foto B, 2-4m (se figur 9.1.2.4)

Penetrometer

I pelare A6 utfördes hållfasthetstest med fältpenetrometer. En fältpenetrometer är ett sonderingsverktyg med vilket man sonderar med handkraft, se figur 4.29. Spetsen som användes var en cylinder med diametern 16 mm och höjden 8 mm. Spetsen pressades in i pelaren och via en stålstång pressades en fjäder samman. Fjäders hoptryckning registrerades via en släpring som gled längs en graderad skala. Genom att känna till fjäderkonstanten på fjädern kan man beräkna skjuvhållfastheten genom att använda allmänna bärrighetsekvationen, enligt Jons och Johansson (1995). Då resultaten endast avser en relativ jämförelse av pelarens hållfasthet beräknas ej skjuvhållfastheten utan värdena jämförs direkt. Genom att ej beräkna skjuvhållfastheten undviks också en uppskattning av bärrighetsfaktorn, och en felkälla elimineras. Då provningen i fält är beroende av vem som utför provtryckningen genomfördes samtliga provtryckningar av samma person. Resultatet från provningen redovisas i tabell 4.5.



Figur 4.29 Fältpenetrometer

Tabell 4.5 Resultat från Penetrometerförsök pelare A6

Djup[m]	Registrerat motstånd, Avstånd från ytterkant pelare. Spets ϕ 16 mm.							Diameter pelare [m]
	0,1 m	0,2 m	0,3 m	0,4 m	0,5 m	0,6 m	0,7 m	
0,3	36				25		20	0,8
1,0	6	12		>50		22	12	0,8
2,0	16	8		>50		>50	46	0,85
3,0	10	22	14	14	26	8	0	0,85
3,5	16	8	16	14	8	14	50	0,83

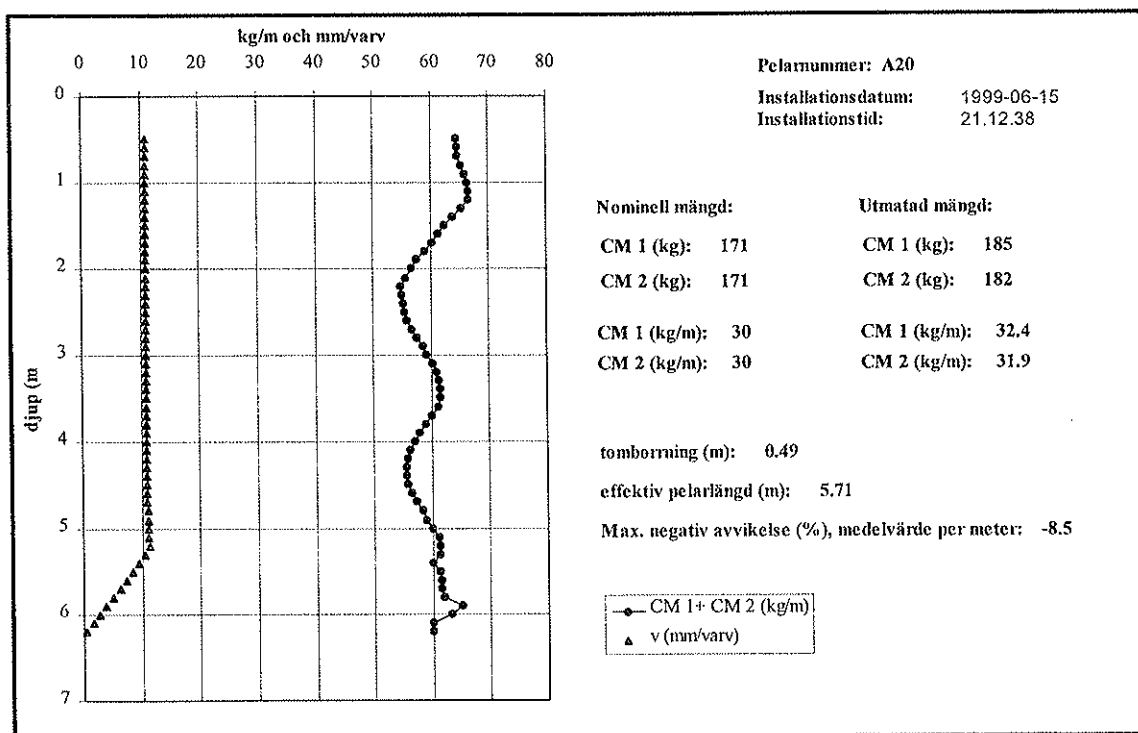
Resultatet visar punktvärden på en relativ hållfasthet. Det är tydligt att pelaren uppvisar ett tvärsnitt som är inhomogent. Värt att notera är de lägre värdena kring 3 till 3,5 meter. Den lägre hållfastheten som kan antydast vid en relativ jämförelse återfinns i sonderingsresultaten från denna grupp av pelare, se bilaga 2.1 pelare A6-A10.

4.6.3 Provpelare A20

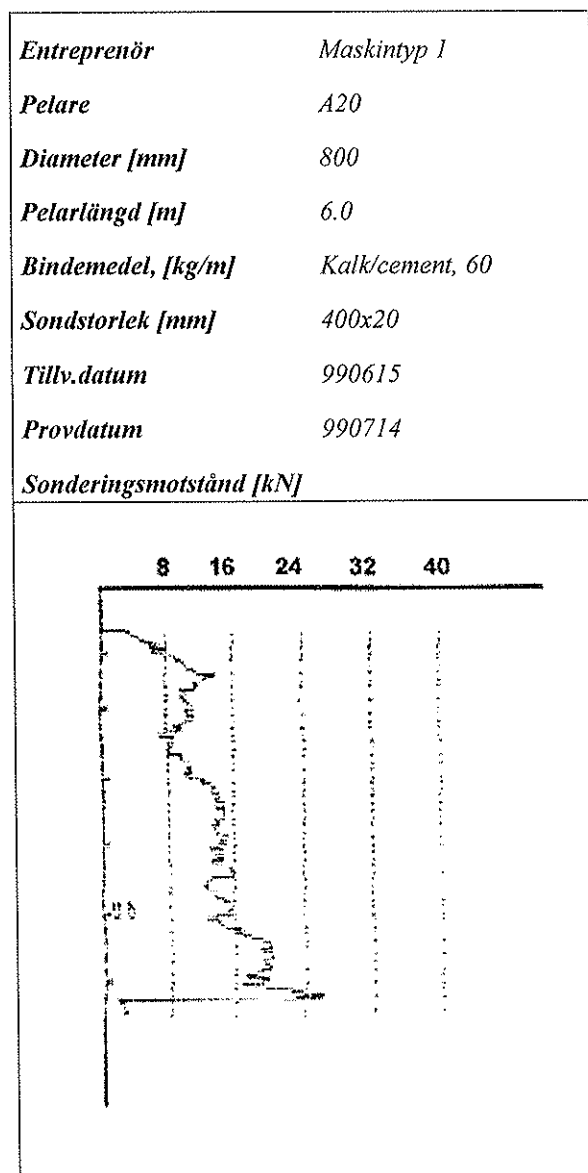
Provpelare A20 är en kalkcementpelare som installerats av maskintyp 1. Bindemedelsmängden är 60 kg/m eller 120 kg/m³.

Rotationshastighet 150 varv per minut och stigning 10 mm per varv. I figur 4.30 redovisas det utmatningsdiagram som automatiskt genereras från datorn i installationsmaskinen, se kapitel 3 fältarbete.

28 dygn efter installationen sonderades pelaren med traditionell pelarsondering. Resultatet från sonderingen redovisas i figur 4.31. Sonderingsdiagrammet visar en jämn pelare utan svaghetszoner. Figur 4.32 visar pelaren direkt efter att röret öppnats och i likhet med pelare A6 framträder en tydlig spricka. Sprickan beror troligtvis av sonderingen men kan också uppkomma på grund av hanteringen av röret då det öppnas. Efter avschaktning mättes tvärsnittet, provtrycktes med penetrometer och jordprover för CaO-halt analys insamlades. Figur 4.33 visar pelaren efter avschaktning. Pelaren bedömdes vara homogen och hållfasthetsprovningen med fältpenetrometern visar samma sak.



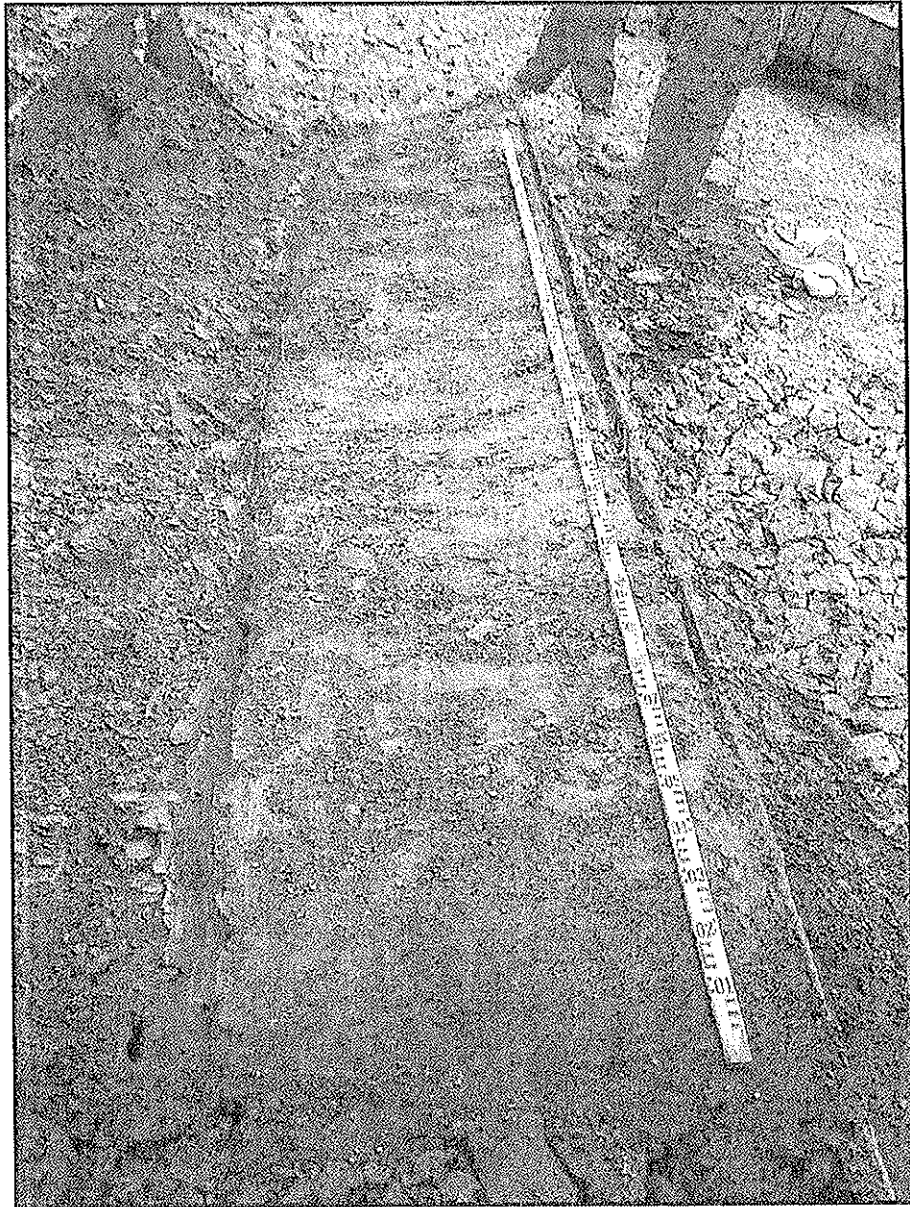
Figur 4.30 Utmatningsdiagram pelare A20



Figur 4.31 Sonderingsresultat pelare A20



Figur 4.32 Pelare A20 när röret öppnats



Figur 4.33 Pelare A20, hela pelaren avschaktad

Penetrometer

I pelare A20 genomfördes penetrometerförsök i likhet med pelare A6.

I tabell 4.6 redovisas resultaten från försöken. Vid en relativ jämförelse återfinns inga tendenser till svagare partier.

Sonderingsresultaten från denna grupp av pelare visar inte heller några svaga skikt.

Tabell 4.6 Resultat från Penetrometerförsök pelare A20

Djup[m]	Registrerat motstånd, Avstånd från ytterkant pelare. Spets ϕ 16 mm.							Diameter pelare [m]
	0,1 m	0,2 m	0,3 m	0,4 m	0,5 m	0,6 m	0,7 m	
1,0	>50	12	16	12	16	6		0,82
2,0	18	24	32		22	26	12	0,82
3,0	10	12	16		22	16	20	0,81
4,0	26	18	16		12	22	22	0,82

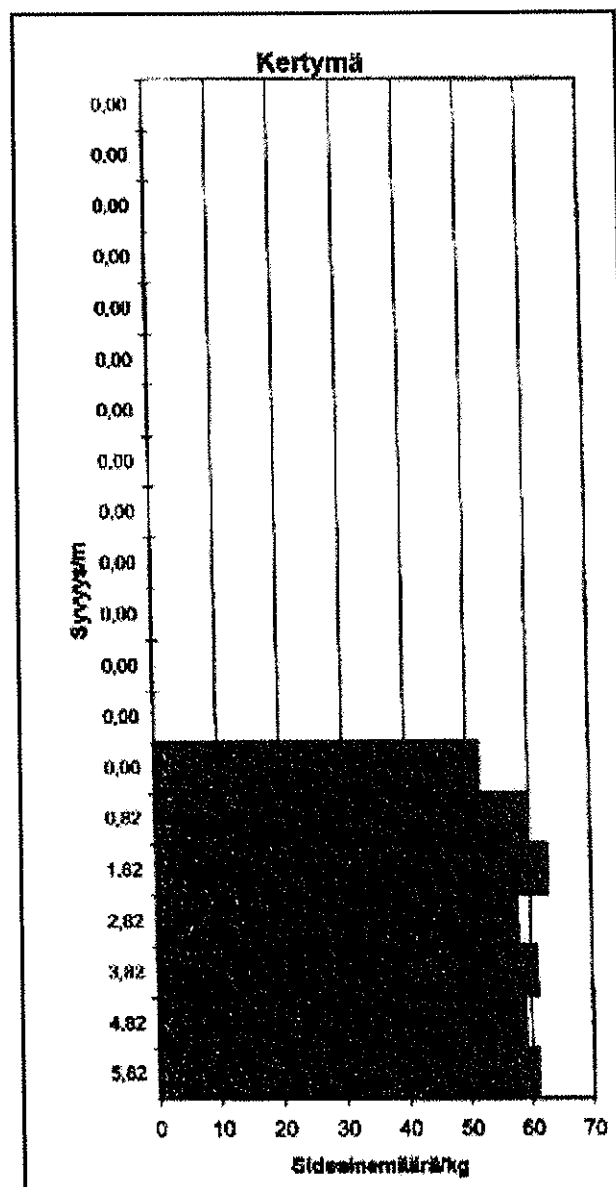
4.6.4 Provpelare A26

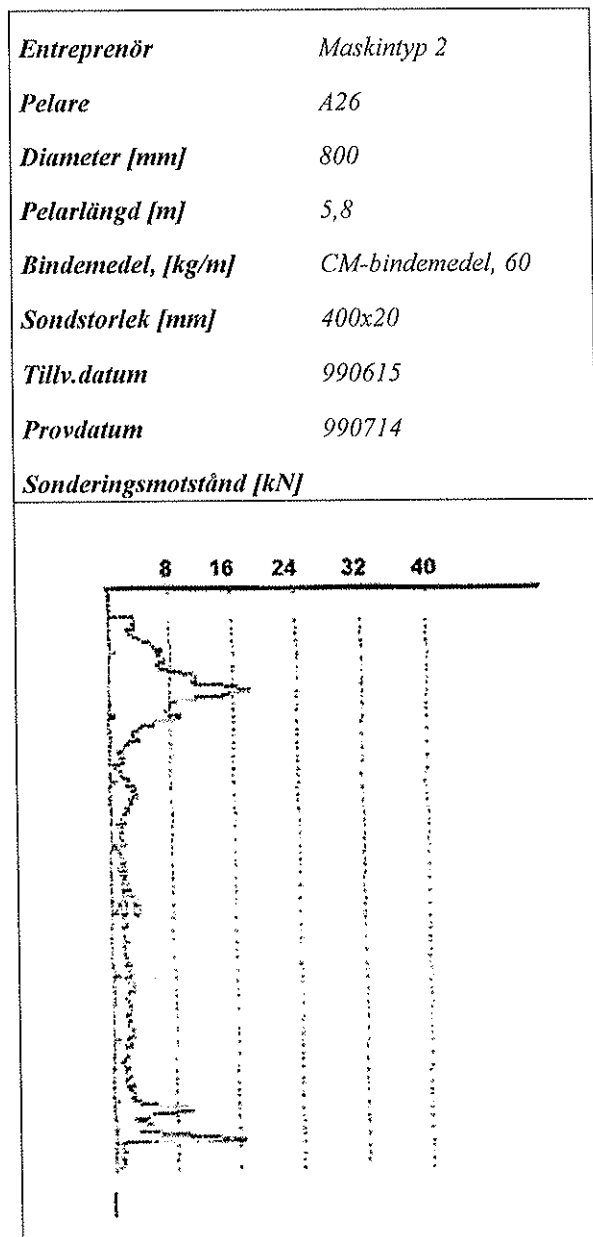
Provpelare A26 är en CM-bindemedelpelare som installerats av maskintyp 2. Bindemedelsmängden är 60 kg/m eller 120 kg/m³. Rotationshastighet 150 varv per minut och stigning 10 mm per varv. I figur 4.34 redovisas det utmatningsdiagram som automatiskt genereras från datorn i installationsmaskinen.

28 dygn efter installationen sonderades pelaren med traditionell pelarsondering. Resultatet från sonderingen redovisas i figur 4.35. Sonderingsdiagrammet visar att pelaren har växt till i hållfasthet den översta metern. Från djupet 1,5 till 8 meters djup är hållfasthetstillväxten mycket låg. Enligt utmatningsdiagrammet skall pelaren vara cirka 5,8 meter. Sonderingen har fortsatt ner till 8,5 meter där fastare jordlager påträffats. Utseendet på sonderingsdiagrammen för denna grupp av pelare är likartade. Efter 1 till 1,5 meters djup är hållfastheten mycket låg. Den troligaste orsaken till detta är att sonderingsstången gått ur pelaren. I figur 4.36 visas en skiss av pelarens utseende. Utseendet liknar det hos produktionspelare Q860. Pelaren uppvisar ett inhomogent tvärsnitt och i de delar av pelaren som tillväxt i hållfasthet skett är pelaren mycket hård. Figur 4.37 visar pelaren direkt efter upptagning. Det är tydligt att tvärsnittet ej uppgår till 800 mm någonstans i pelaren. Den lera som omger pelaren var mycket lös och gled av pelaren i stora bitar. Figur 4.38 visar en närbild av pelaren direkt efter att röret öppnats. När pelaren renskrapats från lera återfanns ett tvärsnitt enligt figur 4.39. De bitar som kan betecknas som pelare satt ihopkopplade av en mycket hård kärna.

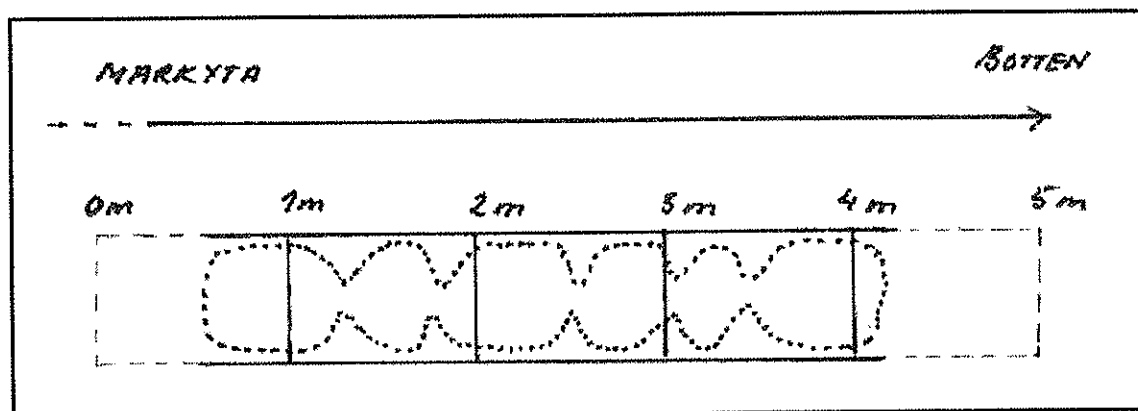
Det utseende som pelaren uppvisar styrker antagandet om att sonderingsstången gått ur samliga pelare i denna grupp.

En pelare med detta utseende bedöms som icke funktionsduglig ur stabilitetsförbättringssynpunkt eller sättningssynpunkt. Orsaken är de svaga partier som finns med jämna mellanrum. Om pelaren skall användas för att förhindra brott vid glidytor är det troligt att pelaren skjuvas av i dessa svaga zoner. Om pelaren enbart skall användas som sättningsreducerande åtgärd kommer lasterna att koncentreras till kärnan som kan gå till brott med stora sättningar som följd.

*Figur 4.34 Utmatningsdiagram pelare A26*



Figur 4.35 Sonderingsresultat pelare A26



Figur 4.36 Pelare A26 Skiss av pelarens utseende efter att leran skrapats av



Figur 4.37 Pelare A26, Hela pelare direkt efter att röret öppnats



Figur 4.38 Pelare A26, Närbild direkt efter att röret öppnats



Figur 4.39 Pelare A26, den lösa leran avskrapad

5

SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Resultatet från denna studie visar att det är möjligt att stabilisera organisk jord. De dimensionerande värdena på skjuvhållfastheten har uppnåtts även i fält.

En jämförelse mellan laboratorie- och fältresultat visar i det här projektet att de skjuvhållfastheter som uppnåtts i fält är betydligt lägre än de som erhöles i laboratorium. I fält erhöles skjuvhållfastheter efter 28 dygn på omkring 80-145 kPa för de tre bindemedel som provats. Motsvarande värden på skjuvhållfastheten efter 28 dygn på laboratorieinblandningar är 280 till 870 kPa för CM-bindemedel och 108 till 326 kPa för kalk/cement. Laboratieförsöken visar vilken optimal hållfasthet som kan uppnås vid gynnsamma förhållanden. Inblandningen som görs i laboratorium motsvarar i grova drag tiden för att tillverka en hel pelare i fält. För CM-bindemedel har inblandningsarbetet stor inverkan i organisk jord. Skillnaderna mellan laboratorie- och fältresultat var betydligt större än förväntat. Det är därför mycket viktigt att provpelare installeras och godkänns innan produktionen startar.

CM-bindemedel visar större skillnader mellan laboratorie- och fältresultat än kalk/cement. Cementa har utfört laboratieförsök vid olika temperaturer och funnit att CM-bindemedel ger hög hållfasthet även vid låga temperaturer. Orsakerna till skillnaderna bör utredas ytterligare. Erfarenheterna från projektet bör verifieras med fler studier för att finna samband mellan fält- och laboratorieresultat i framförallt organisk jord.

De bindemedel som använts visar samtliga att en godtagbar hållfasthet kan uppnås även i organisk jord om bindemedelsmängden är tillräcklig. Kalk/cement ger en mindre spridning i skjuvhållfasthet än CM-bindemedel och Terra FMT. Terra FMT hade mindre spridning än CM-bindemedel. I det här fallet reagerade också kalk/cement snabbare, vilket bör beaktas vid dimensionering så att tillräcklig hållfasthet uppnås innan pelarna belastas. Kalk/cement ger också mindre spridning vilket ytterligare styrker att provpelare i fält bör installeras med kalk/cement. Om ytterligare bindemedel ska undersökas bör mängden provpelare utökas och kalk/cement användas i referenspelare. Testresultaten från fält bör sedan ligga till grund för val av bindemedel.

Stigningen har stor betydelse för erhållet sonderingsmotstånd med CM-bindemedel. Hållfastheten blir betydligt större vid stigning 10

mm än vid 20 mm/varv de översta 3 metrarna. För kalk/cement är skillnaderna små. De rotationshastigheter som jämförs, 150 respektive 200 varv/minut visar inte några skillnader i sonderingsmotstånd, vilket innebär att båda de valda rotationshastigheterna är tillräckliga för att erhålla godtagbar hållfasthet. En rotationshastighet utanför det valda spannet kan möjligen påverka hållfastheten. För att erhålla hög produktionskapacitet är det önskvärt att ha hög stigning och hög rotationshastighet. Den här studien som bygger på en jämförelse av 20 pelare tyder på att stigningen 20 mm/varv och rotationshastighet 200 varv/minut bör kunna användas för kalkcementpelare även i organisk jord, men resultaten bör verifieras med ytterligare studier innan en generell rekommendation kan ges. Studien visar att CM-bindemedel är mer känsligt för inblandningsarbetet och det bör beaktas vid val av stigning. Effekten av blandningsarbetet i fält bör studeras i fler projekt för att verifiera om så är fallet.

Inverkan av installationsmaskin är betydande. Upptagning av hela pelare och sonderingar visar tydligt skillnad i homogenitet hos pelarna. Pelare utförda med maskintyp I visar liten spridning i sonderingsmotstånd och ser homogena ut vid upptagning. Pelare från maskintyp II har ett varierande tvärsnitt och har en blandning av lösa och hårda skikt. För att utmatningen av bindemedel skall fungera och flödet skall bli jämt måste ett flertal faktorer samordnas. Kompressortrycket som styr matningen av bindemedel måste vara tillräckligt stort och styras beroende på de geotekniska förutsättningarna. Dimensionen på den slang som bindemedlet matas fram i skall vara optimerad mot tryck och önskad bindemedelsmängd. Utmatningshålet vid blandningsverktyget skall optimeras mot tryck, slangdimension och bindemedelsmängd. När slutligen bindemedlet lämnar utmatningshålet så styrs fördelningen i tvärsnittet av vilken typ av blandningsverktyg som används samt av den luftstråle som skapas vid utmatningshålet.

En rekommendation bör upprättas för hur stor spridning som kan tolereras på sonderingsmotståndet. Innan en sådan tagits fram bör geoteknikern i sin kravspecifikation för det enskilda projektet ta ställning till om krav ska ställas på hur stor spridning som kan tolereras.

Den genomförda studien visar att det är stora skillnader i resultat mellan olika installationsmaskiner och verktyg. Det går dock inte i det här projektet att särskilja vilka faktorer som har störst inverkan. Fördjupade studier av inverkan från maskiner och verktyg ses därför som en viktig del för fortsatt forskning inom området.

6

REFERENSER

Carlsten P. *Kalk och kalkcementpelare vägledning för projektering, utförande och kontroll*, SGF Rapport 4:95, Linköping, 1995

Hansson T. *Undersökning i fält av stabiliseringseffekt i organisk jord och lera*, Institutionen för geoteknik, Chalmers Tekniska Högskola, Examensarbete 2000:1, Göteborg, 2000

Johansson C. Jons A. *Kalkcementpelartillverkning, En studie av hur olika produktionsfaktorer påverkar pelarnas homogenitet och hållfasthet*, Institutionen för geoteknik, Chalmers Tekniska Högskola, Examensarbete 1995:5, Göteborg, 1995

Larsson S. *Inblandningsmekanismer vid djupstabilisering med kalk- kalk/cementpelare*, Arbetsrapport 3, (Intern SD rapport), Linköping, 1998

Persson C., *Beskrivning till jordartskarta, Katrineholm NO*, Serie Ae nr. 47, Uppsala, 1982

SGU Ser. Ae nr. 47, *Jordartskartan 9G Katrineholm NO*, 1:50 000H.

Tränk R. Johansson U. *Undersökning av K/C-pelare med avseende på dess "homogenitet"*, Arbetsrapport 4, (Intern SD rapport), Linköping, 1998

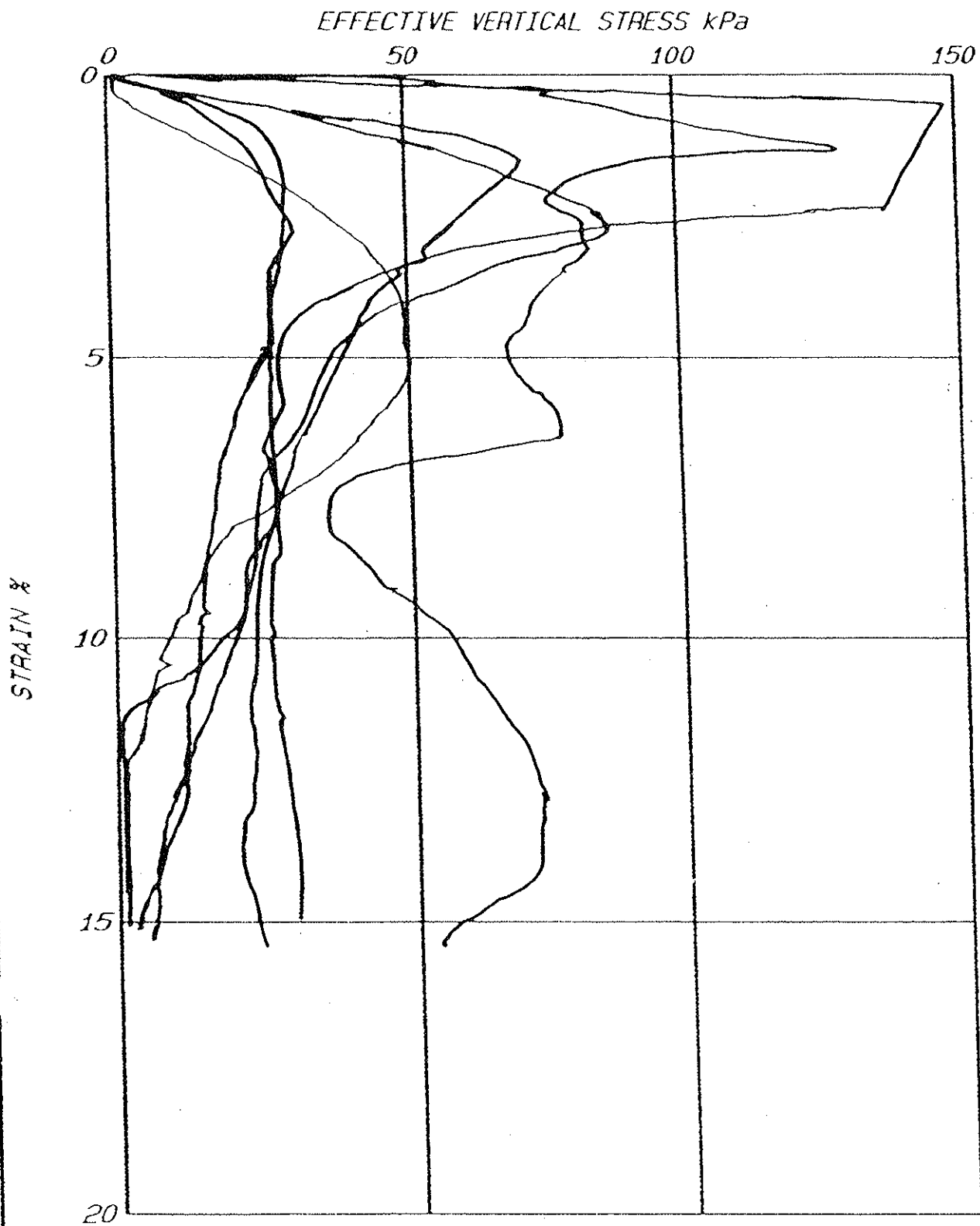
Åhnberg H. mfl. *Cement och kalk för djupstabilisering av jord*, Rapport 48, SGI, Linköping, 1995

BILAGA 1

LABORATORIEUNDERSÖKNINGAR

- 1.1 Pelare A8, Kompression/ effektivspänning
- 1.2 Pelare A18, Kompression/ effektivspänning
- 1.3 Pelare A28, Kompression/ effektivspänning
- 1.4 Pelare A33, Kompression/ effektivspänning
- 1.5 Rutinundersökning sektion 0/915 VM
- 1.6 Inblandningsförsök, SGI, 1997
- 1.7 Inblandningsförsök, SGI, 1999
- 1.8 Inblandningsförsök, Cements/Viatek, 1999

STRAIN / EFFECTIVE VERTICAL STRESS



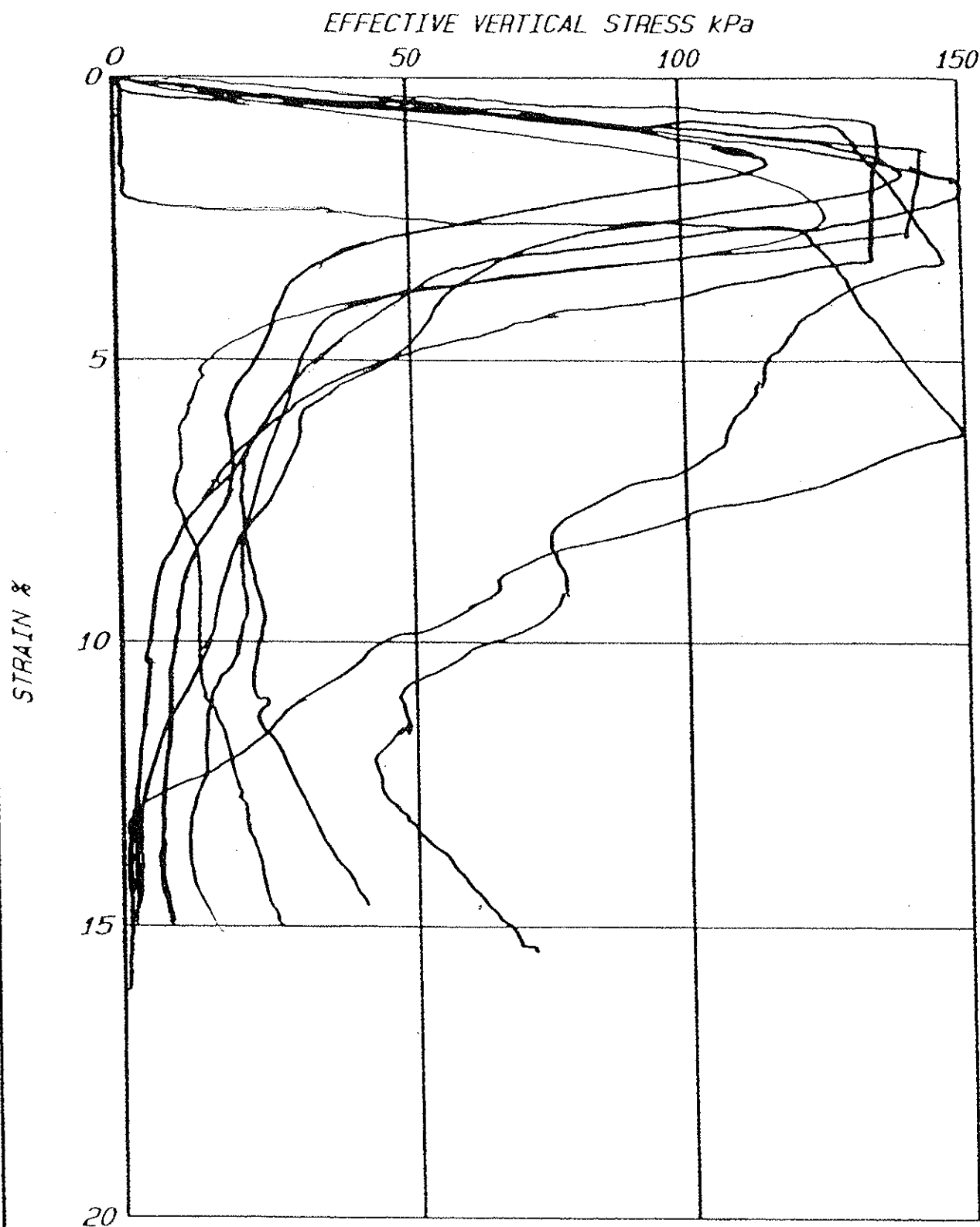
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för geoteknik
med grundläggning

ENAX TRYCK

Kompression / effektivspänning

Försökskod : AB 5205.CRS

STRAIN / EFFECTIVE VERTICAL STRESS



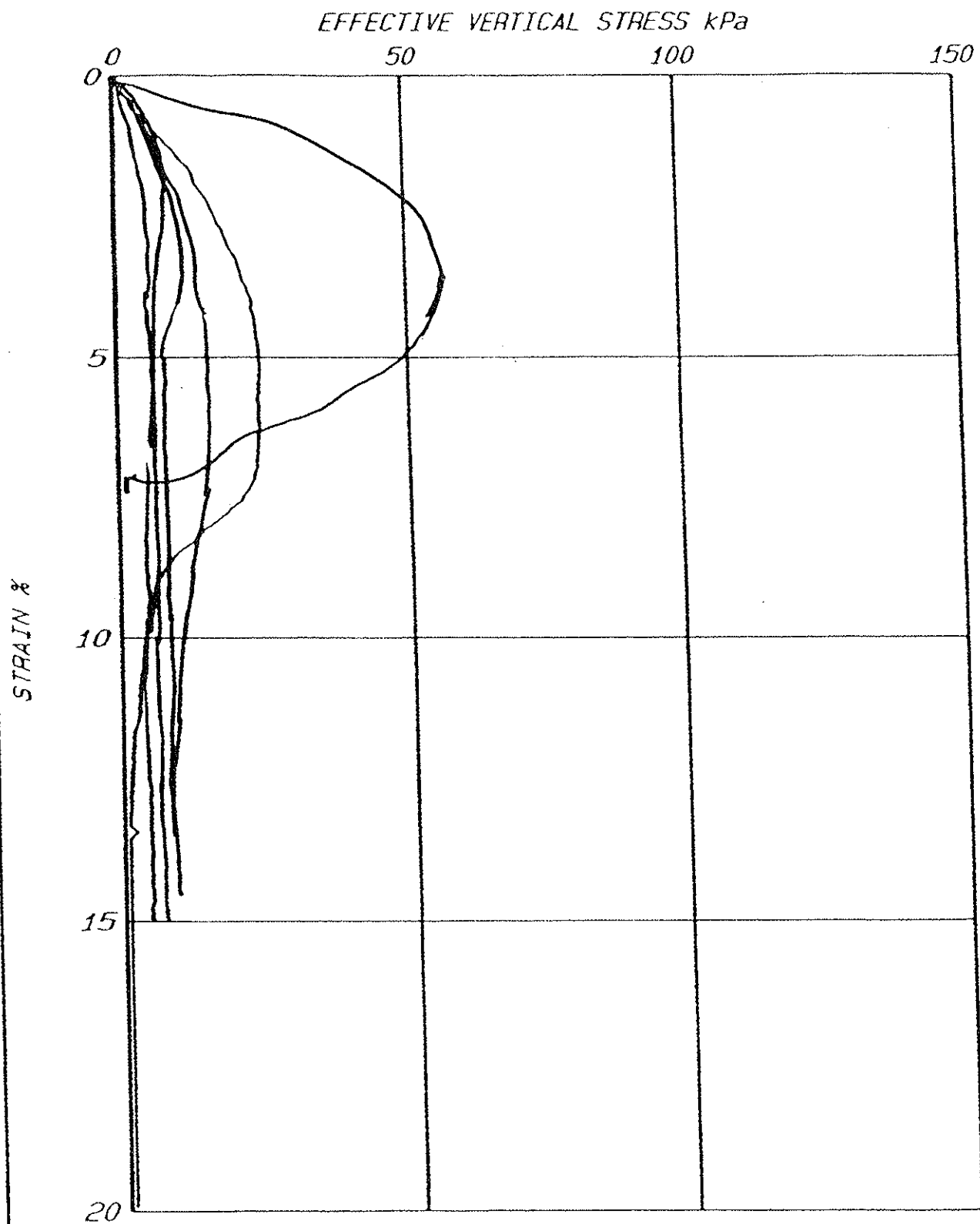
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för geoteknik
med grundläggning

ENAXTRYCK

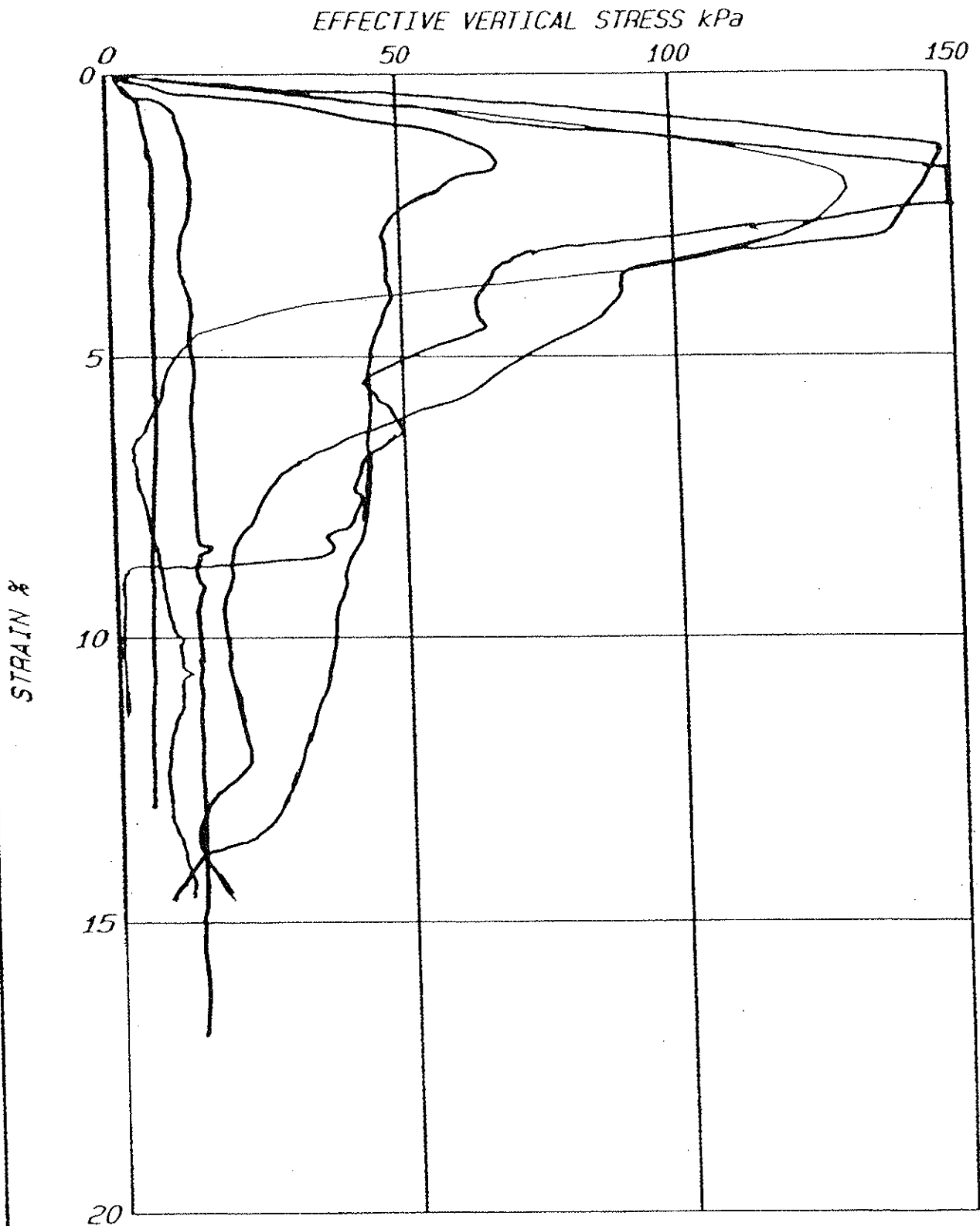
Kompression / effektivspänning

Försökskod : A: A1B 2601.CRS

STRAIN / EFFECTIVE VERTICAL STRESS



STRAIN / EFFECTIVE VERTICAL STRESS



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för geoteknik
med grundläggning

ENAX TRYCK

Kompression / effektivspänning

Försökskod : A: A33 2414.CRS

SAMMANSTÄLLNING AV LABORATORIEUNDERSÖKNINGAR

VÄG 221, BETTNA - FLEN							Tabell	1
							Dnr	2-9703-138
Provtagningsdatum	Provtagningsredskap	Laboratorieundersökning	Utförd av		Datum			970428
9704	Skr Torvprovtt.	970425--28	SZ IMK		Teknisk ledare			<i>Inga-Maj Kallor</i>
Sektion/ Borrhål/ Djup	Benämning enligt 1981 års system*	Densitet ρ t/m ³	Vatten- kvot w %	Kon- flyt- gräns w _L %	Sen- siti- vitet S _t	Skjuv- håll- fasthet τ kPa	Jordartsbenämning (Anmärkning)	
0/915 VM								
0,45-0,7	BRUN MULLJORD MED VÄXTDELAR						Mu vx	Torvprovtagare
0,7-1,1	BRUN MELLANTORV		510 ¹				Tm	Torvprovtagare 1) Avser nivå 0,95-1,05 meter
0,2-1,0	BRUN HÖGFÖRMULTNAD TORV MED VED- RESTER		574				Th	
1,0-1,1	BRUNSVART MELLANTORV		621				Tm	
1,35-1,45	BRUNSVART HÖGFÖRMULTNAD TORV		456				Th	Torvprovtagare
1,0-2,0	GRÖNGRÅ GYTJA		284				Gy	
1,45-2,1	GRÖNGRÅ GYTJA		250				Gy	Torvprovtagare
2,5-4,0	GRÅ, LERIG GYTJA		142				le Gy	
4,5-6,0	GRÅ, GYTJIG LERA		95				gy Le	

* Baserad på okulär jordartsklassificering. Hänsyn har tagits till förekommande mätdata.

**Skjuvhållfasthet, bestämd med konmetoden. Korrigering rekommenderas enligt SGI Information 3.

Ackrediterat laboratorium utses av Styrelsen för teknisk ackreditering (SWEDAC) enligt lag.
Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorierna uppfyller kraven enligt SS-EN 45 001.

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte SWEDAC och
utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.

KEMISKT STABILISERAD JORD

VÄG 221, BETTNA -FLEN, DELEN FÖRBI BETTNA									Tabell		1	
									Dnr		2-9703-138	
Datum för inblandning		Handläggare		Laboratorieundersökning		Datum		Utförd av		Datum		970814
970506		R.T.		970516-0813		SZ		Tehnisk ledare		Inga-Maj Keller		
Blandning	Tillsatsmedel				Tid efter inblandning dygn	Lag-nings-temperatur °C	Densitet ρ t/m ³	Vatten-kvot w %	Kon-flyt-gräns w_L %	Skjuvhållfasthet		Anmärkning
	kg/m ³	1) Vikts-%	Proportioner Kalk Cement							Tryck-försök τ_{fu} kPa	Kon-försök τ_{fu} kPa	
BLA1	150	-	50	50	10	+ 22	1,17	230	-	6,6	-	Sprickor
					30	+ 22	1,15	220	-	9,1	-	Håligheter
					99	+ 22	1,15	227	-	8,8	-	Sprickor
BLA2	250	-	50	50	10	+ 22	1,19	172	-	13	-	Sprickor, Håligheter
					30	+ 22	1,20	162	-	16	-	Sprickor
					99	+ 22	1,20	170	-	17	-	Sprickor, Håligheter

1) Beräknad på jordens torra vikt.

2) Blandningens vattenkvot före inblandning av kalk/cement.

Blandning: A 1 0/915 VM 0,7-1,45 m

Blandning: A 2 0/915 VM 0,7-1,45 m

1) Beräknad på jordens torra vikt.

2) Blandningens vattenkvot före inblandning av kalk/cement.

Blandning: A 1 0/915 VM 0,7-1,45 m

Blandning: A 2 0/915 VM 0,7-1,45 m

Ackrediterat laboratorium utses av Styrelsen för teknisk ackreditering (SWEDAC) enligt lag.
Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorierna uppfyller kraven enligt SS-EN 45 001.

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte SWEDAC och
utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.



LABORATORIET



RAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium
REPORT is issued by an Accredited Laboratory

BILAGA 1.6
2(4)

KEMISKT STABILISERAD JORD

VÄG 221, BETTNA -FLEN, DELEN FÖRBI BETTNA										Tabell		2
										Dnr		2-9703-138
Datum för inblandning		Handläggare		Laboratorieundersökning		Datum		Utförd av		Datum		970606
970506		R. T.		970516-0605		SZ				Teknisk ledare		Juoz-Maj Kalla
Blandning	kg/m ³	Tillsatsmedel		Proportioner	Tid efter inblandning dygn	Lagringstemperatur °C	Densitet ρ u/m ³	Vattenkvot w %	Konflytgräns w _L %	Skjuvhållfasthet		Anmärkning
		1) Vikts-%	Lohjamix %							Cement %	Tryckförsök τ _{fu} kPa	
BL B1	150	-	100	-	10	+ 22	1,20	171	-	225	-	Packat för hand Håligheter Sprickor, Håligheter
					30	+ 22	1,19	164	-	484	-	
BL B2	250	-	100	-	10	+ 22	1,28	134	-	289	-	Packat för hand Sprickor
					30	+ 22	1,26	129	-	565	-	
1) Beräknad på jordens torra vikt. 2) Blandningens vattenkvot före inblandning av Lohjamix Blandning: B 1 0/915 VM 1,0-2,1 m Blandning: B 2 0/915 VM 1,0-2,1 m												

Ackrediterat laboratorium utses av Styrelsen för teknisk ackreditering (SWEDAC) enligt lag.
Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorierna uppfyller kraven enligt SS-EN 45 001.

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte SWEDAC och
utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.

Statens geotekniska institut

581 93 Linköping, telefon 013-20 18 00, telefax 013-20 19 14



LABORATORIET



RAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium
REPORT is issued by an Accredited Laboratory

BILAGA 1-6

3(4)

KEMISKT STABILISERAD JORD

VÄG 221, BETTNA - FLEN, DELEN FÖRBI BETTNA									Tabell		3	
									Dnr		2-9703-138	
Datum för inblandning		Handläggare		Laboratorieundersökning					Datum		970606	
970506		R.T.		970515-0604 SZ					Teknisk ledare		J. M. M. Kalle/	
Blandning	Tillsatsmedel				Tid efter inblandning dygn	Lagringstemperatur °C	Densitet ρ $\frac{\text{t}}{\text{m}^3}$	Vattenkvot w %	Konflytgräns w_L %	Skjuvhållfasthet		Anmärkning
	kg/m^3	1) Vikts-%	Proportioner Lohjamix %	Cement %						Tryckförsök τ_{fu} kPa	Konförsök τ_{fu} kPa	
BL C1	80	-	100	-	10	+ 22	1,32	124	-	168	-	Packat för hand
					30	+ 22	1,31	126	-	228	-	Sprickor, Håligheter Håligheter
BL C2	120	-	100	-	10	+ 22	1,33	116	-	391	-	Packat för hand
					30	+ 22	1,30	115	-	416	-	Håligheter Sprickor, Håligheter

1) Beräknad på jordens torra vikt.

2) Blandningens vattenkvot före inblandning av Lohjamix

Blandning: C 1 0/915 VM 2,5-4,0 m

Blandning: C 2 0/915 VM 2,5-4,0 m

Ackrediterat laboratorium utses av Styrelsen för teknisk ackreditering (SWEDAC) enligt lag.
Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorierna uppfyller kraven enligt SS-EN 45 001.

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte SWEDAC och utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.



LABORATORIET



RAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium
REPORT is issued by an Accredited Laboratory

BILAGA 1.6
4(4)

KEMISKT STABILISERAD JORD

VÄG 221, BETTNA - FLEN, DELEN FÖRBI BETTNA										Tabell 4		
										Dnr 2-9703-138		
Datum för inblandning		Handläggare		Laboratorieundersökning		Datum		Utförd av		Datum		
970505		R.T.		970515-0604		SZ				970606		
										Teknisk ledare <i>Ingemar Kuller</i>		
Blandning	Tillsatsmedel				Tid efter inblandning dygn	Lagringstemperatur °C	Densitet ρ t/m ³	Vattenkvot w %	Konflytgräns w _L %	Skjuvhållfasthet		Anmärkning
	kg/m ³	1) Vikts-%	Proportioner Lohjamix %	Cement %						Tryckförsök τ_{fu} kPa	Konförsök τ_{fu} kPa	
BLD1	80	-	100	-	10	+ 22	1,41	85	-	140	-	Packat för hand Sprickor, Håligheter
					30	+ 22	1,43	86	-	259	-	
BLD2	120	-	100	-	10	+ 22	1,47	81	-	382	-	Packat för hand Sprickor Sprickor, Håligheter.
					30	+ 22	1,33	81	-	509	-	

1) Beräknad på jordens torra vikt.

2) Blandningens vattenkvot före inblandning av Lohjamix

Blandning: D 1 0/915 VM 4,5-6,0 m

Blandning: D 2 0/915 VM 4,5-6,0 m

Ackrediterat laboratorium utses av Styrelsen för teknisk ackreditering (SWEDAC) enligt lag.
Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorierna uppfyller kraven enligt SS-EN 45 001.

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte SWEDAC och utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.



LABORATORIET



RAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium

REPORT is issued by an Accredited Laboratory

BILAGA 1.7

KEMISKT STABILISERAD JORD

Referens: SGI, egna anvisningar. Dokument nr 29

Beställare: SGI											
VAG 221 BETTNA									Tabell		1
									Dnr		1-9906-350
Datum för inblandning		Handläggare		Laboratorieundersökning				Datum			
990831		Yvonne Rogbeck		990928-1129				991130			
				Utförd av				SZ			
								Teknisk ledare			
								Ingrid May Kalle			
Blandning	Tillsatsmedel				Tid efter inblandning dygn	Lagringstemperatur °C	Densitet ρ t/m ³	Vattenkvot w %	Konflytgräns w _L %	Skjuvhållfasthet Enaxliga tryckförsök τ_{fu} kPa	Anmärkning
	kg/m ³	1) Vikts-%	Proportioner Kalk %	Lohjalmix %							
BLB								204 ²			
BURK 3705	120			100	28	+ 7	1,28	144	-	280	Mindre sprickor
4385					28	+ 7	1,29	144	-	281	
4817					90	+ 7	1,29	145	-	384	
1) Beräknad på jordens torra vikt. 2) Blandningens vattenkvot före inblandning av kalk/cement. 3) Skrymdensitet, SS 027114, utgåva 2 4) Vattenkvot, SS 027116, utgåva 3 5) Konflytgräns, SS 027120, utgåva 2 6) Enaxliga tryckförsök, SS 027128, utgåva 1 Blandning: B 0/908 V 11 0,7-1,4 m , 0/930 V 11 1,4-2,1 m Mätosäkerhet och mätområde framgår av SGI Kvalitetshandbok Proverna har stått i rumstemperatur 7 dygn + 20 därefter i kylrum + 7											

R7 1999-08-26

Ackrediterat laboratorium utses av Styrelsen för teknisk ackreditering (SWEDAC) enligt lag.
Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorierna uppfyller kraven enligt SS-EN 45 001.

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte SWEDAC och
utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.

Statens geotekniska institut

581 93 Linköping, telefon 013-20 18 00, telefax 013-20 19 14

CEMENTA, VÄG 221
STABILISERING AV LERA
G0400.50

3.6.1999

Rutinförsök

Djup [m]	jordart	W [%]	ρ [t/m ³]	pH	Glödning [%]	
					förlust	Humus
1.5-2.5	GyLe	128	1.46	7.2	7.1	4.4
2.5-3.5	gyLe	87.9	1.50	7.1	4.7	2.1
3.5-4.5	Le	102	1.50	7.2	3.8	0.1
4.5-5.5	Le	78.3	1.43	8.1	3.0	-
5.5-6.5	Le	110	1.55	8.3	4.1	1.0
7.5-8.5	Le	53.2	1.84	8.5	2.0	-

Inblandningsförsöksprogram

Tillsatsmedel	Djup [m]	Tryckhållfasthet [kPa] / ϵ [%]		
		14 dygn	28 dygn	90 dygn
CaO+StdCe 1:1, 100 kg/m ³	1.5-2.5	<u>100</u> (2.1)	135 (1.5)	<u>223</u> (1.4)
	2.5-3.5	<u>77</u> (2.9)	108 (2.7)	<u>162</u> (1.3)
	3.5-4.5	<u>145</u> (2.2)	155 (1.6)	<u>230</u> (1.6)
	4.5-5.5	<u>168</u> (2.0)	214 (1.3)	<u>301</u> (0.9)
	5.5-6.5	<u>212</u> (1.8)	274 (1.1)	<u>473</u> (1.3)
	7.5-8.5	<u>275</u> (2.1)	326 (2.6)	<u>491</u> (1.3)
"LOHJAMIX" SHCe+Merit 5000 1:1 100 kg/m ³	1.5-2.5	<u>536</u> (1.3)	711 (1.3)	<u>865</u> (1.6)
	2.5-3.5	<u>349</u> (2.0)	497 (1.6)	<u>734</u> (1.2)
	3.5-4.5	<u>406</u> (1.6)	565 (1.1)	<u>839</u> (1.2)
	4.5-5.5	<u>527</u> (1.2)	628 (1.1)	<u>1108</u> (1.6)
	5.5-6.5	<u>439</u> (0.9)	663 (1.1)	<u>1118</u> (1.5)
	7.5-8.5	<u>527</u> (1.5)	868 (1.2)	<u>1401</u> (1.3)

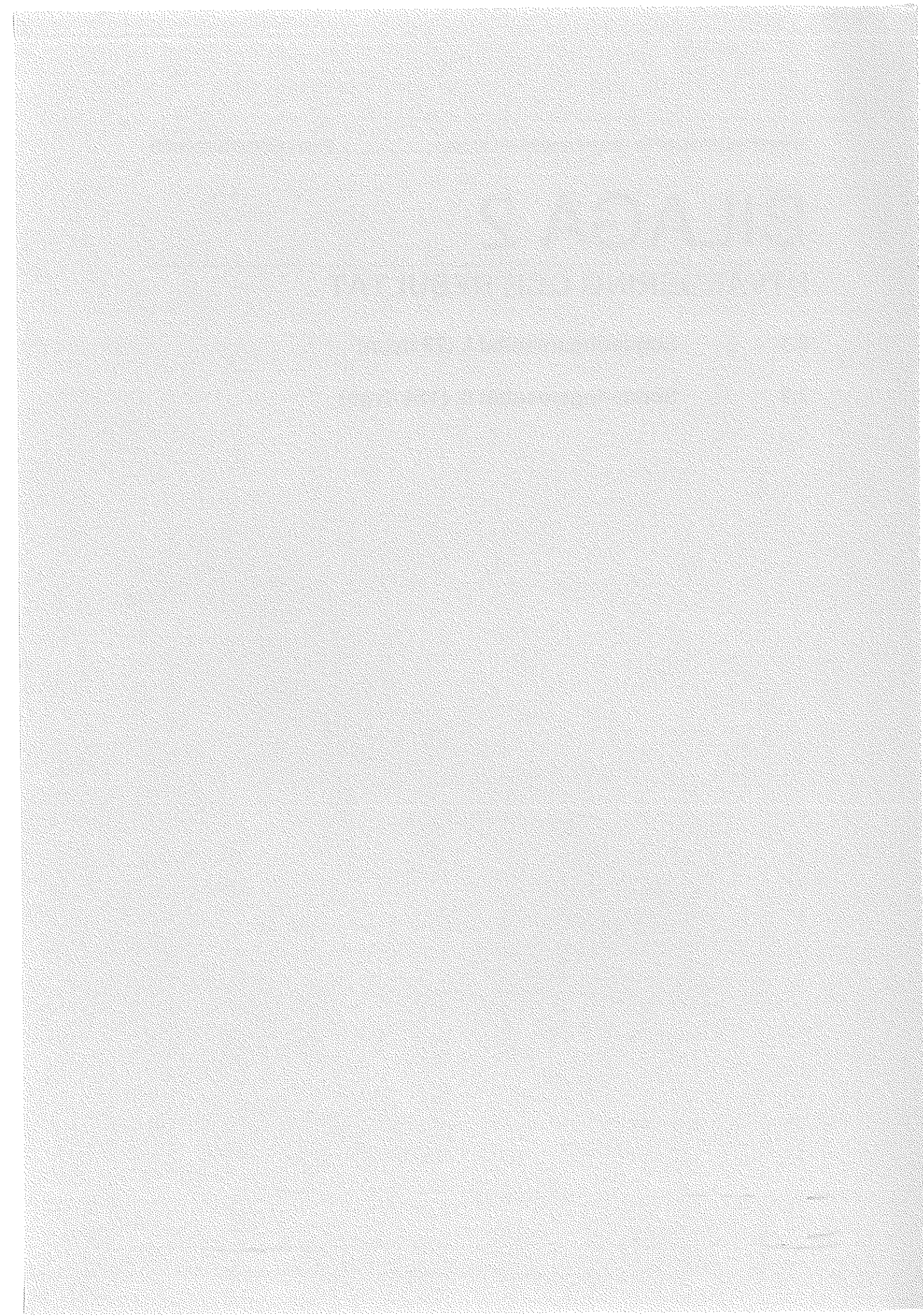
 $\bar{x}$ = enkelprovkropp

BILAGA 2

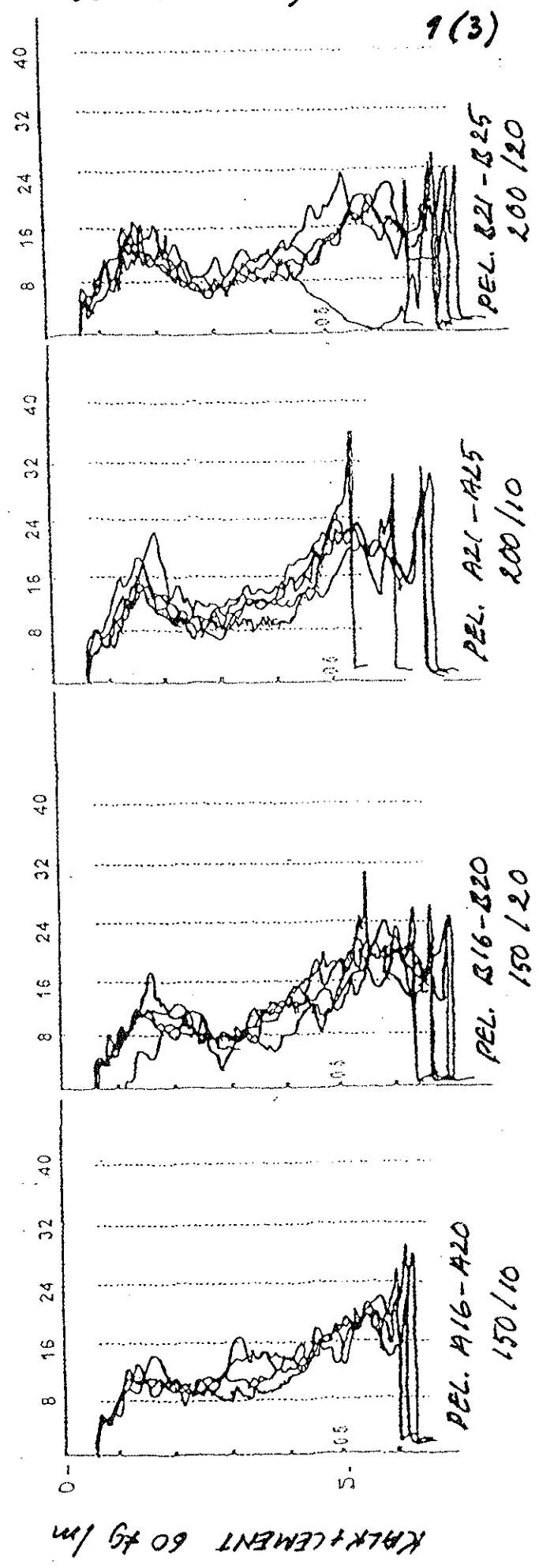
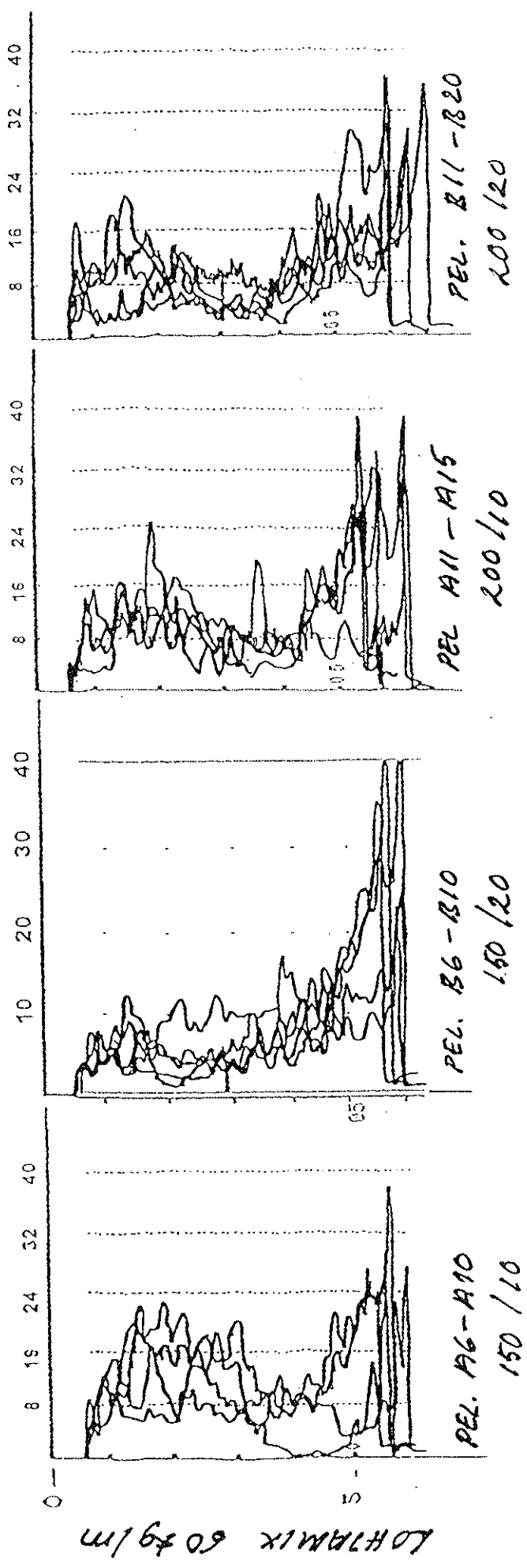
UTVÄRDERING OCH RESULTAT

2.1 Sonderingsresultat I, (28 dygn)

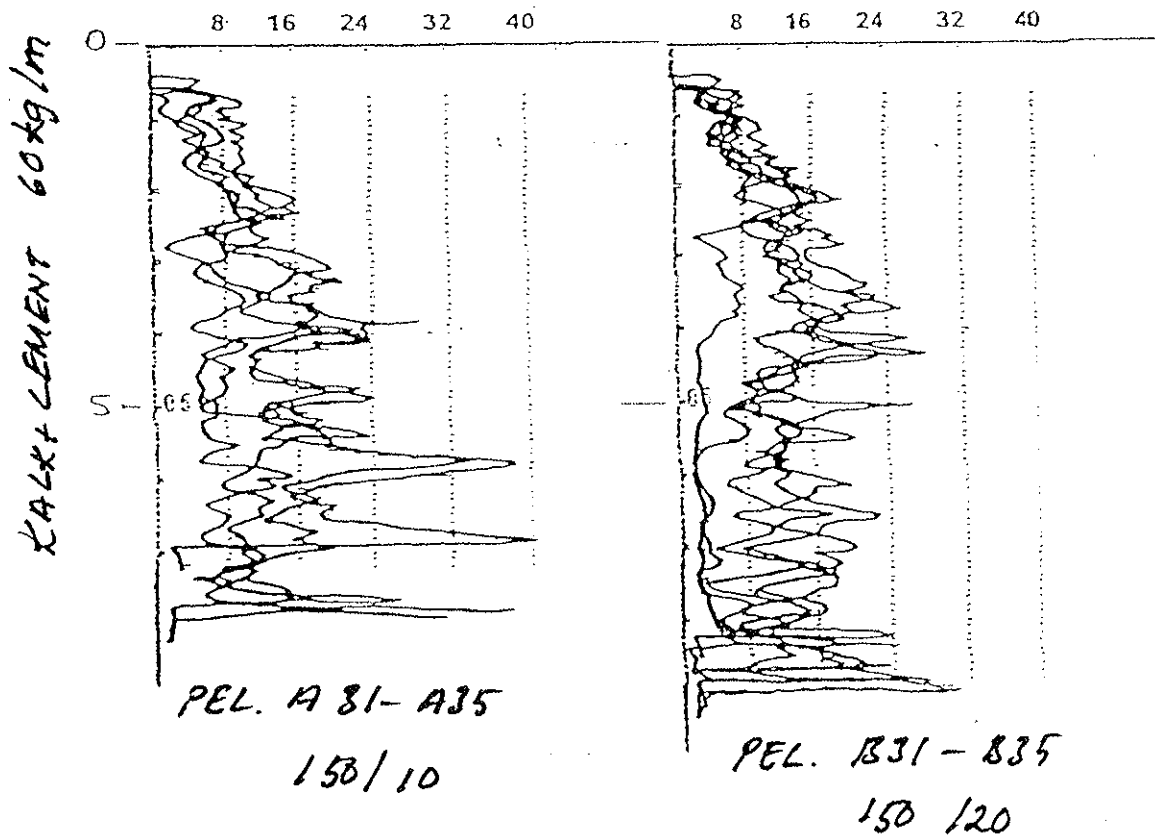
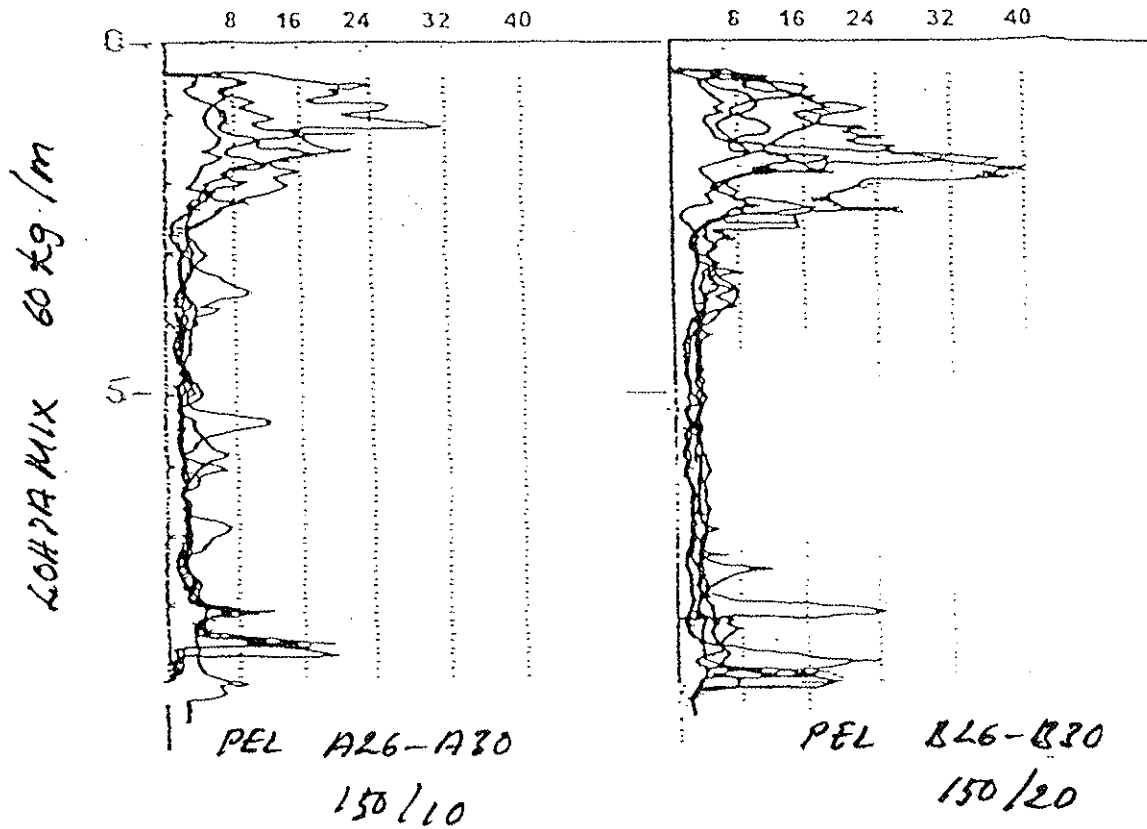
2.2 Sonderingsresultat II, (134 dygn)



BILAGA 2.1
SONDERING I, HERCULES
1(3)

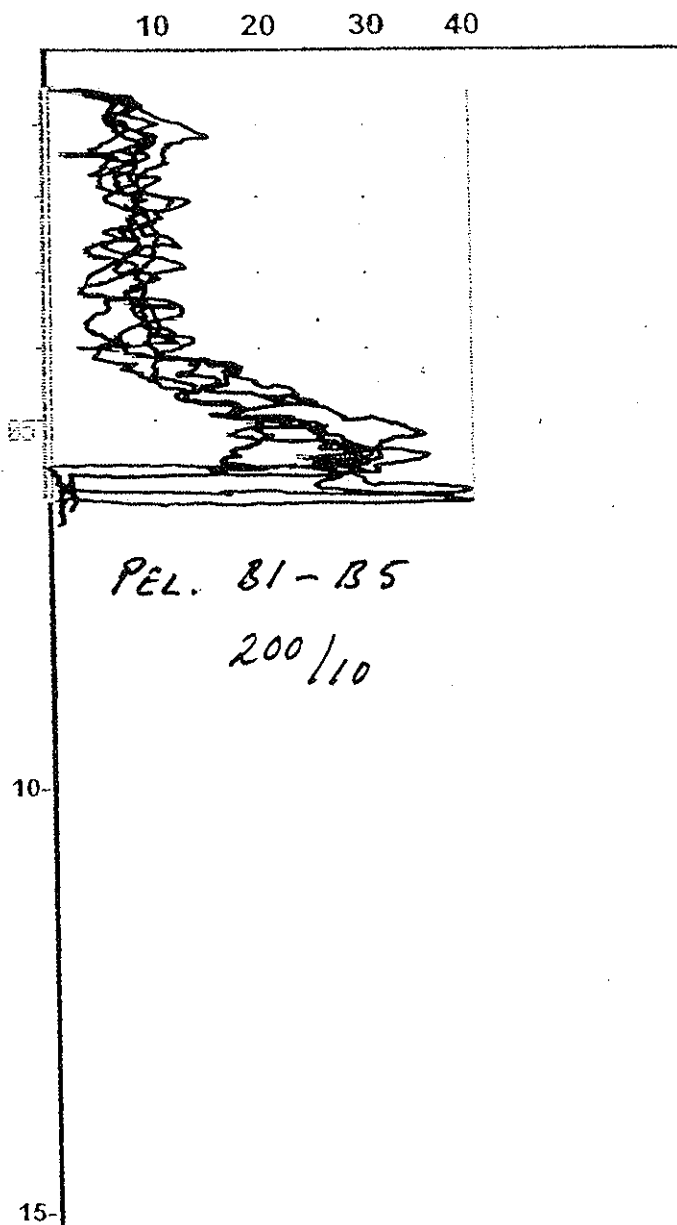


BILAG A 2.1
 SONDERING I, LEMMINKÄINEN
 2(3)



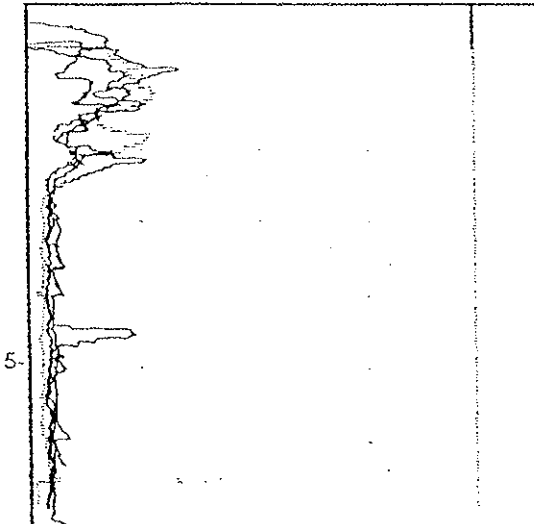
PROJEKT	FOU, BETTNA
PELARNUMMER	
DIAMETER(mm)	800
PELARLÄNGD,m	
BINDEMEDEL,Kg/m	Terra FMT
ROT.HAST,varv/min	200
STIGNING,mm/varv	10
SONDSTORLEK,mm	400x20
TILLV.DATUM	
PROVDATUM	990712

SONDERINGSMOTSTÅND, kN

Sonderings-
djup(mumy)

LEMMINKÄINEN, LOHJAMIX

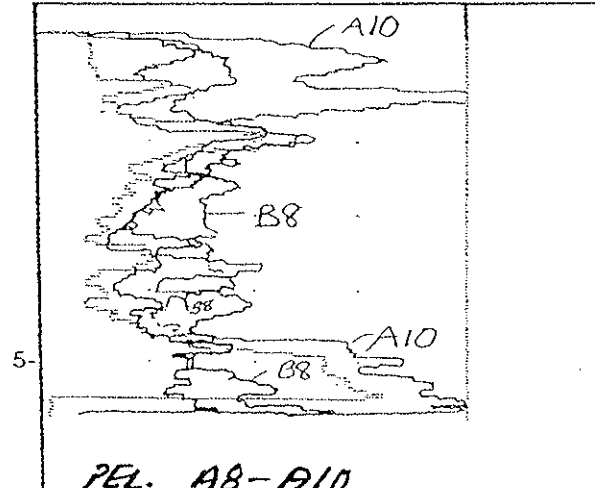
10 20 30 40



PEL. A27-A30
150/10

HERCULES, LOHJAMIX

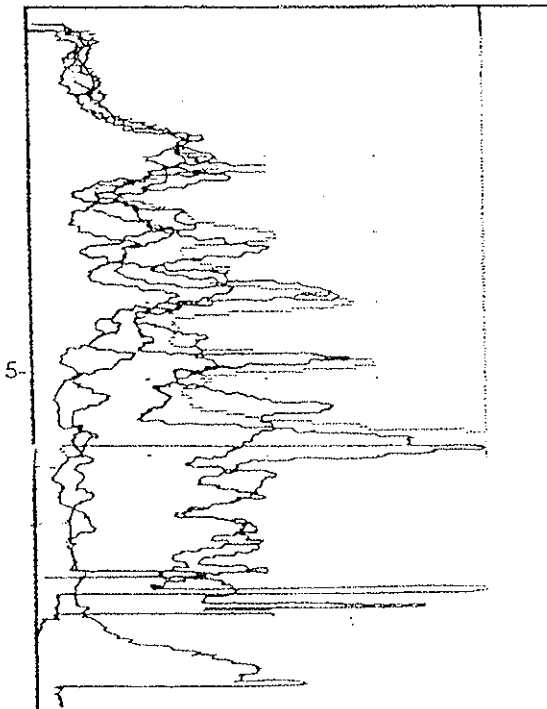
10 20 30 40



PEL. A8-A10
150/10

LEMMINKÄINEN, KALK+CEMENT

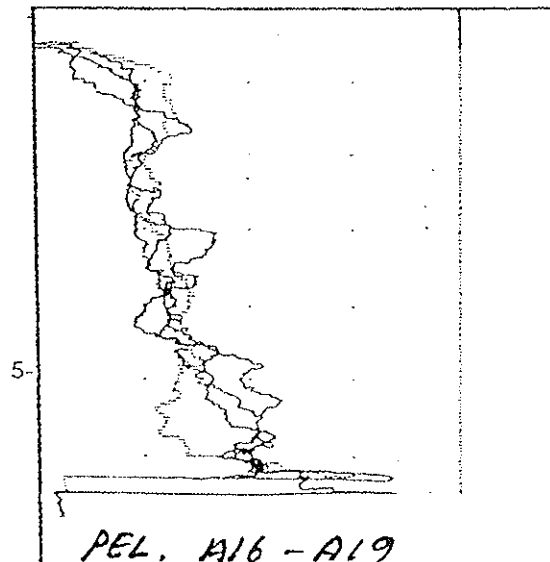
10 20 30 40



PEL. A31-A35
150/10

HERCULES, KALK+CEMENT

10 20 30 40



PEL. A16-A19
150/10

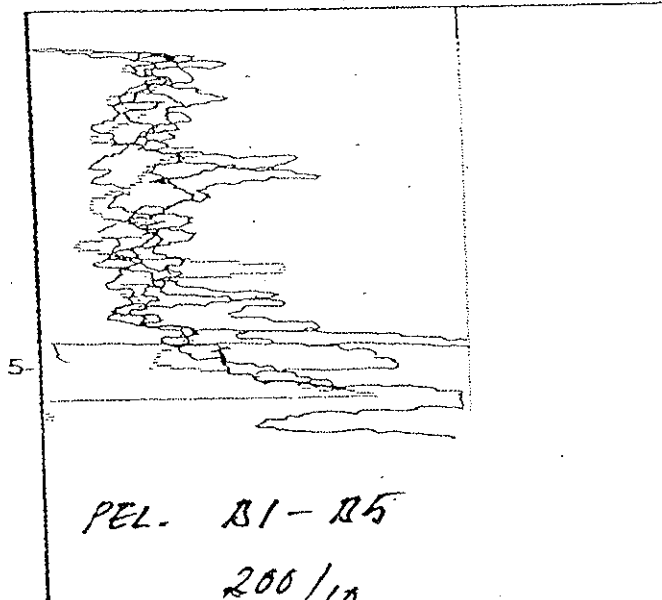
RILAGA 2.2

2(2)

SONDERING II

HERCULES, TERRA FMT

10 20 30 40



Publikationer utgivna av Svensk Djupstabilisering

Arbetsrapport

- | | | |
|----|--|------|
| 1 | Arlandabanan, Norra Böjen. Sättningar hos järnvägsbank på kc-pelare.
Ulf Stjerngren, Jacobson & Widmark | 1998 |
| 2 | KC-förstärkning för schakt inom spont, Filipstad Brygge, Oslo.
Phung Doc Long, Stabilator AB & Håkan Bredenberg, Stabilator AB | 1998 |
| 3 | Inblandningsmekanismer vid djupstabilisering med kalk-, kalk/cementpelare och cementpelare
Stefan Larsson, Tyréns | 1998 |
| 4 | Undersökning av KC-pelare med avseende på dess "homogenitet".
Roland Tränk, SGI | 1998 |
| 5 | Bestämning av egenskaper i cellstabiliserad torv.
Nenad Jelusic, Vägverket Region Mitt, Torbjörn Edstam, SGI & Yvonne Rogbeck, SGI | 1998 |
| 6 | Rörelser och portryck vid kalkpelarinstallation. Redovisning av mätresultat.
Åke Johansson, SGI | 1998 |
| 7 | Masstabilisering av väg 590, Askersund.
Yvonne Rogbeck, SGI | 1998 |
| 8 | KC-pelarförstärkning av instabil slänt. E4, delen Nyland - Ullånger, Västernorrlands län. Åtgärder och mätningar.
Leiv Viberg, SGI, Bertil Eriksson, Vägverket Produktion Mitt & Stefan Johansson, Vägverket Produktion Mitt | 1998 |
| 9 | Grunnforsterkning med kalksementpælar
Stein Christensen, Arnstein Watn, Steinar Nordal, Arnfinn Emdal, Torbjørn Lund & Thomas Kristiansen | 1999 |
| 10 | Dimensioneringsvägledning för djupstabilisering
Översättning av Finska Vägverkets klarlägganden 18/1997 | 1999 |
| 11 | Historik och svenska erfarenheter av kalkstabilisering av vägterrasser
Stefan Gustafsson, Scandiaconsult | 1999 |

Rapport

- | | | |
|---|---|------|
| 1 | Erfarenhetsbank för kalk-cementpelare.
Torbjörn Edstam | 1997 |
| 2 | Kalktypens inverkan på stabiliseringsresultatet. En förstudie.
Helen Åhnberg & Håkan Pihl | 1997 |
| 4 | Provbänk på kalk/cementpelarförstärkt gyttja och sulfidhaltig lera i Norrala
Rolf Larsson | 1999 |



Svensk Djupstabilisering

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