



KUNGL
TEKNISKA
HÖGSKOLAN

07054 (A) H

J

**Djupstabilisering med kalkcementpelare
- metoder för produktionsmässig
kvalitetskontroll i fält**

Morgan Axelsson

Stockholm 2001

Licentiate Thesis 2069
Division of Soil and Rock Mechanics
Department of Civil and Environmental Engineering
Royal Institute of Technology

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING	7
SUMMARY	9
1 INLEDNING.....	11
1.1 BAKGRUND	11
1.2 SYFTE	11
1.3 OMFATTNING	11
2 KVALITETSKONTROLL AV KALKCEMENTPELARE.....	13
2.1 ALLMÄNT.....	13
2.2 BEGREPPET KONTROLL ENLIGT SVENSK PRAXIS.....	13
2.3 VILKA PARAMETRAR BÖR KONTROLLERAS?	14
2.4 DETALJERINGSGRAD OCH KÄNSLIGHET HOS PARAMETRAR.....	17
2.4.1 Singulära pelare, stabilitetshöjande funktion	18
2.4.2 Singulära pelare, sättningsreducerande funktion	21
2.4.3 Pelarskivor, block och gitter.....	21
2.5 KONTROLLMETODER FÖR KALKCEMENTPELARE I NORDEN.....	22
2.5.1 Sverige	22
2.5.2 Finland.....	29
2.5.3 Norge	30
2.6 KONTROLLMETODER FÖR CEMENT- OCH KALKCEMENTPELARE I JAPAN.....	31
3 IDAG ANVÄNDA METODER FÖR KONTROLL AV PELARE I FÄLT.....	35
3.1 STATISKA SONDERINGSMETODER.....	35
3.1.1 Traditionell pelarsondering	35
3.1.2 Omvänd pelarsondering.....	40
3.1.3 Pelarvingsond	42
3.1.4 Spetstrycksond.....	43
3.2 MATERIALPROVTAGNING OCH OKULÄRBESIKTNING.....	44
3.2.1 Allmänt.....	44
3.2.2 Framschaktning av pelare	44
3.2.3 Kärnborrning.....	44
3.2.4 Upptagning av hela eller sektioner av pelare.....	45
3.3 BELASTNINGSFÖRSÖK.....	46
3.4 BEDÖMNING AV MÄTBARHET MED BEFINTLIGA KONTROLLMETODER.....	47
4 MÖJLIGA METODER FÖR KVALITETSKONTROLL I FÄLT.....	49
4.1 SEISMISKA METODER.....	50

4.2	RESISTIVITETSMÄTNING.....	58
4.3	VALDA KONTROLLMETODER FÖR STUDIER I FÄLT.....	59
4.3.1	Allmänt.....	59
4.3.2	Minisond.....	60
4.3.3	KTH-sond.....	63
4.3.4	Pelarvingsond.....	64
4.3.5	Traditionell pelarsondering.....	64
4.3.6	Omvänd pelarsondering, förinstallerad (FOPS).....	64
4.3.7	Provtagning med Hollow Stem Auger.....	64
5	FÄLT- OCH LABORATORIEFÖRSÖK.....	67
5.1	FÄLTFÖRSÖK.....	67
5.1.1	Försökslokal.....	67
5.1.2	Provpelare.....	69
5.1.3	Översikt, försök utförda i fält.....	71
5.1.4	Upptagning av pelare.....	73
5.2	LABORATORIEFÖRSÖK.....	77
5.2.1	Bestämning av odränerad skjuvhållfasthet.....	77
5.2.2	Modul och brottdeformation.....	84
5.2.3	Densitet och vattenkvot.....	86
5.2.4	Bindemedelshalt.....	87
6	RESULTAT OCH DISKUSSION.....	95
6.1	HÄLTAGNING I PELARE.....	95
6.1.1	Borrning.....	95
6.1.2	Hål vid pelartillverkning.....	96
6.2	SONDERINGAR I PELARE.....	98
6.2.1	Allmänt.....	98
6.2.2	Traditionell pelarsond.....	99
6.2.3	Omvänd pelarsond, förinstallerad (FOPS).....	106
6.2.4	Pelarvingsond.....	108
6.2.5	KTH-sond.....	111
6.2.6	Minisond.....	115
6.2.7	Provtagning med Hollow Stem Auger.....	123
6.3	JÄMFÖRELSE MELLAN OMVÄND OCH TRADITIONELL PELARSONDERING.....	124
6.3.1	Omvänd och traditionell pelarsondering i samma pelare.....	124
6.3.2	Omvänd och traditionell pelarsondering i olika pelare.....	126
6.4	TRYCKFÖRSÖK PÅ PELARSEGMENT I FÄLT, INVERKAN AV PROVSKALAN.....	130
6.5	MÄTNINGAR MED FÄLTPENETROMETER.....	132
6.6	VISUELL BEDÖMNING AV BINDEMEDELSSPRIDNING.....	136

7	OMFATTNING AV KONTROLL OCH REGLER FÖR ACCEPTANS.....	143
7.1	ALLMÄNT.....	143
7.2	BEFINTLIGA RIKTLINJER FÖR KONTROLLENS OMFATTNING.....	144
7.3	BEFINTLIGA ACCEPTANSREGLER.....	148
8	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER.....	151
8.1	ALLMÄN KONTROLLFILOSOFI.....	151
8.2	FÖRSÖK I FÄLT.....	151
8.3	ÖVRIGT.....	153
9	FORTSATT ARBETE.....	155
	REFERENSER.....	157

APPENDIX I	DIMENSIONERINGSMODELL ENLIGT SVENSK PRAXIS
APPENDIX II	SAMMANFATTNING AV TILLVERKNINGSDATA, PROVPELARE
APPENDIX III	SAMBAND MELLAN CAO-HALT OCH VATTENKVOT
APPENDIX IV	SAMBAND MELLAN CAO-HALT OCH TRYCKHÅLLFASTHET
APPENDIX V	EXEMPEL PÅ FILTRERADE SIGNALER FRÅN MÄTNINGAR MED MINISOND
APPENDIX VI	EXEMPEL PÅ FREKVENSSPEKTROGRAM FRÅN MÄTNINGAR MED MINISOND
APPENDIX VII	SKJUVHÅLLFASTHET UTVÄRDERAD FRÅN MÄTNINGAR MED MINISOND
APPENDIX VII	TREAXLIGA TRYCKFÖRSÖK

SAMMANFATTNING

Djupstabilisering med kalkcementpelare har använts med framgång sedan senare delen av 1970-talet för grundläggning av såväl väg- och järnvägsbankar som broar och byggnader på lös mark.

Föreliggande licentiatavhandling utgör slutrapportering av del II i forskningsprojektet *Kontrollmetoder vid djupstabilisering med kalkcementpelare* inom Svensk Djupstabilisering. Projektet behandlar metoder för kontroll av kvalitén hos de färdiga kalkcementpelarna i fält. Syftet med avhandlingen är främst att ta fram/vidareutveckla metoder för kontroll av kalkcementpelare men även ge en översikt över de kontrollmetoder som används idag i Sverige och övriga världen.

Metoder för kontroll har successivt utvecklats från vanliga geotekniska undersökningsmetoder till speciella metoder för kalkcementpelare. Fortfarande finns dock osäkerheter när det gäller bland annat metodernas korrelation till hållfasthet. Det finns även en mängd problem som främst beror på att pelarna inte är homogena över tvärsnittet. Vidare saknas regler för acceptans och konsekventa regler för omfattning av kontroll. I avhandlingen kommer dessa frågor att diskuteras och på vissa föreslås en lösning.

Efter den inledande litteraturstudien, där bland annat pågående försök och utvecklingsarbete i övriga världen studerades, valdes fem olika metoder ut för provning i fält. Några av dessa är metoder som tagits fram/vidareutvecklats inom projektet. Ett 50-tal provpelare installerades på ett av Svensk Djupstabiliserings provfält i närheten av Arboga. Där provades de fem huvudsakliga metoderna samt ytterligare några vid två tillfällen, 30 respektive 60 dagar efter pelarinstallationen. Därefter togs 15 pelare upp hela med hjälp av ett upptagningsrör och mobilkran för att verifiera egenskaper genom provtagning, dokumentation, försök i fält m.m. I laboratorium utfördes bl.a. en- och treaxliga tryckförsök, analys av bindemedelshalt samt bestämning av vattenkvot och densitet på de upptagna proverna från pelarna.

Huvuddelen av avhandlingen behandlar erfarenheter och resultat från fält- och laboratorieförsöken och rekommendationer ges för utförande och ytterligare förbättringar. Bland annat visar försöken att sonderingar i pelare ger en god bild av hållfasthetens fördelning med djupet, om de utförs noggrant och med föreslagna förbättringar. En metod att skapa ett centrumhål i pelaren direkt vid tillverkningen föreslås vilket skulle möjliggöra val av flera sonderingsmetoder samt sondering av längre och fastare pelare. Det skulle även ge pelarna en bättre funktion tack vare förbättrad permeabilitet.

Pelarsondering med mer böjstyva (44 mm) sonderingsstänger och separat spetstrycksmätning rekommenderas. Traditionell pelarsondering fungerade bra men vid utvärdering enligt praxis, under antagande att materialet är ett kohesionsmaterial, tenderar skjuvhållfastheten att överskattas nära markytan.

Sonderingar med traditionell (KPS) och omvänd pelarsond (FOPS) i *samma* pelare visar tydligt att metoderna ger samma resultat i samma material. Däremot visar

sonderingar med traditionell och omvänd pelarsond i *olika* pelare att pelare tillverkade med FOPS inte är representativa för övriga pelare. En metod för att få dem representativa föreslås.

Resultaten från KTH-sonden visar på en tydlig koppling till pelarmaterialets skjuvhållfasthet. Sonderingsmotståndet blir jämnare och utan de höga toppar som uppkommer vid traditionell pelarsondering. Mätningar med den seismiska sonden Minisond fungerade bra praktiskt men någon överensstämmelse har inte kunnat konstateras mellan mätresultat från Minisond och laboratorieresultat eller andra sonderingsmetoder. Fysikaliska studier på materialets dynamiska egenskaper behövs innan vidare utveckling av metoden.

Variationen i bindemedelshalt över pelarnas tvärsnitt är stor vilket gör fåtalsprovning mycket riskabel oavsett om det gäller sonderingar, tryckförsök eller upptagning av pelare. Avhandlingen visar också att regler för omfattning av kontroll och acceptans av pelare är bristfälliga/saknas och bör arbetas fram. Några rekommendationer ges för allmän kontrollfilosofi där det bland annat rekommenderas att enbart verifierade egenskaper hos pelarna ska utnyttjas.