



Svensk Djupstabilisering
Swedish Deep Stabilization Research Centre

Arbetsrapport 33
2004-06

Stabilisering av sulfidjord

En litteratur- och laboratoriestudie

Mattias Andersson
Tomas Norrman

Svensk Djupstabilisering

Svensk Djupstabilisering (SD) är ett centrum för forskning och utveckling inom djupstabilisering med kalk-cementpelare. Verksamheten syftar till att initiera och bedriva en branschsamordnad forsknings- och utvecklingsverksamhet, som ger säkerhetsmässiga, funktionsmässiga och ekonomiska vinster som tillgodoser svenska intressen hos samhället och industrin. Verksamheten baseras på en FoU-plan för åren 1996 – 2004. Medlemmar är myndigheter, kalk- och cementleverantörer, entreprenörer, konsulter, forskningsinstitut och högskolor.

Verksamheten finansieras av medlemmarna samt genom anslag från Byggforskningsrådet/Formas, Svenska byggbranschens utvecklingsfond och Kommunikationsforskningsberedningen.

Svensk Djupstabilisering har sitt säte vid Statens geotekniska institut (SGI) och leds av en styrgrupp med representanter för medlemmarna.

Ytterligare upplysningar om verksamheten lämnas av SD:s projektledare Göran Holm, tel: 013–20 18 61, 070–521 09 39, fax: 013–20 19 14, e-post: goran.holm@swedgeo.se, internet: www.swedgeo.se/sd.

Swedish Deep Stabilization Research Centre

The Swedish Deep Stabilization Research Centre coordinates research and development activities in deep stabilization of soft soils with lime-cement columns. A joint research programme based on the needs stated by the authorities and the industry is being conducted during the period 1996 – 2004. Members of the Centre include authorities, lime and cement manufacturers, contractors, consultants, research institutes and universities.

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

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

Further information on the Swedish Deep Stabilization Research Centre can be obtained from the Project Manager, Mr G Holm, tel: +46 13 20 18 61, +46 70 521 09 39, fax: +46 13 20 19 14 or e-mail: goran.holm@swedgeo.se, internet: www.swedgeo.se/sd.



Svensk Djupstabilisering
Swedish Deep Stabilization Research Centre

Arbetsrapport 33
2004–06

Stabilisering av sulfidjord
En litteratur- och laboratoriestudie

Mattias Andersson
Tomas Norrman

Institutionen för Samhällsbyggnad
Avdelningen för geoteknik
Luleå tekniska universitet

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 ej av SD utan redovisade resultat och framförda åsikter är författarens. Redovisningarna är arbetsrapporter inom SD. Även delredovisningar av FoU-projekt inom SD sker i SD:s arbetsrapportserie. Rapporter i SD:s arbetsrapportserie skall endast användas internt inom SD och ej spridas utanför SD.

I föreliggande arbetsrapport redovisas en litteratur- och laboratoriestudie som är en del av ett forskningsprojekt avseende stabilisering av sulfidjord. Detta forskningsprojekt berör SD:s forskningsområden Stabiliserad jords egenskaper och Utförande av stabilisering.

Linköping i juni 2004

Göran Holm
Projektledare för SD

Arbetsrapport

Beställning
(endast för
medlemmar av SD)

Svensk Djupstabilisering
c/o Statens geotekniska institut
581 93 Linköping

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

Förord

Detta examensarbete är en del av ett forskningsprojekt som behandlar ämnet stabilisering av sulfidjord. Medverkande i projektet är Ramböll (tidigare Scandiaconsult), Luleå tekniska universitet (där bl.a. två examensarbeten utförs), Statens geotekniska institut (SGI) och Hercules. Övriga aktörer och finansiärer är Banverket, Vägverket, Svenska byggbranschens utvecklingsfond (SBUF), Botniabanan AB, Svensk djupstabilisering, Cementa, Nordkalk samt Svenska energiaskor AB.

I examensarbetet har en inventering genomförts avseende tidigare utförda svenska stabiliseringsprojekt i sulfidjord, samt en laborativ del där sulfidjord från en lokal längs Botniabananans planerade sträckning strax söder om Umeå har undersökts. Målet med examensarbetet har varit att finna ett eller flera stabiliseringsmedel som fungerar bra i sulfidjord. Baserat på erhållna resultat och erfarenheter i detta examensarbete skall pelare tillverkas i fält inom forskningsprojektet, men fältförsöken ligger utanför det här examensarbetets ramar.

Examensarbetet ingår i civilingenjörsutbildningen med inriktning mot Väg- och vattenbyggnadsteknik vid Luleå tekniska universitet och har utförts vid avdelningen för geoteknik.

Ett stort tack riktas till handledarna Bo Westerberg (även examinator), LTU, och Yvonne Rogbeck, SGI (tidigare Ramböll), för deras intresse och engagemang under arbetets gång.

Vi vill tacka Kerstin Pousette, LTU, för hjälp med planering av laboratorieförsöken och diskussion av resultaten. Josef Mácsik, Ramböll, har varit till stor hjälp vid diskussionerna angående markkemin. Thomas Forsberg, LTU, skall tackas för god assistans vid laboratorieförsöken.

Vidare vill vi tacka hela forskningsprojektets projekt- och referensgrupp för intressanta kommentarer och resonemang vid möten och redovisningar.

Luleå, april 2004



Mattias Anderson



Tomas Norrman

Sammanfattning

Detta examensarbete utgör den första, laborativa, delen av ett forskningsprojekt där stabilisering av sulfidjord undersöks. Syftet med arbetet var att undersöka vilken eller vilka bindemedelskombinationer respektive inblandningsmängder som är lämpligast för stabilisering av sulfidhaltiga jordar. Målet med studien är att genom laboratieförsök finna ett eller flera bindemedel som ger en tillfredsställande stabiliseringseffekt.

Resultat från tidigare utförda stabiliseringsprojekt i sulfidjord har sammanställts och utvärderats och legat till grund för den laboratiestudie som genomförts. Laboratiestudien omfattar en inblandningsserie där jord från fyra djup från samma provlokal använts. Laboratieförsöken har genomförts hösten-vintern 2003-2004 och den skall följas av stabilisering i fält i forskningsprojektets senare del.

Laboratieförsök har utförts i syfte att bestämma den naturliga jordens geotekniska och markkemiska egenskaper. Inblandningsförsök har genomförts genom att tillverka provkroppar av stabiliseringsmedel och jord. Enaxiella tryckförsök har därefter utförts för att undersöka provens hållfasthetsegenskaper.

Den studerade sulfidjorden är hämtad från en provlokal belägen längs Botniabanans planerade dragning i Stöcke, strax söder om Umeå. Området ligger inom sulfidjordsbältet i Sverige som sträcker sig längs norrlandskusten, från Gävle i söder till Haparanda i norr.

Den undersökta sulfidjorden, mellan djupen 2,5-5 m, har indelats i olika typer utifrån karakteriseringsmodell enligt Mácsik (2000). Detta som en del i arbetet att tydliggöra variationen med djupet av sulfidjordens egenskaper. I studien kunde fyra typer av sulfidjord identifieras, där

den mest sulfidrika jorden hittades på djupet 3,5 m. Djupen 3,5 m och 4 m är de av störst intresse eftersom dessa innehåller mest svavel och är således de i studien mest undersökta m.a.p. egenskaper och inblandningsförsök.

Erfarenheter från tidigare projekt visar ofta på dålig stabiliseringseffekt för traditionella bindemedel som kalk/cement. Nya kombinationer med bl.a. masugnsslagg, gips och flygaska blandat med cement ger som regel bättre hållfasthet vid stabilisering i sulfidjord. De bindemedel som har undersökts vid inblandningsförsöken i denna studie är olika blandningar av cement, kalk, gips, merit och aska.

Vid försöken undersöktes 11 bindemedelskombinationer med inblandningsmängder 100, 150, 175, 200 eller 250 kg/m³. Resultaten visar att hållfasthetstillväxten påverkas av lagringstid, bindemedlets sammansättning och inblandningsmängd.

De enaxiella tryckförsöken utförda på de stabiliserade proven visar att jord från djupen 3,5 m och 4 m ger lägst hållfasthet medan prov från djupen 2,5-3 m och 5 m uppvisar en hög hållfasthet. Av de bindemedel som undersökts ger kalk/cement/gips (KCG), i lika delar (33 %), det jämnaste resultatet genom jordprofilen, dvs. minsta variationen av hållfasthet med djupet. Flera andra bindemedelsblandningar gav på vissa djup högre hållfasthet, men större variation med djupet.

På det mest svårstabiliserade djupet 3,5 m ger KCG 33 % en maximal tryckspänning ungefär mellan 200-400 kPa där inblandningsmängden är mellan 150-250 kg/m³, vilket i jämförelse med de övriga bindemedlen är en hög hållfasthet. Hållfastheten för KCG 33 % på djup 3,5 m ökar kraftigt med tiden. 90-dygnsproven med en inblandningsmängd på 150 kg/m³ ger ungefär 3 gånger så hög tryckhållfasthet, drygt 600 kPa, jämfört med 28-dygnsproven med motsvarande inblandningsmängd för djup 3,5 m.

Enbart cement och blandningarna av cement/merit med inblandningsmängd 150 kg/m³, var de bindemedel som gav störst stabiliseringseffekt på djup 2,5-3 m. Cement/aska 50/50, som ej undersökts i lika stor omfattning som KCG 33 % utan enbart på djupen 3,5 m och 4 m, ger relativt hög hållfasthet. Kalk/cement 50/50 och kalk/cement/merit (33 %) ger överlag lägst hållfasthet.

Examensarbetet visar, genom utförda laboratieförsök, att det med rätt val av bindemedel och inblandningsmängd, finns möjligheter att kunna uppnå bra stabiliseringseffekt i sulfidjord.

Abstract

This master thesis work constitutes the first, and the laboratory part, of a project regarding stabilisation of sulphide soils. The purpose of the study was to investigate which mixtures of binders those are most suitable for stabilisation of sulphide soils. The aim of the study is to find one or more mixtures with satisfying stabilisation effect.

Results from previous performed projects regarding stabilisation of sulphide soils has been summarised and evaluated, and have been a basis for the laboratory study carried out. The laboratory study includes a serie of mixtures where soil from four depths from the same site has been used. The laboratory study has been carried out during the autumn-winter 2003-2004 and will be followed by a field study later in the project.

Laboratory tests have been performed in order to determine the geotechnical properties as well as chemical properties of the natural soil. Mixtures have been conducted by making samples of binders and soil. Uniaxial compression tests have been conducted on the samples to determine compression strength and stress-strain behaviour.

The soil that has been studied is from a site in Stöcke, located south of the city of Umeå in the northern Sweden, along the future rail road Botniabanan. The site area is within the zone of sulphide soil in Sweden along the east coast of the northern Sweden.

The samples of sulphide soil taken from 2,5-5 m depth, have been classified into different types according to a characterising model by Mácsik (2000). This as a part of the work to clarify the variation, with the dept, of the geotechnical properties of the sulphide soil. In the study, four types of sulphide soils could be identified, where the soil containing

most of sulphide was found at 3,5 m depth. The depths 3,5 m and 4 m are the ones of most interest since they have the highest content of sulphur. These depths are thus the most examined regarding geotechnical properties and number of mixtures.

Experiences from earlier projects often show bad stabilising effect for traditionally mixtures of binders such as lime/cement. New combinations with merit (grinded air blast furnace slag), gypsum and fly ash among others, mixed with cement, often give a better strength in stabilisation of sulphide soils. The binders that have been examined in this study are different mixtures of cement, lime, gypsum, merit and fly ash.

In the study, eleven mixtures of binders with an amount of 100, 150, 175, 200 or 250 kg/m³ have been added to the soil and examined. The results show that the compression strength is affected by the mixture of binders, curing time of the sample and the amount of the binders.

The uniaxial compression tests performed on the stabilised samples show that soil from 3,5 m and 4 m depth give the lowest compression strengths while samples from 2,5-3 m and 5 m show a high compression strength. Of the binders examined, lime/cement/gypsum (KCG), in equal parts (33%), gives the most uniform results down along the soil profile, i.e. the smallest variation of compression strength between the different depths. Some other mixtures of binders gave higher compression strength at some depths but larger differences between the depths.

At the depth 3,5 m which where the most difficult depth to stabilise, KCG 33% gives a maximum compression strength between 200-400 kPa, where the amount of the mixture is between 150-250 kg/m³, which is a high strength compared to the other mixtures of binders. The compression strength for KCG 33% at 3,5 m depth is strongly increasing with the curing time. After 90 days of curing time and an amount of 150 kg/m³ the compression strength is about three times higher, just over 600 kPa, than after a curing time of 28 days with the corresponding amount of the binder.

Only cement and the mixtures of cement/merit with the amount of binder 150 kg/m³, were the binders that gave the highest stabilizing effect at the depth 2,5-3 m. Cement/fly ash 50/50, which where not examined the same extent as KCG 33%, and only at 3,5 m and 4 m depths, gives relatively high strength. Lime/cement 50/50 and

lime/cement/merit (33%) in most tests give the lowest compression strength.

This master thesis work shows, by the laboratory study carried out, that it is possible to achieve a good stabilisation effect in sulphide soil if a suitable mixture and amount of binders is chosen.

Innehållsförteckning

FÖRORD	III	
SAMMANFATTNING.....	V	
ABSTRACT	VII	
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	XI	
1	INLEDNING	1
1.1	Bakgrund	1
1.1.1	Allmänt	1
1.1.2	Stabilisering i sulfidjord-fullskaleförsök	2
1.2	Projektbeskrivning	2
1.2.1	Mål och syfte.....	2
1.2.2	Metod.....	3
1.2.3	Avgränsning.....	3
2	INVENTERING	5
2.1	Inledning	5
2.2	Bioenergianläggning - Luleå.....	6
2.2.1	Projektbeskrivning	6
2.2.2	Jordtyp	6
2.2.3	Bindemedel.....	6

2.2.4	Resultat	6
2.3	Sunderbyn	7
2.3.1	Projektbeskrivning	7
2.3.2	Jordtyp	7
2.3.3	Bindemedel	8
2.3.4	Resultat	8
2.4	Örnsköldsvik-Husum	9
2.4.1	Projektbeskrivning	9
2.4.2	Jordtyp	9
2.4.3	Bindemedel	9
2.4.4	Resultat	10
2.5	Norråla	11
2.5.1	Projektbeskrivning	11
2.5.2	Jordtyp	11
2.5.3	Bindemedel	11
2.5.4	Resultat	11
2.6	Uppsala	12
2.6.1	Projektbeskrivning	12
2.6.2	Jordtyp	12
2.6.3	Bindemedel	12
2.6.4	Resultat	12
2.7	Arboga	13
2.7.1	Projektbeskrivning	13
2.7.2	Jordtyp	13
2.7.3	Bindemedel	13
2.7.4	Resultat	14
2.8	Arboga - spont	15
2.8.1	Projektbeskrivning	15
2.8.2	Jordtyp	15
2.8.3	Bindemedel	15
2.8.4	Resultat	15
2.9	Askersund	16
2.9.1	Projektbeskrivning	16
2.9.2	Jordtyp	16
2.9.3	Bindemedel	17
2.9.4	Resultat	17
2.10	Bettna-Flen	18
2.10.1	Projektbeskrivning	18
2.10.2	Jordtyp	18
2.10.3	Bindemedel	19
2.10.4	Resultat	19

3	SULFIDJORD	21
3.1	Inledning	21
3.2	Bildningssätt	22
3.3	Markkemi	22
3.4	Oxidation av sulfidjord	23
3.5	Problem med sulfidjord	24
3.6	Kemiska processer mellan kalk/cement och jord	25
3.7	Karakterisering	26
4	PROVLOKAL	27
4.1	Inledning	27
4.2	Områdesbeskrivning	28
4.3	Provtagningsområdet	29
5	LABORATORIEFÖRSÖK	37
5.1	Inledning	37
5.2	Rutinundersökningar och CRS-försök	37
5.2.1	Utförande	37
5.2.2	Omfattning	38
5.3	Metallanalys	38
5.3.1	Utförande	38
5.3.2	Omfattning	38
5.4	Sedimentationsanalys	39
5.4.1	Utförande	39
5.4.2	Försöksförfarande	39
5.4.3	Omfattning	41
5.5	Lakförsök för bestämning av redox, pH och konduktivitet ..	41
5.5.1	Beskrivning	41
5.5.2	Metodik	41
5.6	Stabiliseringsförsök	42
5.6.1	Utförande	42
5.6.2	Försöksförfarande	42
5.6.3	Dokumentation	46
5.6.4	Lagringsförhållanden	46
5.6.5	Omfattning	46
5.6.6	Bindemedel	48
5.7	Enaxiellt tryckförsök	48
5.7.1	Utförande	48
5.7.2	Försöksförfarande	48
5.7.3	Dokumentation	49

5.7.4	Utvärdering.....	49
6	RESULTAT.....	51
6.1	Allmänt	51
6.2	Rutinundersökningar	52
6.3	CRS-försök.....	55
6.4	Metallanalys	55
6.5	Sedimentationsförsök	56
6.6	Lakförsök för bestämning av redox, pH och konduktivitet...	61
6.7	Karakterisering.....	64
6.7.1	Sammanställning	64
6.7.2	Bedömning av sulfidjord	64
6.8	Enaxiella tryckförsök.....	66
6.8.1	Inledning.....	66
6.8.2	Maximal tryckspänning för varje djup och prov	67
6.8.3	Maximal tryckspänning som funktion av djupet för varje blandning	70
6.8.4	Last - deformationssamband för varje blandning	73
7	DISKUSSION	91
7.1	Inledning	91
7.2	Inventering	91
7.3	Rutinundersökningar	93
7.4	Inblandningsprocess	93
7.5	Enaxiella tryckförsök.....	94
7.6	Last- deformationssamband	95
7.7	Kemiska egenskaper och reaktioner	96
7.8	Framtida forskning.....	96
8	SLUTSATSER.....	99
	REFERENSER	101

BILAGA 1	Sammanställning av resultat från inventeringen i tabellform
BILAGA 2	Sammanställning av resultat från tryckförsöken i tabellform, etapp 1-3
BILAGA 3	Sammanställning av resultat från tryckförsöken, kommentarer, vattenkvoter mm, etapp 1-3
BILAGA 4	Sammanställning av resultat från rutinundersökningar
BILAGA 5	Metallanalys av samtliga ämnen i den naturliga jorden
BILAGA 6	Innehållsdeklaration för samtliga bindemedel

1 Inledning

1.1 Bakgrund

1.1.1 Allmänt

Sulfidjord har under lång tid ansetts som en problemjord inom geotekniken. Under de senaste åren har intresset för sulfidjord och dess geotekniska och markkemiska egenskaper ökat. Möjligheten till ett tekniskt, miljömässigt och ekonomiskt förbättrat byggande i sulfidjord kräver ökad kunskap och förståelse.

Med tanke på sulfidjords egenskaper och beteende vid syrekontakt, dvs. den oxidering som sker, är det ur miljösynpunkt värdefullt om urgrävning kan undvikas och jorden istället exempelvis kan stabiliseras. Vid urgrävning och luftkontakt reagerar sulfidjorden med syre varvid järnmonosulfid och pyrit oxideras. Resultatet av detta är frigörelse av sulfater, järnjoner och andra metalljoner med pH-sänkning som följd. Sulfidjorden måste således deponeras anaerobt under vattenmättat tillstånd för att bl.a. undvika förurningsrisk vilket även medför en ekonomisk aspekt på sulfidjordshanteringen.

Stabilisering av sulfidjord (lera) med kalk-/cementpelare har visat sig vara mer problematiskt än stabilisering av normala ickeorganiska svenska leror. I de projekt där metoden använts har resultatet varit varierande. Jämförelser mellan försök i laboratorium respektive i fält har oftast pekat på en lägre hållfasthet i fält. Förklaring av de ofta dåliga stabiliseringseffekterna, främst i fält, har varit svårt att finna. Kanske är det så att de bindemedel som har använts och fungerat på normala leror ej lämpar sig för sulfidjord. Nya blandningar m.a.p. proportioner,

bindemedelstyp, ökad mängd samt ökat blandningsarbete kan vara lösningar för att få tillfredsställande stabiliseringsresultat.

1.1.2 Stabilisering i sulfidjord-fullskaleförsök

I januari 2003 startade forskningsprojektet "Stabilisering i sulfidjord-fullskaleförsök". Medverkande i projektet är Ramböll (tidigare Scandiaconsult), Luleå tekniska universitet (där bl.a. två examensarbeten utförs), Statens geotekniska institut (SGI) och Hercules. Övriga aktörer och finansiärer är Banverket, Vägverket, Svenska byggbranschens utvecklingsfond (SBUF), Botniabanan AB, Svensk djupstabilisering, Cementa, Nordkalk samt Svenska energiaskor AB. Projektet omfattar en inventering av hittills utförda projekt i Sverige, karakterisering av sulfidjord och laboratorie- respektive fältundersökningar. Dessutom belyses problemet från ett kemiskt perspektiv. Syftet med projektet är att visa huruvida stabilisering av sulfidjord är en miljömässig och kostnadseffektiv metod samt ge rekommendationer för framtida användande inom väg- och järnvägsprojekt. Vid byggandet av Botniabanan kan stabilisering med K/C-pelare vara ett intressant alternativ för jordförstärkning där planerade sträckor går över sulfidhaltiga jordar

1.2 Projektbeskrivning

Föreliggande examensarbete behandlar den laborativa delen av sulfidjordsprojektet. Inledningsvis görs en inventering av hittills utförda projekt i Sverige inom området stabilisering av sulfidjord, i huvudsyfte att kartlägga under vilka förhållanden stabiliseringsresultatet blivit lyckade respektive under förväntan. Denna inventering kommer att ligga till grund för laborariestudien och ingår som en del i litteraturstudien. Laborariestudien omfattar rutinundersökningar för karakterisering av aktuella sulfidjordstyper samt inblandningsförsök där olika typer och mängder av bindemedel används varefter hållfasthetstillväxten studeras med enaxiella tryckförsök.

1.2.1 Mål och syfte

Huvudsyftet med examensarbetet är att genom laboratieförsök studera stabiliseringseffekten hos olika typer av sulfidjord för olika tillförda blandningar och mängder av bindemedel. Jord hämtas från provlokal belägen längs Botniabanans framtida dragning strax söder om Umeå. Karakterisering av jordprov från olika djup utförs enligt metod framtagen av Mácsik (2000). Inblandnings- och enaxiella tryckförsök genomförs och eventuella samband mellan jordtyp, bindemedel och

stabiliseringseffekt utreds. Målet med studien är att finna ett eller flera bindemedel som ger en tillfredsställande stabiliseringseffekt.

1.2.2 Metod

Arbetet genomförs genom litteraturstudie, provtagning i fält och laboratoriestudie. I litteraturstudien ingår en inventering av projekt där stabilisering av sulfidjord förekommit. Jämförelser har vid förekommande fall gjorts mellan laboratorie- och fältförsök. Vidare har sulfidjord studerats för att få en djupare förståelse för dess egenskaper och beteende. Fältarbetet omfattar sondering och kolvprovtagning för senare bestämning i laboratoriet av jordtyp samt tillverkning av inblandningsprov. Laboratoriestudien består av undersökningar för att bestämma jordtyper och egenskaper vid olika djup. Sedan genomförs stabiliseringsförsök där olika typer, kombinationer och mängder av bindemedel blandas med jorden. Hållfastheten hos provkropparna som tillverkas testas med enaxiellt tryckförsök.

1.2.3 Avgränsning

Examensarbetets omfattning begränsas till litteraturstudie, provtagning i fält och laboratoriestudie.

Litteraturstudien omfattar inventering av tidigare utförda projekt inom stabilisering av sulfidjord samt studier angående sulfidjords egenskaper och beteende. Omfattningen av laboratorieundersökningen begränsas till rutinundersökningar, lakförsök, metallanalys och sedimentationsanalys för den naturliga jorden. På den resterande jordvolymen genomförs inblandningsförsök. Rutinundersökningar utfördes enligt svensk standard (SS). Inblandningsprocessen följer rekommendationer enligt Carlsten (2000) och provkropparna testas med enaxiella tryckförsök enligt svensk standard SS 02 71 28.

2 Inventering

2.1 Inledning

Under sensommaren 2003 sammanställdes resultat från tidigare utförda projekt i Sverige där stabilisering av sulfidjord förekommit. Tanken med detta var att tydliggöra resultat från inblandningsförsök i laboratoriet och jämföra med uppnådda resultat i fält, vid samma typ av jord. Detta var möjligt för några av dessa projekt, dock ej för alla då endast laboratorieresultat finns tillgängliga för vissa projekt. Resultaten från denna inventering presenterades under ett projektmöte i forskningsprojektet i september 2003 som underlag för kommande inblandningsförsök. I figur 2-1 visas lokaliseringen för de aktuella projekten.



Figur 2-1 Lokalisering av projekt ingående i inventeringen.

2.2 Bioenergianläggning - Luleå

2.2.1 Projektbeskrivning

En anläggning för biobränsle uppfördes i Aronstorp (Luleå) 1997. Undergrunden för anläggningen förstärktes med kalk-/cementpelare och i samband med detta genomfördes en studie. Syftet var att undersöka om K/C-pelare var ett bra grundförstärkningsalternativ. Både laboratorieundersökningar och fältförsök genomfördes. Resultaten från projektet är hämtade ur en sammanställning, Torstensson (1999).

2.2.2 Jordtyp

Översta lagret av jordprofilen mellan 0-2 m djup utgjordes av inspolade muddermassor bestående av siltig lera. Därunder fanns naturligt avlagrad sulfidlera. Muddermassorna hade en mycket låg organisk halt och en vattenkvot på ungefär 100 %. Sulfidleran hade en något högre organisk halt, upp till drygt 5 %, och en vattenkvot på ca 70 %. För mer detaljerad information om jordtyperna se bilaga 1.

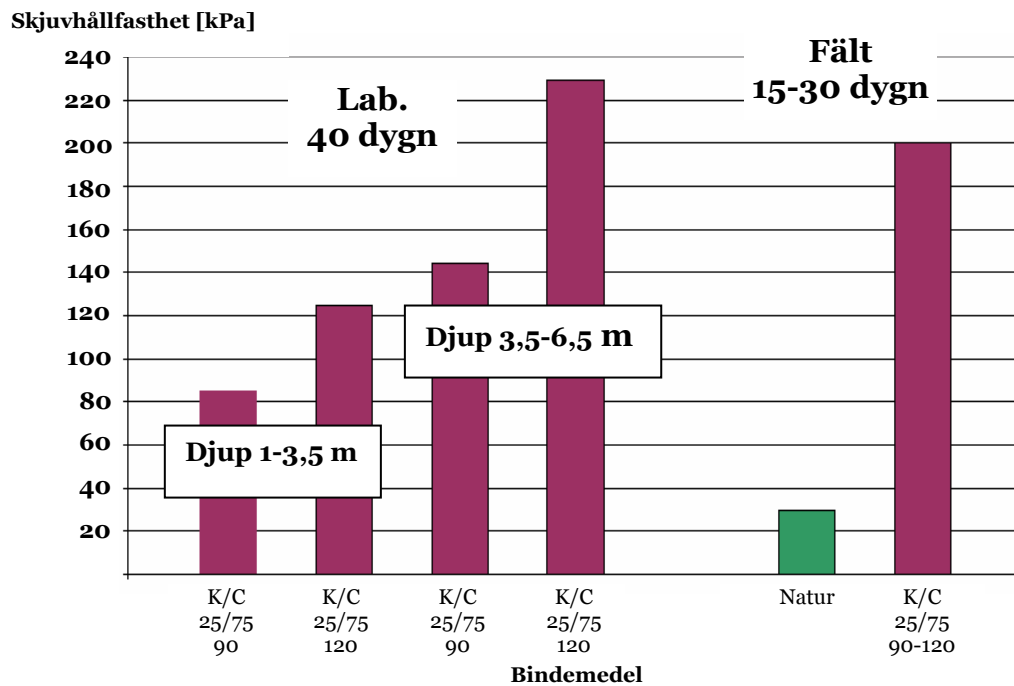
2.2.3 Bindemedel

Bindemedlen som användes var kalk/cement 25/75 med inblandningsmängderna 90 kg/m³ samt 120 kg/m³. Mängden bindemedel var den samma i laboratorie- och fältförsök. Laboratieförsöken omfattade fyra olika provblandningar, två stycken på vardera jordtyp. Vid fältförsöken installerades K/C-pelare med en diameter på 0,8 m och totala mängden uppgick till ungefär 10 000 m.

2.2.4 Resultat

För inblandningsförsöken utfördes enaxiella tryckförsök efter lagringstiderna 6, 40 och 134 dygn för varje bindemedelstyp respektive mängd. Resultaten visar att med tiden fås en ökande hållfasthet samt att ökad mängd bindemedel också ger högre hållfasthet, framför allt under de första dygna, se bilaga 1. Stabiliseringsförsök har utförts på jord från två olika djup, 1-3,5 m och 3,5-6,5 m. Fältförsöken genomfördes med kalkpelarsond och förinstallerad omvänd pelarsond (FOPS). Anmärkningsvärt för resultaten från detta projekt är att fältförsöken uppvisade en betydligt högre hållfasthet jämfört med laboratieförsöken vid motsvarande ålder. I diagrammet i figur 2-2 visas laboratorieresultat för lagringstiden 40 dygn samt resultat från fältförsöken med en lagringstid mellan 15-30 dygn. Resultaten från fältförsöken är ett medelvärde på flertalet sonderingar, djup 0-6,5 m. Under staplarna i diagrammet anges vilket bindemedel som användes,

andel av respektive bindemedel och mängden bindemedel. T.ex. K/C = kalk/cement, 25/75 = 25 % kalk och 75 % cement och 90 = bindemedelsmängd 90 kg/m³. Stapeln "Natur" står för den naturliga jordens skjuvhållfasthet kontrollerad med kalkpelarsond.



Figur 2-2 Erhållen skjuvhållfasthet från provning i laboratoriet respektive fält, bioenergianläggning i Luleå.

2.3 Sunderbyn

2.3.1 Projektbeskrivning

Studien presenterades i en forskningsrapport, Stabilisering av sulfidjord och den utfördes av Mácsik m.fl. (1995) vid Tekniska högskolan i Luleå (numera Luleå tekniska universitet). Syftet var att undersöka om LD-slagg (se avsnitt 2.3.3), ensamt eller i kombination med andra tillsatsmedel, hade någon stabiliserande effekt på sulfidjord. Vidare undersöktes eventuell miljöpåverkan vid användandet av LD-slagg.

2.3.2 Jordtyp

Jorden som användes kom från två olika djup, upptagna i en lokal i Södra Sunderbyn (Luleå). Den var helt svart och klassades som en siltig lerig sulfidjord. Skillnaden mellan de två djupen 2,7 m respektive 3,5 m,

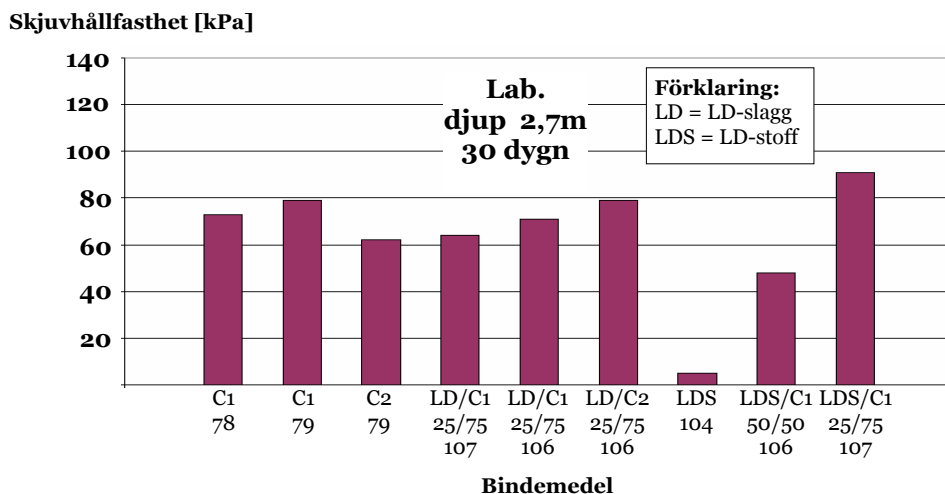
var en något högre vattenkvot och större glödningsförlust hos prover från djup 2,7 m.

2.3.3 Bindemedel

I studien användes tre typer av cement, kalk, LD-slagg samt LD-stoff. Cementtyperna är alla av sorten standard Portland och skiljer sig genom olika tillsatser av ytaktivt material i cement 2 och cement 3. Cement 3 innehåller mer ytaktivt material än cement 2 medan cement 1 inte innehåller något ytaktivt material. De båda LD-produkterna är restprodukter från SSAB (Luleå) och erhålls vid tillverkning av råstål. Innehållet i LD-slaggen liknar innehållet i Merit 5000 vilket är den slagg som använts i föreliggande studie (se kapitel 5 och 6). Exakta parametrar avseende hållfasthet och andra geotekniska parametrar redovisas i bilaga1.

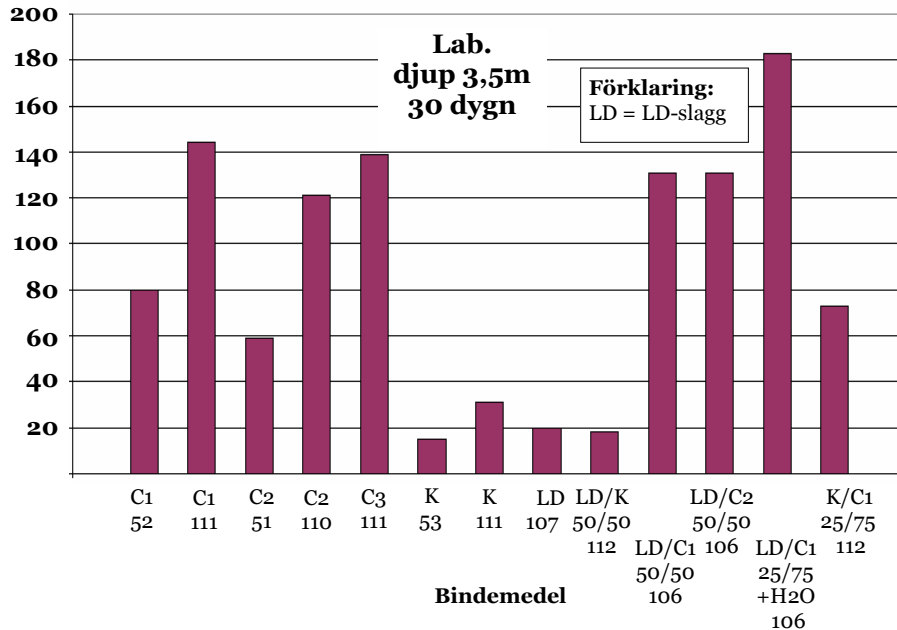
2.3.4 Resultat

Resultaten från enaxiella tryckförsök för stabiliserad jord från djupen 2,7 och 3,5 m presenteras i figur 2-3 respektive 2-4. Under staplarna i diagrammet anges vilket bindemedel som användes, andel av respektive bindemedel och mängden bindemedel. T.ex. K/C1 = kalk/cement 1, 25/75 = 25 % kalk och 75 % cement 1 och 112 = bindemedelsmängd 112 kg/m³.



Figur 2-3 Erhållen skjuvhållfasthet från provning i laboratoriet, Sunderbyn nivå 2,7 m.

Skjuvhållfasthet [kPa]



Figur 2-4 Erhållen skjuvhållfasthet från provning i laboratoriet, Sunderbyn nivå 3,5 m.

2.4 Örnsköldsvik-Husum

2.4.1 Projektbeskrivning

Denna studie utfördes av Holm och Moritz (1998). Projektet rörde en delsträcka av Botniabanan mellan Örnsköldsvik och Husum. Resultaten som är sammanställda i denna rapport kommer från sektionerna 19+200 och 19+250, där sulfidhalten bedömdes vara högre och de flesta inblandningsförsöken är gjorda.

2.4.2 Jordtyp

Provlokalen var belägen på åkermark där översta jordlagret består av ca 1 m gyttjig siltig lera. Därunder finns gråsvart sulfidlera med en varierande mäktighet på 3-8 m. Detaljerad information finns i bilaga 1.

2.4.3 Bindemedel

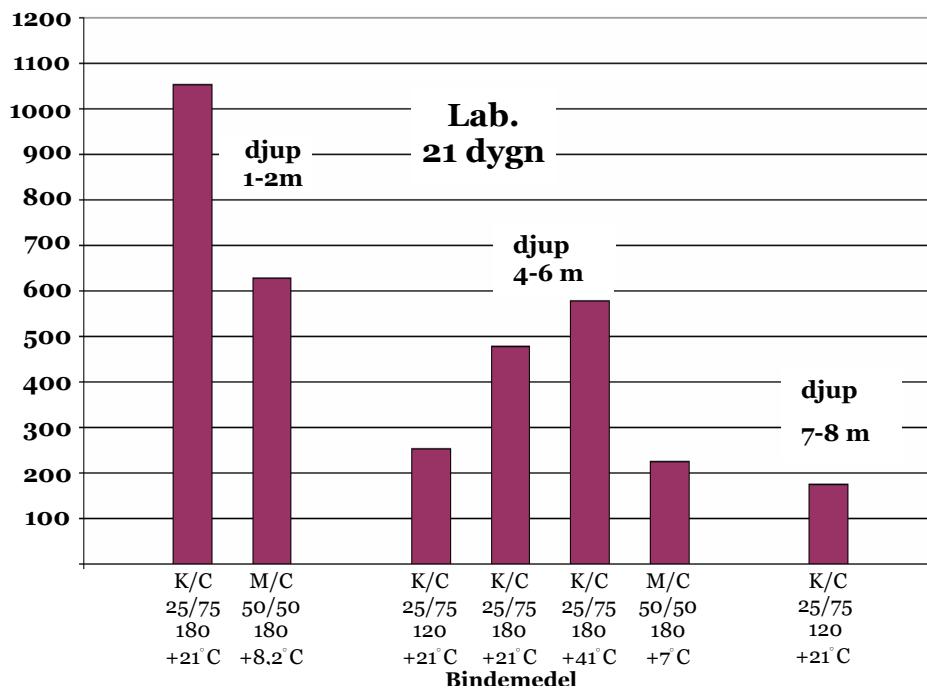
De bindemedel som användes var kalk/cement 25/75 samt merit/cement 50/50. Inblandningsmängderna som testades var 120 kg/m³ samt 180 kg/m³ och de användes för båda bindemedlen. Noterbart är att lagringstemperaturen skilde mellan bindemedlen. Kalk-

blandningarna lagrades i +21°C respektive +41°C medan meritblandningarna lagrades i +7°C. Motivet till detta sägs vara att temperaturen i pelare skiljer sig. Hänvisning till tidigare fältstudier visar att rena kalkpelare uppnår en temperatur mellan +15-20°C de tre första månaderna. För merit-/cementpelare antas temperaturen ej överstiga +10°C. Syftet med dessa val av lagringstemperaturer var att påskynda hållfasthetstillväxten.

2.4.4 Resultat

Resultaten från inblandningsförsöken är utvärderat från enaxiella tryckförsök och presenteras i figur 2-5. Enligt Holm och Moritz (1998) var en inblandningsmängd på 120 kg/m³ av bindemedlet kalk/cement 25/75 ett lämpligt val för förstärkning. Fältstudier kom aldrig att genomföras då förstärkningsmetoden ej valdes för projektet. Under staplarna i diagrammet anges vilket bindemedel som användes, andel av respektive bindemedel, mängden bindemedel och lagringstemperatur. T.ex. K/C = kalk/cement, 25/75 = 25 % kalk och 75 % cement, 180 = bindemedelsmängd 180 kg/m³ och +21° C = lagringstemperatur 21 ° C. M/C = merit/cement.

Skjuvhållfasthet [kPa]



Figur 2-5 Erhållen skjuvhållfasthet från provning i laboratoriet, Botniabanan 19/200+19/250.

2.5 Norrala

2.5.1 Projektbeskrivning

Vid byggandet av väg E4, delen Söderhamn-Svalarna, inträffade ett skred i den K/C-pelarförstärkta jorden. Skredet inträffade i december 1997 och omfattade en sträcka på 170 m av den blivande motorvägen. En utredning utfördes för att klarlägga orsakerna till skredet, SGI (1998). Ytterligare inblandningsförsök genomfördes med samma typ respektive mängd av bindemedel som användes i projektet. Vidare utfördes enaxiellt tryckförsök på jordprov från upptagna pelare. Resultaten som sammanställts i denna rapport kommer från sektion 7/066-7/109 där både laboratorie- och fältförsök har utförts. Information till inventeringen är hämtade från Torstensson (1999) och Holm (2002).

2.5.2 Jordtyp

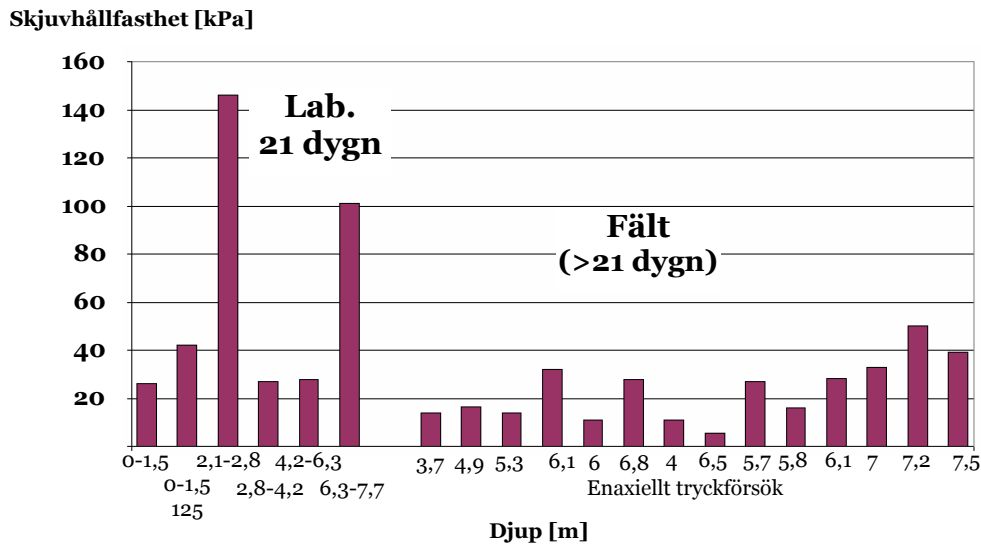
Jorden består av lösa sediment där mäktigheten varierar mellan 3-10 m inom skredområdet, sektion 7/000-7/160. De övre lagren består av gytta och gytig lera där sulfidinnehållet är ganska svagt. Under detta finns gråsvart sulfidlera som följs av morän. Skjuvhållfastheten hos den lösa jorden är låg, ca 6-8 kPa och vattenkvoten varierar mellan ca 70-140 %. För mer information se bilaga 1.

2.5.3 Bindemedel

Vid stabiliserings- och fältförsöken användes bindemedlet kalk/cement 50/50 med mängden 100 kg/m³. Vid ett av stabiliseringsförsöken användes dock inblandningsmängden 125 kg/m³.

2.5.4 Resultat

De pelare som undersökts i fält tenderar ha en fast kärna, följt av ett mellanparti med låg hållfasthet samt en fast mantelyta. Den fasta kärnan och mantelytan förklaras av en hög bindemedelsmängd i dessa områden. I pelarens längdriktning förekom dessutom en "skivig" struktur av ostabiliserad lera varvad med bindemedel. Vidare fanns klumpar med en blandning av bindemedel och ostabiliserad lös lera. Sammantaget verkar inte inblandningen i fält skett på ett tillfredsställande sätt, se figur 2-6. Inblandningsverktyget som användes vid pelarinstallationen var av typ pinnbör. Under staplarna i diagrammet anges på vilket djup stabiliseringsförsöken är utförda. Proverna från laboratorie- och fältförsök kontrollerades med enaxiella tryckförsök.



Figur 2-6 Erhållen skjuvhållfasthet från prövning i laboratoriet respektive fält, Norrala väg E4 delen Söderhamn-Svalarna 7/066-7/109.

2.6 Uppsala

2.6.1 Projektbeskrivning

I anknytning till byggandet av Bärbyleden etapp 2 togs prover upp för stabiliseringsförsök. Resultat har hämtats från Håkansson (2003).

2.6.2 Jordtyp

Inblandningsförsöken är utförda på jord mellan 2,5-10,5 m djup och jordtypen var svartgrå sulfidhaltig lera med växtdeklar. Vidare information finns i bilaga 1.

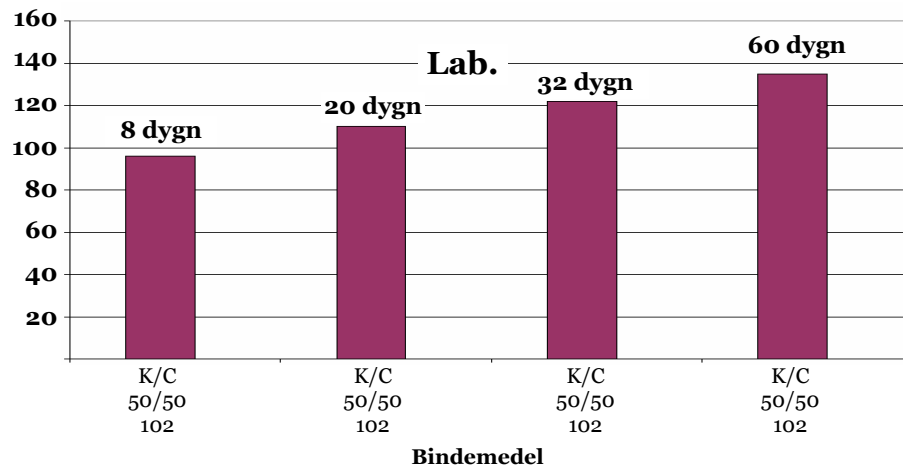
2.6.3 Bindemedel

Stabiliseringsmedlet bestod av kalk/cement 50/50 med en inblandningsmängd på 102 kg/m³. Hållfastheten undersöktes efter fyra olika lagringstider 8, 20, 32 och 60 dygn.

2.6.4 Resultat

Resultaten från enaxiella tryckförsök, visar att det sker hållfasthetstillväxt med tiden och att det ej går att avgöra om ett maxvärde har uppnåtts efter en lagringstid på 60 dygn, se figur 2-7. Under staplarna i diagrammet anges vilket bindemedel som användes, andel av respektive bindemedel och mängden bindemedel. T.ex. K/C= kalk/cement, 50/50 = 50 % kalk och 50 % cement och 102 = bindemedelsmängd 102 kg/m³.

Skjuvhållfasthet [kPa]



Figur 2-7 Erhållen skjuvhållfasthet från provning i laboratoriet, Bärbyleden, Börjegatan-Tycho Hedensväg/E4.

2.7 Arboga

2.7.1 Projektbeskrivning

Uppgifter är hämtade från bygghandlingar m.a.p. geoteknik för väg E18/E20, delen Slyte-Gräsnäs, Andersson och Carlsten (1997) samt Carlsten och Moritz (1997). Rapporten och vägdelens är uppdelad i sex delsträckor. De sträckor som är intressanta för föreliggande projekt är 33/400-37/000 respektive 40/600-43/960, där sulfidjord förekommer.

2.7.2 Jordtyp

Längs sträckan förekommer ett antal skärningar bestående av berg respektive morän. Däremellan förekommer främst gråsvart sulfidlera som emellanåt uppnår en mäktighet på 15 m. Lerans sulfidinnehåll är rikligt och i de övre delarna förekommer även organiskt material, se bilaga 1.

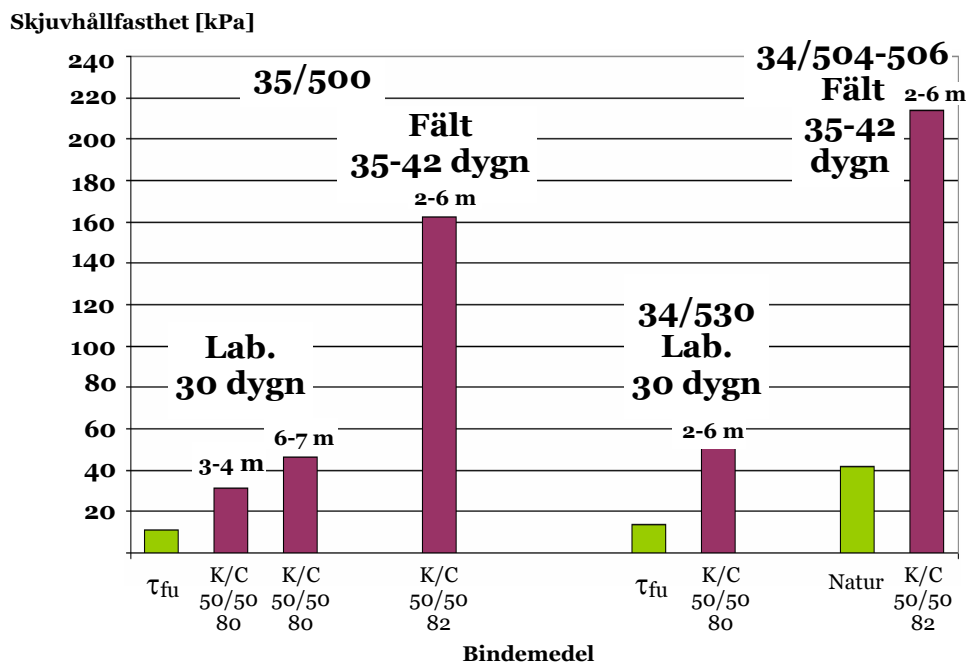
2.7.3 Bindemedel

Endast ett bindemedel användes vid inblandningsförsöken och det var kalk/cement 50/50. Tillsatsmängden var 80 kg/m³. De blandade proverna har först förvarats tio dagar i rumstemperatur för att sedan placeras i kylrum med temperatur +7°C. Noterbart är att hållfastheten

för de stabiliserade proverna bestämts med både enaxiella tryckförsök och fallkonförsök.

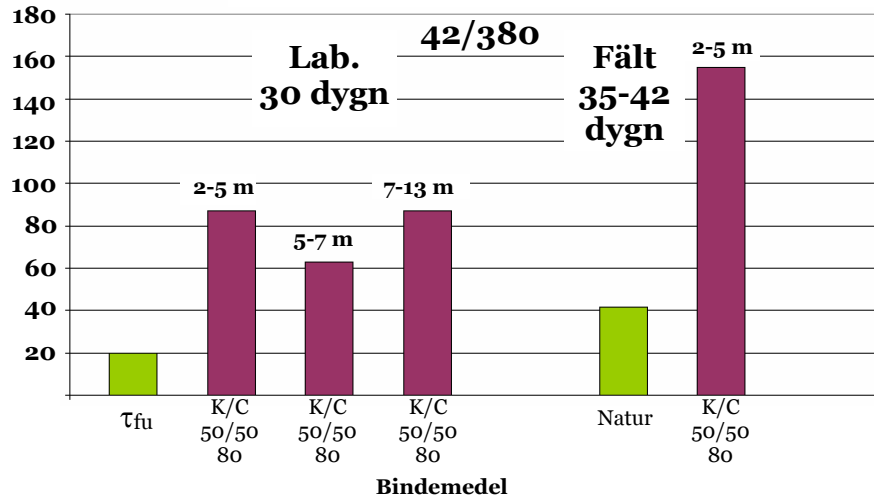
2.7.4 Resultat

Fältresultaten presenteras som ett medelvärde av utförda kontrollsonderingar med kalkpelarsond, se figur 2-8 – 2-9. Under staplarna i diagrammet anges vilket bindemedel som användes, andel av respektive bindemedel och mängden bindemedel. T.ex. K/C = kalk/cement, 50/50 = 50 % kalk och 50 % cement och 80 = bindemedelsmängd 80 kg/m³. τ_{fu} = odränerad skjuvhållfasthet för den naturliga jorden, bestämd med fallkonförsök. Hållfastheten för den stabiliserade jorden har i laboratoriet utvärderats från enaxiella tryckförsök. Stapeln "Natur" står för den naturliga jordens skjuvhållfasthet kontrollerad med kalkpelarsond.



Figur 2-8 Erhållen skjuvhållfasthet från provning i laboratoriet respektive fält, Arboga, väg E18/E20 delen Slyte-Gräsnäs, sektion 34/504-35/500. Meterangivelserna i diagrammet avser från vilket djup den stabiliserade jorden härrör.

Skjuvhållfasthet [kPa]



Figur 2-9 Erhållen skjuvhållfasthet från provning i laboratoriet respektive fält, Arboga, väg E18/E20 delen Slyte-Gräsnäs, sektion 42/380. Meterangivelserna i diagrammet avser från vilket djup den stabiliserade jorden härrör.

2.8 Arboga - spont

2.8.1 Projektbeskrivning

K/C-pelare installerades för att fungera som spont vid ett projekt i Arboga där urschaktning krävdes. Informationsmaterial är erhållet av Dannewitz (2003).

2.8.2 Jordtyp

Jordtypen var svartgrå sulfidfläckig sulfidlera, egenskaper presenteras i bilaga 1.

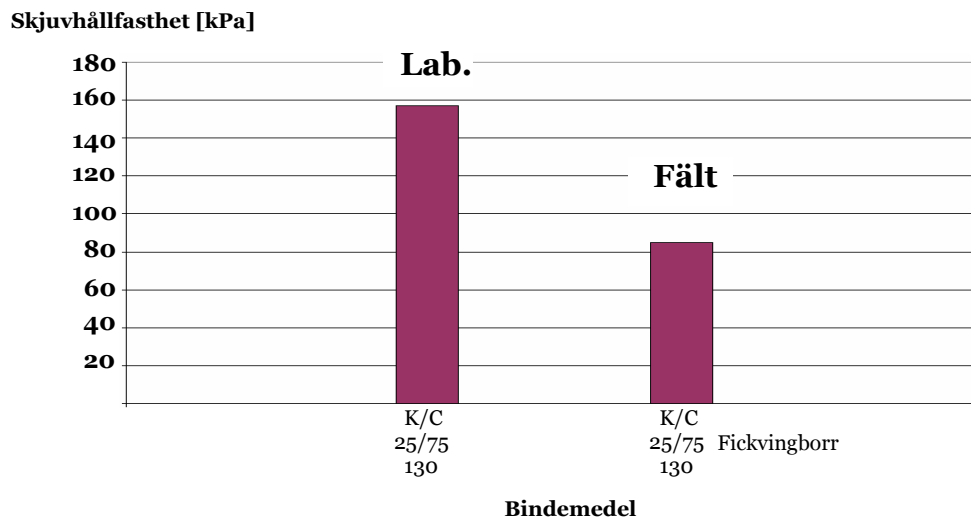
2.8.3 Bindemedel

Bindemedlet som användes var kalk/cement 25/75 med en inblandningsmängd på 130 kg/m³.

2.8.4 Resultat

Resultatet från de stabiliseringsförsök och fältförsök som är utförda presenteras i figur 2-10. Laboratieförsök är utvärderade från enaxiella tryckförsök och fältförsök kontrollerades med fickvingborr. Lagringstider är okända. Vidare har även järn och svavelhalt kontrollerats, S = 390 mg/kg och Fe = 11000 mg/kg. Under staplarna i diagrammet anges vilket bindemedel som användes, andel av respektive

bindemedel och mängden bindemedel. T.ex. K/C= kalk/cement, 25/75 = 25 % kalk och 75 % cement och 130 = bindemedelsmängd 130 kg/m³.



Figur 2-10 Erhållen skjuvhållfasthet från provning i laboratoriet respektive fält, Arboga.

2.9 Askersund

2.9.1 Projektbeskrivning

Väg 590 mellan Askersund och Åmmeberg dimensionerades för masstabilisering i kombination med pelarstabilisering. I samband med projektet genomfördes mer omfattande undersökningar i syfte att klargöra funktion och egenskaper för det stabiliserade området. Dock gav pelarstabiliseringen ej önskat resultat och funktionen av den kombinerade stabiliseringen kunde således inte utvärderas. Studien presenterades i Rogbeck (1997). Data hämtades från Viatek (1995) och J&W (1996).

2.9.2 Jordtyp

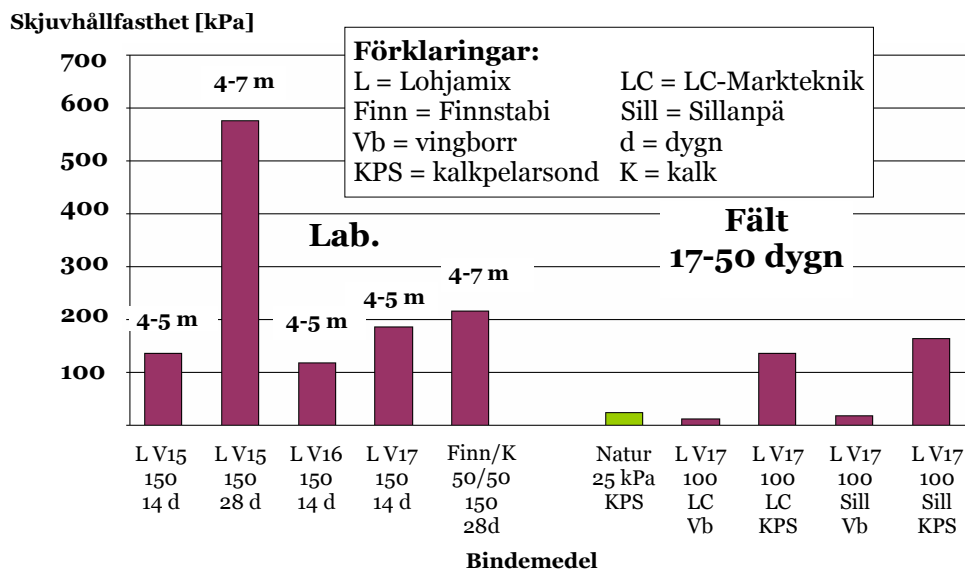
Överst finns ett lager av gyttja och torv med en tjocklek mellan 1-3,5 m. Därunder följer lera med varierande sulfidinnehåll ner till ca 15 m djup. Leran är oftast siltig och har fläckar eller tunna skikt av sulfid. Vattenkvoten varierar mellan 50-100 % och skjuvhållfastheten ligger som lägst på ca 10 kPa. Jord från två sektioner användes vid laboratorieundersökningarna, se bilaga 1.

2.9.3 Bindemedel

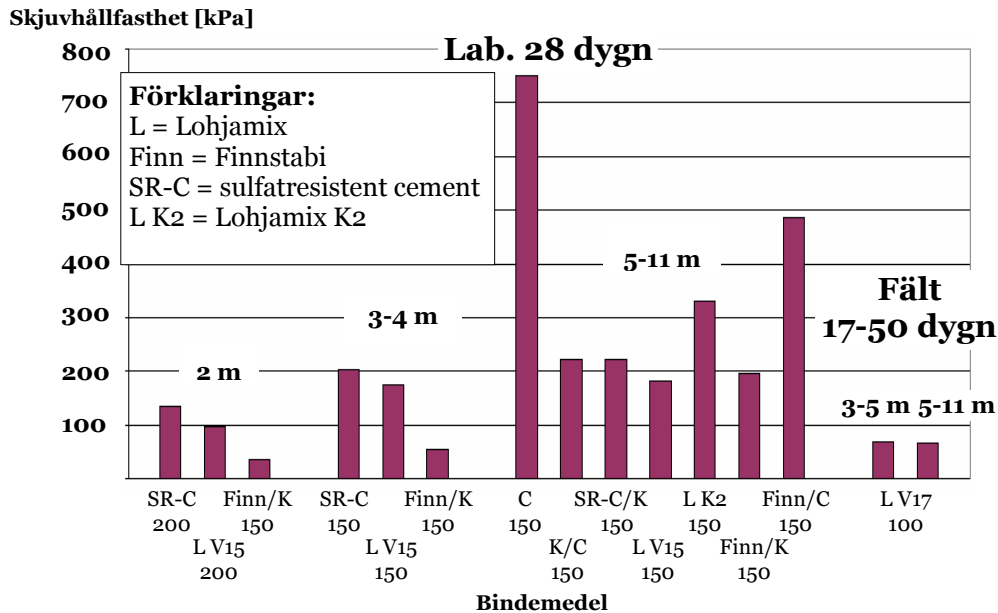
Bindemedlen som användes i laboratorium var kombinationer av cement, SR-cement, kalk samt Finnstabi. Fördelningarna framgår ej av resultaten, endast inblandningsmängd. Dessutom användes ett antal varianter av Lohjamix vilket även var det bindemedel som i huvudsak användes i fält.

2.9.4 Resultat

Fält- och laboratorieresultat presenteras i figur 2-11 och 2-12. Laboratorieresultaten är utvärderade från enaxiella tryckförsök. Fältresultaten presenteras som ett medelvärde av utförda kontroller. Vingborr och kalkpelarsond är de kontrollmetoder som tillämpats och kontrollerna utfördes av två entreprenörer. Både provmetod och utförare presenteras under staplarna i diagrammet. Under staplarna i diagrammet anges även vilket bindemedel som användes, mängden bindemedel och lagringstid. T.ex. L V15 = Lohjamix V15, 130 = bindemedelsmängd 130 kg/m³ och 14 d = Lagringstid 14 dygn. Stapeln "Natur" står för den naturliga jordens skjuvhållfasthet kontrollerad med kalkpelarsond. Uppgifter saknas angående bindemedlens fördelning i blandningarna.



Figur 2-11 Erhållen skjuvhållfasthet från provning i laboratoriet respektive fält, Askersund 0/100. Meterangivelserna i diagrammet avser från vilket djup den stabiliserade jorden härrör.



Figur 2-12 Erhållen skjuvhållfasthet från provning i laboratoriet respektive fält, Askersund 0/160, fältundersökningarna är utförda med kalkpelarsondering. Meterangivelserna i diagrammet avser från vilket djup den stabiliserade jorden härrör. Bindemedelsandelarna i blandningarna Finn/K, K/C, SR-C/K och Finn/C är 50/50.

2.10 Bettna-Flen

2.10.1 Projektbeskrivning

Vid ett vägprojekt i Bettna 1999 utfördes djupstabilisering med K/C-pelare, Hansson (1999). I samband med detta genomfördes ett forskningsprojekt med syfte att utreda stabiliseringseffekten av olika bindemedel respektive inblandningsverktyg i fält. Vid framtagningen av bygghandlingar till projektet genomfördes laboratorieundersökningar på flertalet bindemedel. Provpelare blev installerade och kontrollerade med kalkpelarsond. Resultaten visade att skillnaden i hållfasthet mellan fält och laboratorium var stor. Fält- och laboratorieresultat presenteras av Hansson (1999).

2.10.2 Jordtyp

Översta lagret av jordprofilen mellan 0-1 m djup bestod av torv. Sedan följde ett lager innehållande en blandning av gyttja, gyttjig lera och lerig gyttja, med en mäktighet på 1 m. Från 2,5 m djup ned till fast botten på

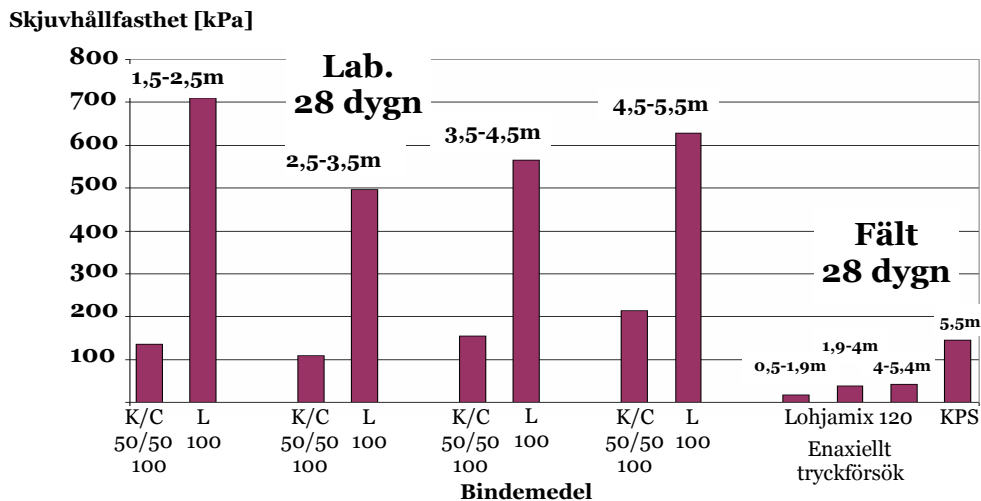
ungefär 10 m fanns ett lager med lera av varierande kvalitet, se bilaga 1. Noterbart är att det inte handlar om sulfidlera.

2.10.3 Bindemedel

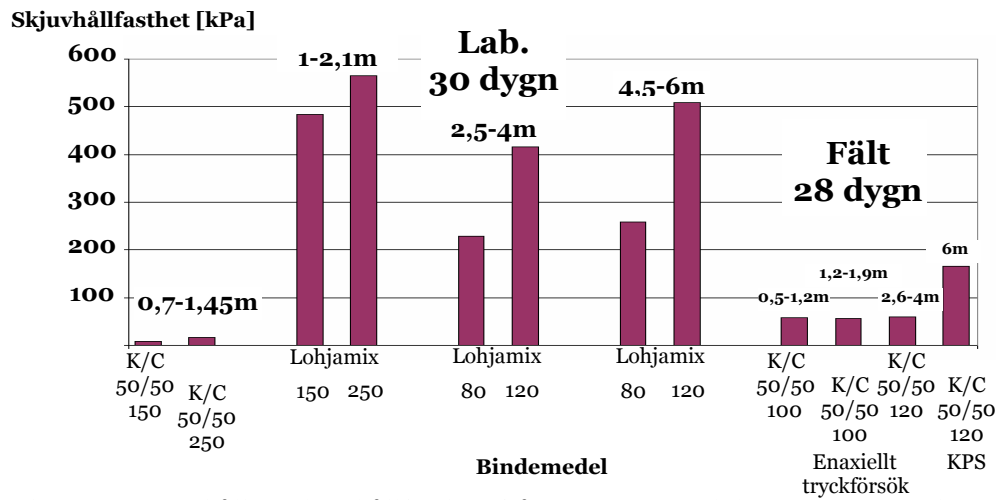
Inblandningsförsök gjordes på två olika laboratorier. I ena laboratoriet användes bindemedlen kalk/cement 50/50 och Lohjamix (består av olika typer av cement, flygaska och masugnsslagg). Bindemedelsmängden varierade mellan 80 och 250 kg/m³. Andra laboratoriet gjorde försök med samma bindemedel, kalk/cement 50/50 och Lohjamix, men med bindemedelsmängden 100 kg/m³.

2.10.4 Resultat

Utförda undersökningar i sektionerna 0/880 och 0/915 presenteras i figur 2-13 respektive 2-14. Fält och laboratorieförsök är testade med enaxiella tryckförsök. Under staplarna i diagrammet anges vilket bindemedel som användes, andel av respektive bindemedel och mängden bindemedel. T.ex. K/C = kalk/cement, 50/50 = 50 % kalk och 50 % cement och 100 = bindemedelsmängd 100 kg/m³.



Figur 2-13 Erhållen skjuvhållfasthet från provning i laboratoriet respektive fält, Bettna-Flen sektion 0/880. Meterangivelserna i diagrammet avser från vilket djup den stabiliserade jorden härrör.



Figur 2-14 Erhållen skjuvhållfasthet från provning i laboratoriet respektive fält, Bettna-Flen sektion 0/915. Meterangivelserna i diagrammet avser från vilket djup den stabiliserade jorden härrör.

3 Sulfidjord

3.1 Inledning

Sulfidjord förekommer i Sverige huvudsakligen i sediment längs Norrlandskusten, från Gävle i söder till finska gränsen i norr, Mácsik (1994). Arbeten med flera stora projekt inom sulfidjordsområden, bland annat Botniabanan, har bidragit till ett ökat forsknings- och utvecklingsbehov för hantering av sulfidjord. Detta sett ur såväl geoteknisk som miljögeoteknisk synvinkel. Sulfidjordens geotekniska och markkemiska egenskaper skiftar beroende på område och djup. Det beror på att sedimentens materialtekniska egenskaper som mineralogiska och granulometriska struktur samt organisk halt varierar. Sulfidjord är ett samlingsnamn för jordar där innehållet är enligt följande, Eriksson m.fl. (2000):

- Organisk halt <10 viktprocent TS (torr substans) jord
- Järnhalt mellan 3-5 viktprocent TS jord
- Svavelhalt mellan 0,5-2 viktprocent TS jord
- Lerhalt mellan 10-40 viktprocent TS jord
- Silthalt mellan 60-90 viktprocent TS jord
- Små mängder sand kan förekomma.

Svartmocka är en gammal benämning på sulfidjord som skapat en något felaktig bild av sulfidjordarna som en jordart. Begreppet sulfidjord är i själva verket lika omfattande som begreppet finjord. Generellt sett kan man säga att sulfidjordarna blir finkornigare ju längre norrut och desto närmare kusten man kommer, Eriksson m.fl. (2000).

Variationen i sammansättning är ett problem vid bedömningen av en sulfidjord. Sulfidjordarnas sammansättning vad gäller kornstorleksfördelning, organiskt innehåll samt jordens geotekniska egenskaper och redox- och pH-miljö är av intresse vid väg- och järnvägsbyggen där urgrävning, dränering och exempelvis stabilisering är aktuella förstärkningsmetoder, Mácsik (2000).

3.2 Bildningssätt

Sulfidjorden har bildats under sedimentations- och mikrobiella processer, som förekommit i avsnörda havsvikar med bräckt/sött vatten, med tillgång till organiskt material, järn och svavel, Mácsik (1994). Detta inträffade för ungefär 7000 år sedan då isen försvann från sydsverige och landhöjningen skar av kontakten med världshavet. I det nuvarande Bottenviksområdet uppstod då en avsnörd sötvattensjö kallad Ancylussjön, Jacobsson m.fl. (1998). Landhöjningen har sedan bidragit till att sulfidjordar förekommer i låglänta markområden och upp längs älvstränder. Eftersom det förelåg mikrobiell aktivitet blev vikarnas botten tillräckligt syrefattiga (anaeroba), för att reducera bottensedimentens sulfater till sulfider. Järnmonosulfid (FeS) bildas när ferrojärn (Fe^{2+}) i sedimenten reagerar med svavelväte (H_2S), som bildats när sulfatjoner (SO_4^{2-}) i porvattnet reducerats genom bakteriell verksamhet, Mácsik (1994). Organiskt material används som reduktionsmedel och energikälla. Den första produkten är en metastabil järnmonosulfid (FeS), som genom diagens kan bilda pyrit (FeS_2). Det är järnmonosulfiden som ger sulfidjorden dess karakteristiska svarta färg, ju högre halt desto svartare. Bildandet av pyrit beror på tillgången av organiskt material. Järnmonosulfiden och pyrit är två viktiga material som kan orsaka försurning om de tillåts oxidera, Mácsik (1994).

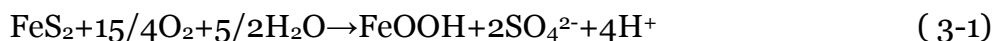
3.3 Markkemi

Huruvida en jord blir aerob eller anaerob styrs av jordens innehåll av organiskt och oorganiskt material, kornstorleksfördelningen och vattenmättnadsgraden, Mácsik (1994). Sandiga jordar är nästan alltid aeroba på grund av en låg organisk halt och en hög permeabilitet. Siltiga och leriga jordar med hög organisk halt och låg permeabilitet blir under vattenmättade förhållanden snabbt anaeroba. Järnmonosulfiden bildas under just sådana anaeroba förhållanden då det finns tillgång på järn- och sulfidjoner. Skulle sedan förhållandena i jorden ändras och jorden utsätts för oxidation kommer järn- och sulfatjoner att frigöras och tillföras porvattnet, Mácsik (1994).

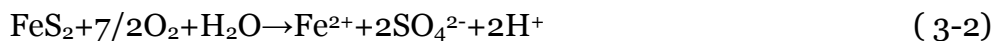
I en aerob eller anaerob sulfidjord förekommer järn mest i utfälld form. Järnjoner kan tillföras porvattnet om en aerob sulfidjord reduceras eller en anaerob sulfidjord oxideras. Anaeroba sulfidjordar har låg redoxpotential, detta medför att ferrijärn (Fe^{3+}) reduceras till ferrojärn (Fe^{2+}) och sulfat (SO_4^{2-}) till sulfid. Ferrojärnet kan sedan lagras i marken som komplexbundna och utfällda järnföreningar. Mängden komplexbundet ferrojärn är beroende av andelen fast organiskt material i jorden. I sulfidrika jordar som oftast har en låg redoxpotential kommer ferrohydroxid ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) och järnmonosulfid (FeS) att fällas ut. I en anaerob sulfidjord är pH högt och större delen av ferrojärnet (Fe^{2+}) förekommer i utfälld form som till exempel järnmonosulfid och ferrohydroxid. Järnmonosulfid är en stabil förening vid $\text{pH} > 6$ och $\text{Eh} < -100\text{mV}$, Mácsik (1994).

3.4 Oxidation av sulfidjord

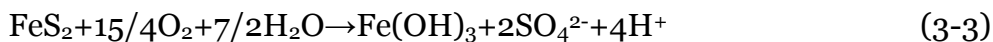
Järnsulfid är endast stabil under reducerande förhållanden. Då sulfidjord kommer i kontakt med syre oxideras järnmonosulfid och pyrit. Sulfater, järnjoner och andra metalljoner frigörs och pH-värdet i porvattnet sjunker. Oxidationen av sulfidjorden kan ske genom en sänkning av grundvattenytan och detta läge skapas ofta vid byggande i sulfidjordar, det naturliga sättet är annars genom landhöjningen. Oxidation av pyrit är den mest försurande processen i naturen, det kan ske spontant genom kemiska processer eller biologiskt med hjälp av bakterier. Den generella reaktionen vid oxidation av pyrit, ekv. 3-1, Nilsson (1998).



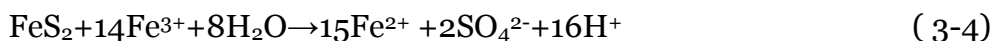
Vid låga pH-värden sker oxidationen snabbt och ferrojärn bildas, se ekv. 3-2. Reaktionen ger för varje mol pyrit (FeS_2) som oxideras två mol vätejoner (H^+).



Det kemiska oxidationssteget ger en än mer försurande effekt. Ferrijärn (Fe^{3+}) fälls ut som ferrihydroxid ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), se ekv. 3-3. Reaktionen ger för varje mol oxiderad pyrit fyra mol vätejoner.



I en aerob miljö med högt pH oxideras Fe^{2+} till Fe^{3+} väldigt fort. Skulle pH sänkas kommer reaktionen att gå långsammare, den kan då påskyndas av bakterier. Detta fall kommer att inträffa efter den kemiska oxidationen av pyrit som har medfört ett sänkt pH. Vid de låga pH-värdena kommer Fe^{3+} att förbli i lösning. När Fe^{3+} kommer i kontakt med pyrit påskyndas reaktionen av pyrit. Vid denna process blir försurningen mycket stor i porvattnet, eftersom en mol oxiderad pyrit ger sexton mol vätejoner enligt ekv. 3-4, Nilsson (1998).



Oxidation av järnmonosulfid är hälften så försurande som oxidation av pyrit. Reaktionen börjar enligt ekv. 3-5. Svavelväte (H_2S) som bildas oxideras sedan till sulfat och den processen ger 2H^+ för varje oxiderad H_2S .



Försurningsgraden i sulfidjordar vid oxidation av järnmonosulfid och pyrit beror på tillgången på de båda mineralen, tillgången på syre, oxidationshastighet, bortförsel av lösliga restprodukter och markens neutraliserande förmåga, Nilsson (1998).

3.5 Problem med sulfidjord

Oxidation av pyrit och järnmonosulfid medför att sulfat, vätejoner, järnjoner och andra metaller frigörs. De kan förorsaka skada på flera olika sätt. När pH når värdena 4-4,5 eller lägre kan flera metaller lösas, däribland aluminium. Aluminium kan tas upp av växter och skada

rotsystemet. Om aluminium skulle ta sig ut i något vattendrag kan det skada fiskar. Mycket lösta metaller i närheten av jordbruk kan leda till höga metallkoncentrationer i grödorna.

Frigörandet av järnjoner kan också skapa problem i samband med olika typer av byggnationer där dräneringsledningar förekommer. I en oxiderande sulfidjordsmiljö fälls järnjonerna snabbt ut. Den tidigare nämnda oxidationen av pyrit som leder till höga vätejonskoncentrationer och därmed ett sänkt pH gör också att järnet förblir i lösning och kan transporteras med grundvattnet. Det lösta järnet kommer att fällas ut som hydroxider i till exempel dräneringsledningar där pH är högre. Dräneringsledningarna riskerar då att bli igensatta och slutar därmed att fungera. Detta leder i sin tur till bland annat olika sorters fuktskador på hus, Mácsik (1994).

Vid anläggning av nya vägar och järnvägar är det främst sulfidjordens dåliga hållfasthets-, sättnings- och lakningsegenskaper som ställer till problem. För att undvika urgrävning av sulfidjord, som medför urlakning av sulfider och metaller samt pH-sänkningar, kan stabilisering av sulfidjord vara en potentiell jordförstärkningsmetod.

3.6 Kemiska processer mellan kalk/cement och jord

Stabiliseringsmedel av kalk består oftast av ren kalciumoxid, CaO . Cement innehåller också mycket kalcium men då i form av silikat- och aluminatmineral. Den innehåller dessutom sulfater. Reaktionen mellan dessa bindemedel och jord är något varierande. Gemensamt för bindemedlen är dock att de reagerar med vatten och bildar kalciumhydroxid, Ca(OH)_2 , pH-värdet stiger därmed kraftigt till ungefär 12-13. Kalciumhydroxiden kan genom så kallade puzzolana reaktioner reagera med vissa aluminium- och kiselhaltiga mineral, som finns i de flesta jordarter. Reaktionsprodukterna som bildas är det som ger hållfasthet i jorden. Kalken klarar att bilda mer kalciumhydroxid än vad cement gör och därmed bildar kalken också mera hållfasthetsgivande material i dessa reaktioner. Hållfastheten i cement ges istället i huvudsak av ett kalciumsilikathydrat, CSH-gel som bildas samtidigt med kalciumhydroxiden vid cementens reaktion med vatten. Gelet som bildas på cementkornens ytor gör att kornen binds samman och ger hållfasthet. Efter ungefär tre månader har normalt 90 % av cementen reagerat, kalken tar något längre tid på sig eftersom de puzzolana reaktionerna är mycket långsammare, Nilsson (1998).

Innehåll av organiska ämnen kan fördröja hållfasthetsutvecklingen på grund av att humussyror reagerar med kalciumhydroxid och bildar svårslösliga föreningar. Cement ger därför oftast bättre effekt än kalk i jordar med högt organiskt innehåll, Nilsson (1998).

Temperaturen är också en parameter som påverkar hållfasthetsutvecklingen, låg temperatur medför att hållfasthetsutvecklingen tar längre tid. Kalkinblandning medför en kraftig temperaturökning jämfört med cementen. Ökningen i temperatur gör att de puzzolana reaktionerna påskyndas. Består bindemedlet av kalk/cement så innebär det att kalkens temperaturökning också hjälper till att snabba på cementens reaktionshastighet, Nilsson (1998).

3.7 Karakterisering

Handhavande av sulfidjord på ett miljöriktigt sätt har lett till att forskningsbehovet är stort inom ämnet sulfidjord och dess miljöpåverkan. För att kunna bedöma miljöpåverkan på rätt sätt måste sulfidjorden karakteriseras utifrån jordens geotekniska och markkemiska egenskaper. En metod har utvecklats för detta ändamål, Mácsik (2000). Målet var att utveckla en metod för bestämning av en sulfidjords förurningspotential, klassificera sulfidjord och påbörja en kartläggning av sulfidjordsutbredningen längs Botniabanans sträckning. En indelning i olika "typer" av sulfidjord kan göras enligt tabell 3-1. Vid hantering av sulfidjorden är parametrar som kornstorlekssammansättning, organiskt innehåll, geotekniska egenskaper samt jordens redox- och pH-miljö av intresse. I föreliggande studie utförs karakterisering enligt denna metod. Syftet är att försöka hitta flera olika typer av sulfidjord som sedan kan relateras mot stabiliseringseffekten i laboratorie- och fältförsök.

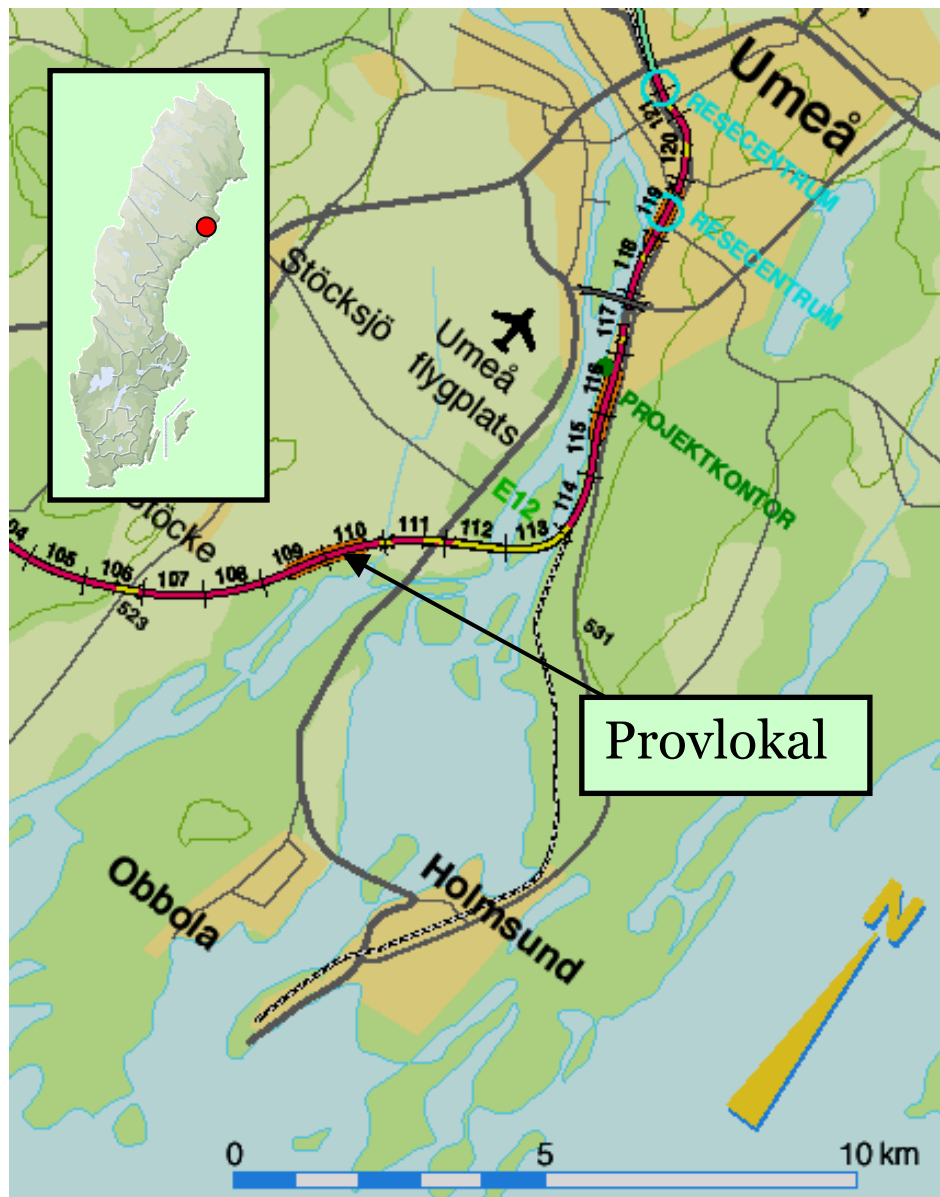
Tabell 3-1 Förutsättningar vid klassificering av olika typer av sulfidjordar enligt Mácsik (2000).

Typ	w [%]	ρ_d	S [mg/kg TS]	Fe/S	Eh [mV]	pH	Förurningspotential/ Förurningshastighet
1	65 - 120	1,4 - 1,6	> 9000	3 - 3,5	< 0	> 6	hög/långsam
2	48 - 70	1,6 - 1,72	6000 - 9000	3,8 (3,5- 4)	0 - 500	3 - 6	hög/långsam
3	40 - 55	1,8	3800 - 6000	4 - 4,5	100 - 400	3 - 6	hög/medel
4	50	1,75	1200	16,5	100 - >500	4 - 6	medel/snabb
5	58	1,7	900	46	0 - 200	> 6	låg/-

4 Provlokal

4.1 Inledning

Inför laboratorieförsöken skulle ett provområde med om möjligt fem olika typer av sulfidjord lokaliseras. Provsonderingar utfördes av konsult längs Botniabanan i mitten av augusti 2003, med målet att hitta ett område innehållande sulfidjord som hade tillräcklig mäktighet. Ett område längs Botniabanan verkade särskilt intressant, sektion 110+080, där djupet på finsedimenten var ungefär 7,5 m. Detta blev också valet av provlokal. Provklokalen är belägen längs Botniabanans sträckning strax söder om Umeå, ca 10 km från centrum, se figur 4.1.



Figur 4-1 Vy över provområdet, vid sektion 110+080, Botniabanan (2004).

4.2 Områdesbeskrivning

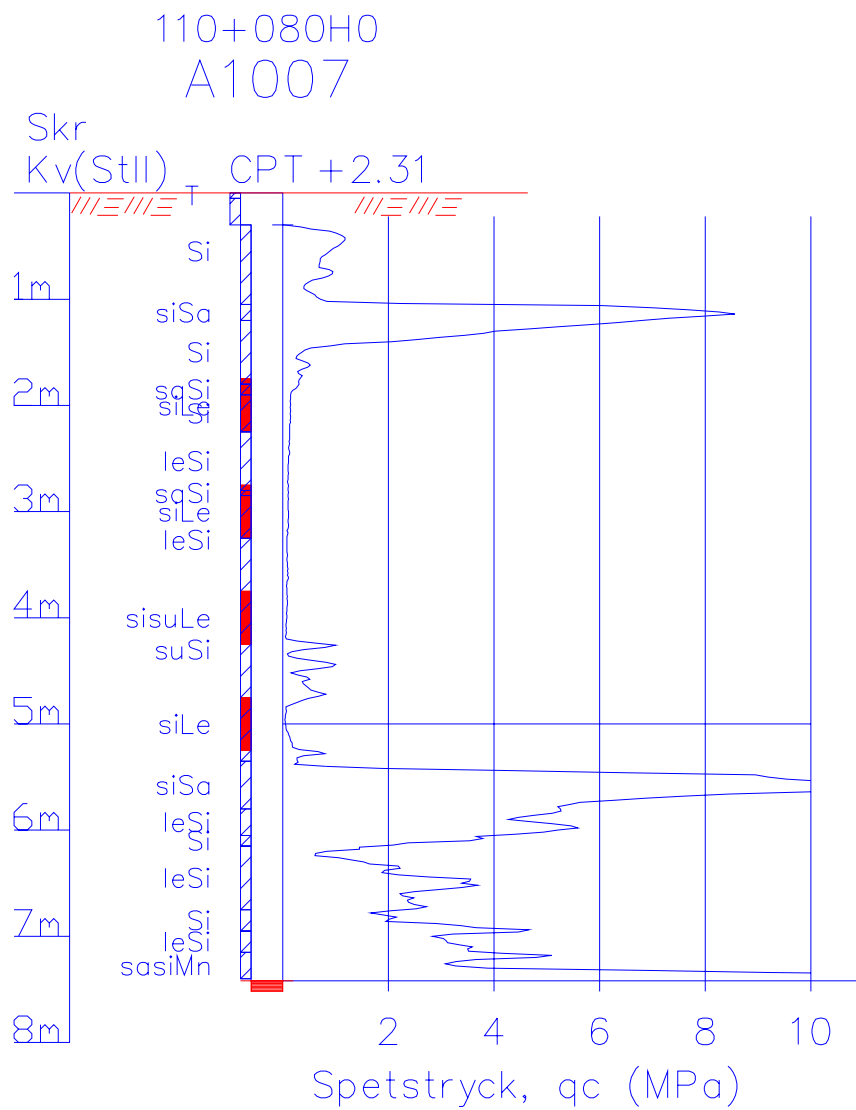
Området består av varierande åker- och skogsmark, topografiskt sett är höjdskillnaderna små, och markområdet kan därför betraktas som relativt platt. Bebyggelse saknas i omgivningen. I söder ligger havet och i norr utsträcker sig ett öppet landskap, Degernässlätten. Platsen är

belägen i Umeälvens utbredda deltaområde, Botniabanan kommer här att passera genom värdefulla naturtyper och fågelskyddsområden. Området ingår i nätverket Natura 2000 och är utpekad enligt våtmarkskonventionen som ett Ramsar-område (internationell överenskommelse för bevarande och utnyttjande av vissa naturtyper). En miljökonsekvensbeskrivning är upprättad för området och den behandlar bl.a. ovanstående aspekter, vilka har varit mycket omdebatterade, Botniabanan (2004).

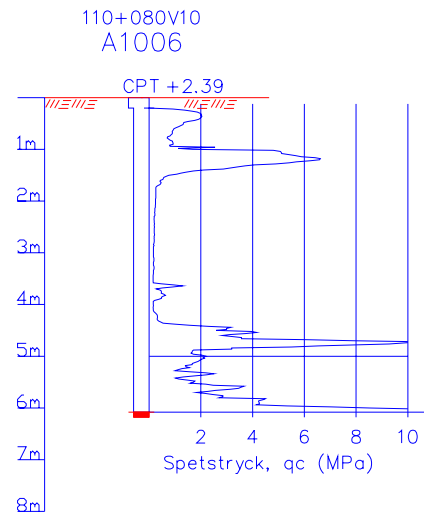
Jordförstärkning genom stabilisering är ett intressant alternativ eftersom urgrävning av sulfidjord då undviks och därmed reduceras en möjlig miljöpåverkan.

4.3 Provtagningsområdet

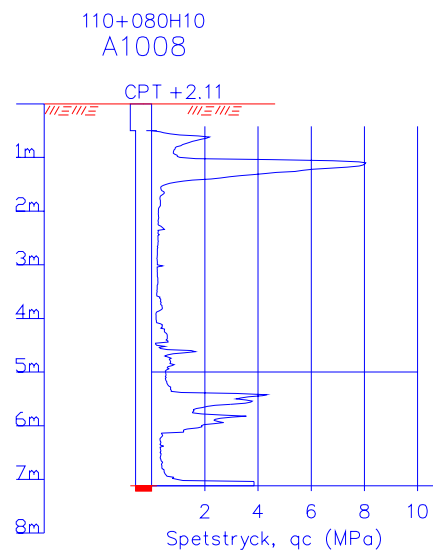
CPT-sonderingsresultat (Cone Penetration Test) respektive vingbor-resultat från det aktuella området presenteras i figur 4.2-4.6, Eklund (2003). Figur 4.7 visar en borrhplan för kolvprovtagningen som utfördes i detta projekt. Utifrån dessa resultat samt utförda rutinundersökningar har en jordprofil ritats upp, se figur 4.8. Fotografier från provtagningen visas i figur 4.9-4.13.



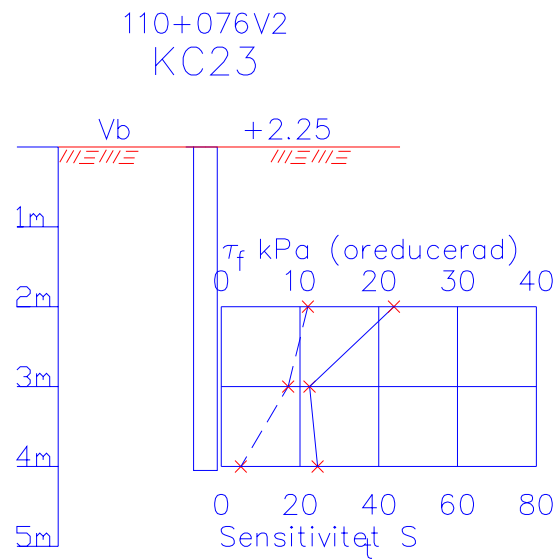
Figur 4-2 CPT-sondering sektion 110+080, SPM (spårmitt), Eklund (2003).



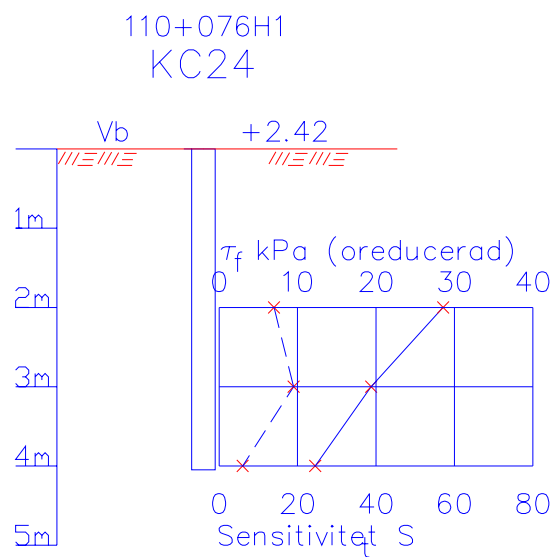
Figur 4-3 CPT-sondering sektion 110+080, V 10 (vänster 10 m), Eklund (2003).



Figur4-4 CPT-sondering sektion 110+080, H 10 (höger 10 m), Eklund (2003).

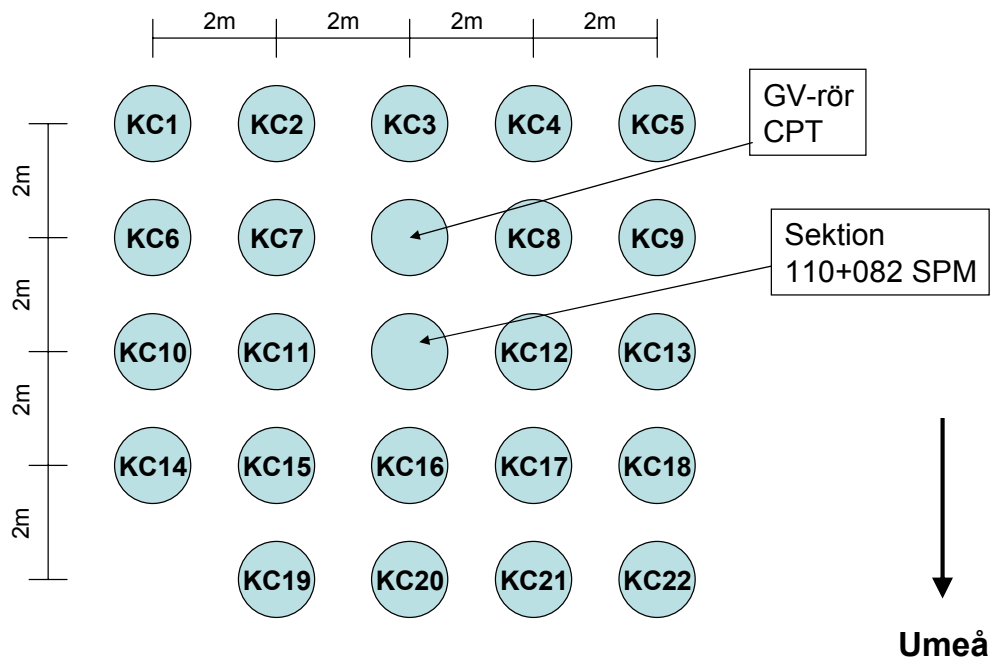


Figur4-5 Vingsondering sektion 110+076, V 2 (vänster 2 m), Eklund (2003).

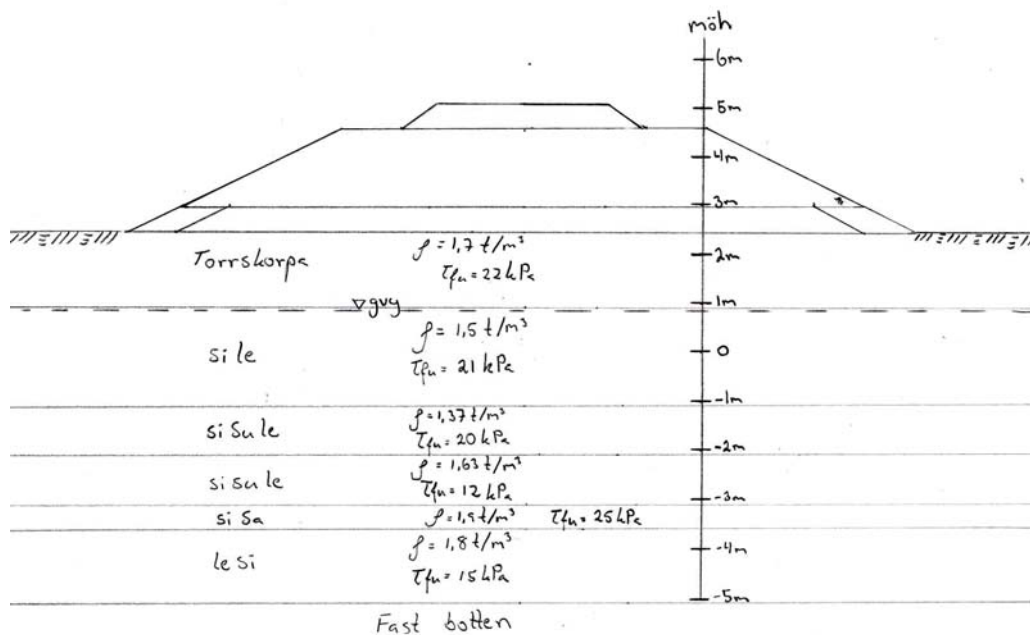


Figur4-6 Vingsondering sektion 110+076, H 1 (höger 1 m), Eklund (2003).

En borrhplan upprättades längs den framtida järnvägens spårriktning enligt figur 4-7, där raden av borrhålen KC3-KC20 är belägen i spårmitt. Kolvprov togs mellan djupen 2,5-5 m och i varje borrhål togs prover från tre djup. Provtagningsdjupen varierade mellan raderna med en halvmeters förskjutning. Provdjupen på mittenraden (KC3-KC20) var 3 m, 4 m och 5 m. I de intilliggande raderna (KC4-KC21 och KC2-KC19) togs prover från djupen 2,5 m, 3,5 m och 4,5 m. I de yttersta provraderna (KC5-KC22 och KC1-KC14) var provdjupen åter 3 m, 4 m och 5 m. Syftet med de olika provtagningsdjupen var att täcka in hela jordprofilens djup. Avståndet mellan borrhålen var 2 m för att erhålla ostörda kolvprover.



Figur 4-7 Borrhplan för kolvprovtagning, pilen i figuren visar spårets riktning mot Umeå.



Figur 4-8 Jordprofil med planerad järnvägsbank för sektion 110+080.



Figur 4-9 Provtagningsområdet med två borrhandsvagnar. Stakkäpparna markerar borrhålens läge.



Figur 4-10 Borrbandvagn vid kolvprovtagning.



Figur 4-11 Omhändertagande av ostörda prover i provtuber.



Figur 4-12 Ändytorna på provtuberna beläggs med plastmellanlägg och försluts med lock.



Figur 4-13 Protokollföring.

5 Laboratieförsök

5.1 Inledning

Laboratieförsök har utförts i syfte att bestämma den naturliga jordens geotekniska och markkemiska egenskaper. Inblandningsförsök har genomförts genom att tillverka provkroppar av stabiliseringsmedel och jord. Enaxiella tryckförsök har genomförts för att undersöka provkropparnas hållfasthetsegenskaper. I detta kapitel beskrivs omfattning och utförande av laboratieförsöken. Om inte annat anges har försöken utförts inom ramen för detta examensarbete, dvs. av författarna själva.

5.2 Rutinundersökningar och CRS-försök

5.2.1 Utförande

Rutinundersökningar är utförda enligt svensk standard (SS). I detta projekt omfattar det följande undersökningar:

- Skrymdensitet (ρ) - SS 02 71 14
- Glödgningsförlust (g) - SS 02 71 05 (med undantaget 800°C istället för 950°C)
- Vattenkvot (w) - SS 02 71 16
- Konflytgräns (w_L) - SS 02 71 20
- Plasticitetsgräns (w_p) - SS 02 71 21
- Kompaktdensitet (ρ_s) - SS 02 71 15
- Skjuvhållfasthet, fallkonförsök (τ_{fu} och τ_r) - SS 02 71 25
- CRS-försök - SS 02 71 26 (utfört av MRM-konsult, Luleå)

5.2.2 Omfattning

I tabell 5-1 beskrivs antalet utförda rutinundersökningar på den naturliga jorden från 2-5 m djup.

Tabell 5-1 Antalet rutinundersökningar utförda på den naturliga jorden från aktuell provlokal.

Djup [m]	ρ	g	w	w _L	w _p	ρ_s	τ_{fu}	τ_r	CRS
2	1	2	5	1	-	-	1	1	-
2,5	3	6	12	2	-	1	2	2	-
3	3	6	12	4	1	1	4	4	1
3,5	9	8	35	3	-	1	3	3	-
4	2	4	12	2	1	1	2	2	1
4,5	3	10	11	5	-	1	5	5	-
5	3	6	11	3	-	1	3	3	1
Σ	24	42	98	20	2	6	20	20	3

5.3 Metallanalys

5.3.1 Utförande

Metallanalys utfördes av Analytica AB i Luleå. De ämnen som framförallt är intressanta att analysera i detta projekt är järn och svavel. Analysen som gjordes var därför M-1a + S (grundämnen+svavel). Provet torkas vid 50 °C och lakas därefter i 7 M (molar) salpetersyra i sluten teflonbehållare i mikrovågsugn. Halterna korrigeras till TS 105 °C. För jord används normalt salpetersyra/väteperoxid istället för 7 M salpetersyra. Grundämnen som undersöks är As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Sn, Sr, V, Zn och S, Analytica (2004).

5.3.2 Omfattning

Sex jordprov på den naturliga jorden från 2,5-5 m djup har analyserats på grundämnen, se i bilaga 5.

5.4 Sedimentationsanalys

5.4.1 Utförande

Sedimentationsförsök utfördes med pipettmetoden, enligt Byggeforsknings informationsblad B2:1972. Försök utfördes i syfte att ta fram kornfördelningskurvor på finjorden för jordprov från olika nivåer i aktuell provlokal.

5.4.2 Försöksförfarande

Beredningen av prover började med att ca 1 cm tjocka jordskivor skars ut ur provtuberna och finfördelades i ett plastkärl. Mängden jord som togs ut var ungefär trettio gram i naturligt tillstånd, och vattenkvotsbestämning utfördes på den aktuella jorden. Vid pipettmetoden används endast finjordspartiklar. Därför behövde provet slammas upp och våtsiktas för att kunna avskilja grovjordsfraktionerna. Uppslamningen utfördes, efter det att destillerat vatten tillförts provet, i en ultraljudsapparat under 2-3 dygn. Vid själva våtsiktningen tillfördes ytterligare vatten för att alla partiklar med diameter mindre än 0,063 mm helt säkert skulle passera genom sikten. Materialet som fastnade i sikten placerades i en form och torkades i ugn (105 °C) under ett dygn. Detta för att kunna bestämma partiklarnas torra massa. Med hjälp av vattenkvoten som togs i början av beredningen kunde också vikten på hela provets torra substans fastställas. Med dessa två vikter beräknades viktandelen av provet som partiklarna med en diameter större än 0,063 mm utgjorde. Materialet som, tillsammans med drygt en liter vatten, passerade sikten hölldes upp i stora glasflaskor.

Nästa steg är själva sedimentationsförsöket, där mätglas med en skala upp till 1000 ml användes. Mätglaset fylldes först med dispergeringsvätska bestående av Natriumpyrofosfat ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) löst i destillerat vatten. En tiondel av den färdiga suspensionen ska bestå av dispergeringsvätska. Dispergeringsvätskan används för att förhindra flockulering under sedimentationsförsöket. De återstående nio tiondelarna av suspensionen utgjordes av en delmängd av vattnet med det siktade jordmaterialet. Försöket utfördes i ett rum med konstant temperatur (20° C) för att säkerställa vätskans viskositet. Innan mätningar påbörjades rördes provet kraftigt om så att partiklarna skulle fördelas jämnt i hela suspensionen. Direkt efter omrörningen togs ett nollprov för att ta reda på andelen finjord i suspensionen. Prov å 10 ml togs upp med pipett och utfördes enligt ett tidsschema som omfattade tio mätningar. Delproven sögs till en början upp från ett djup av tio centimeter under ytan för att sedan till de sista delproven övergå till fem

centimeters djup. Varje delprov placerades i en skål och torkades i ugn (105° C) under ett dygn, provet vägdes sedan med en noggrannhet på en tiotusendels gram.

Med hjälp av Stokes lag, ekvation 5-1, kan sedimentationsförloppet beskrivas. Ekvationen ger ett samband mellan fallhastighet och diameter hos ett sfäriskt korn som sedimenterar i en vätska. Sfäriska korn är en förenkling av verkligheten, i själva verket är det väldigt få korn som är sfäriska. Om det förutsätts konstant fallhastighet hos kornen, kan tyngdkraften som påverkar kornen sättas lika med summan av lyftkraften hos vätskan och friktionskraften.

$$v = \frac{h}{t} = \frac{(\gamma_k - \gamma_w) \cdot g}{18 \cdot \eta} \cdot d^2 \quad (5-1)$$

där

v = fallhastighet

h = fallhöjd el. avstånd mellan pipettens spets och suspensionens yta

t = falltid eller sedimentationstid

γ_k = korndensitet

γ_w = vätskans densitet

g = tyngdkraftens acceleration

η = vätskans viskositet

d = korndiameter

Ekvationen kan skrivas om, till en för pipettmetoden mer användbar ekvation,

$$d = \sqrt{\frac{18 \cdot \eta}{(\gamma_k - \gamma_w) \cdot g}} \cdot \sqrt{\frac{h}{t}} \quad (5-2)$$

Med hjälp av ovanstående ekvation och resultaten från viktmätningarna av de olika delproven kunde parametrarna som behövdes för att ta fram en kornfördelningskurva erhållas.

5.4.3 Omfattning

Sju olika sedimentationsförsök genomfördes på jord från 2-5 m djup i den aktuella jordprofilen. Resultaten från försöken redovisas i kornfördelningskurvor, se Figur 6-5 – 6-11. I diagrammen finns också angivet den viktandel som hade en större korndiameter än 0,063 mm.

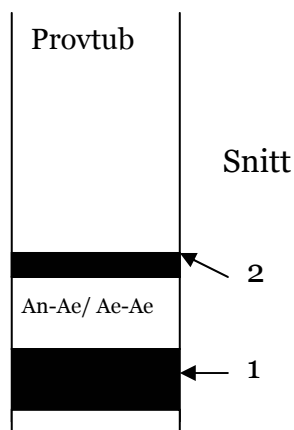
5.5 Lakförsök för bestämning av redox, pH och konduktivitet

5.5.1 Beskrivning

Lakförsök utfördes enligt en metodbeskrivning i rapporten "Försurningspotential i sulfidjord-Metodutveckling/förstudie", Mácsik (2000). Den nämnda rapporten upprättades på uppdrag av Botnia-banan AB och är tänkt att vara till hjälp vid bedömning av olika sulfidjordars försurningspotential. Lakförsöken är en del av denna bedömning och de parametrar som kan erhållas från detta försök är sulfidjordens redoxpotential, pH samt konduktivitet.

5.5.2 Metodik

Lakningsförsök genomfördes på två olika sätt. Anaerob (An) sulfidjord lakas aerobt (Ae) och aerobt sulfidjord lakas aerobt. Jordproverna som lakades togs ut ur provtuberna enligt figur 5-1.



Figur 5-1 Skiss över den del av provmaterialet som används för lakförsök, på snitt 1 och 2 kontrolleras vattenkvot.

Ändytan kasserades för att ta bort eventuella oxidationsskikt som bildats. Vattenkvoten mättes på båda sidor om den del som användes för lakförsök, se snitt 1 och 2 i figur 5-1. Därefter följde två skilda förfaranden vid fortsatt beredning av proverna.

Prov: Anaerob jord lakas aerobt

10 g TS (torr substans) anaerob jord togs direkt från jordmaterialet i provtuben. För att få fram vikten 10 g TS, användes resultaten från vattenkvoterna i snitt 1 och 2. Jordmaterialet finfördelades till bitar <0,5 cm och placerades i en plastflaska. Till sulfidjorden tillsattes destillerat vatten så att L/S-kvoten (liquid/solid) blev 5. Flaskan skakades under 30 sekunder.

Prov: Aerob jord lakas aerobt

Jordprover finfördelades till bitar <0,5 cm och placerades i en form. Formen fick sedan stå och lufttorka några dagar innan jordmaterialet fördelades ytterligare genom krossning i en mortel. Pulvret som nu återstod fick lufttorka ytterligare några dagar tills vattenkvoten var mycket låg <10 %. Provet placeras och skakas sedan på liknande sätt som föregående prov i en plastflaska, 10 g TS av jordmaterialet och destillerat vatten till en L/S-kvot lika med 5.

Proverna från ovanstående två metodbeskrivningar fick därefter stå under 4 timmar innan mätning av Eh (redox), pH och konduktivitet påbörjades. Mätning av dessa parametrar gjordes även efter 24 och 96 timmar. Proverna skakades under 30 sekunder efter varje mätning samt efter 48 timmar.

5.6 Stabiliseringsförsök

5.6.1 Utförande

Stabiliseringsförsöken genomfördes enligt rekommendation i SGF rapport 2:2000, Carlsten (2000), förutom att tiden för inblandning varit 3-4 minuter istället för 5-6 minuter som föreskrivs. Efter att jorden blandats till en jämn massa tillsattes önskad mängd stabiliseringsmedel varvid blandning utfördes till dess att massan okulärt ansågs vara homogen. Alla proven packades på samma vis för att erhålla så likartade och homogena provkroppar som möjligt. Dubbelprov producerades för att erhålla ökad tillförlitlighet i resultaten från de enaxiella tryckförsöken.

5.6.2 Försöksförfarande

Erforderlig mängd jord uppskattades baserat på antalet provkroppar som skulle tillverkas. Provtubernas nummer noterades för eventuell senare identifikation av ursprung för jorden. Därefter tömdes tuben varvid utpressat innehåll mättes, vägdes och placerades i blandarskålen. Då skålen ej rymde allt jordmaterial på en gång utfördes blandningen i

två omgångar med en slutlig blandning av allt material för hand i ett större kärl. Kärlet med första halvan av provvolymen täcktes med en fuktad trasa i väntan på beredning av resterande jord. Efter detta erhöles en blandning som kunde anses (okulärt) vara homogen. Densiteten för den omrörda naturliga jorden kunde beräknas utifrån de mått och vikter som tidigare noterats. Jordvolymen delades sedan upp i delar, en del för varje bindemedel, och placerades i plastpåsar som tätförslöts och placerades i kylskåp fram t.o.m. inblandning (max 1 dygn). Figur 5-2 – 5-7 visar arbetsgången vid inblandningsarbetet.



Figur 5-2 Vägning av omrörd naturlig jord och fördelning till ett antal mindre volymer.



Figur 5-3 Beräkning av bindemedelsmängd för stabiliseringsförsöken.

Vid inblandningstillfället vägdes jorden och aktuell tillsats av vikt stabiliseringsmedel kunde beräknas.



Figur 5-4 Blandning av jord och bindemedel i en degblandare.

Blandning utfördes sedan tills massan ansågs (okulärt) vara homogen, d.v.s. efter ungefär 3-4 minuter, vilket dock är något kortare än rekommenderad tid på 5-6 minuter. Insidan av provtuberna behandlades med vaselin för att jorden inte skulle fastna när den senare skulle tryckas ur provtuben. Packning av provkroppen genomfördes i 5 lager á 2 cm. För varje lager belastades provet med 100 kPa i 5 sekunder. Innan följande lager lades på räfflades ytan upp ytterligare med en gaffel för att undvika vidhäftningsproblem i skarven. Ändytorna jämnades sedan av med en spatel för att få en så slät yta som möjligt. Provet vägdes och densitet beräknades. Plastlappar (mellanlägg) lades mot ändytorna och gummilocken sattes på plats. Gummilocken tejpades fast i provtuben i syfte att förhindra oxidation under lagringstiden.



Figur 5-5 Ifyllning av material i provtub, ungefär 2 cm tjocka lager åt gången.



Figur 5-6 Packning med 100 kPa tryck under 5-6 sek för varje nytt tillfört lager.

5.6.3 Dokumentation

Vattenkvot och densitet hos den blandade jordvolymen dokumenterades före inblandning av stabiliseringsmedel. Efter inblandning mättes vattenkvoten för blandningen och densiteten för den färdiga provkroppen. Utförandet av en av inblandningsomgångarna videofilmades och fotograferades för att få en dokumentation av den principiella arbetsgången.

5.6.4 Lagringsförhållanden

Proven lagrades i kylskåp med temperatur $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ i 28 respektive 90 dygn. Gummilocken tejpades fast vid provtuben. Möjligheten till fuktstyrning i kylskåpsluften saknades.



Figur 5-7 Lagring av provkroppar i kylskåp med temperatur $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5.6.5 Omfattning

Laboratoriestudien delades upp i 3 etapper, dvs. omfattade 3 tillfällen med tillverkning av provkroppar. Under etapp 1 studerades 7 olika blandningar av bindemedel på tre jordnivåer, alla med samma inblandningsmängd (150 kg/m^3). I etapp 2 valdes 3 av dessa bindemedelsblandningar ut för ytterligare undersökningar på tre jordnivåer varav två av de redan undersökta djupen samt en ny jordtyp studerades. Varierade inblandningsmängder (100 , 150 , 175 , 200 respektive 250 kg/m^3) och lagringstider användes. I vissa prover tillsattes vatten för att kontrollera eventuell effekt av detta. Under etapp 3 utfördes kompletterande undersökningar. Tabell 5-2 visar en sammanställning över vilka bindemedel och bindemedelsmängder som användes. Totalt har 106 provkroppar tillverkats och undersökts.

Tabell 5-2 Förteckning över använda bindemedel, $x=28$ dygns prov, $x^*=28$ och 90 dygns prov.

Nr/ Benämning	Bindemedel	Djup	Mängd kg/m ³				
			100	150	175	200	250
1 KC 50/50	Kalk/Cement 50/50	2,5-3		X			
		3,5		X			
		4		X			
		5		X			
2 KCG 33%	Kalk/Cement/Gips 33/33/33	2,5-3		X		X	
		3,5		X*		X	X
		4		X*		X	X
		5		X			
3 KCM 33%	Kalk/Cement/Merit 33/33/33	2,5-3		X			
		3,5		X			
		4		X			
		5					
4 CM 70/30	Cement/Merit 70/30	2,5-3		X			
		3,5		X			
		4		X			
		5					
5 CM 50/50	Cement/Merit 50/50	2,5-3		X			
		3,5		X			
		4		X			
		5					
6 CM 30/70	Cement/Merit 30/70	2,5-3		X		X	
		3,5		X*		X	X
		4	X	X*		X	X
		5		X			
7 C 100%	Cement	2,5-3		X		X	
		3,5		X*	X	X	
		4	X	X*			
		5		X			
8 C 100% +vatten	Cement+vatten	2,5-3					
		3,5		X			
		4		X			
		5					
9 CA 50/50	Cement/Aska 50/50	2,5-3					
		3,5					X
		4					X
		5					
10 CA 30/70	Cement/Aska 30/70	2,5-3					
		3,5					X
		4					X
		5					
11 A 100%	Aska	2,5-3				X	
		3,5					
		4					
		5					

5.6.6 Bindemedel

De bindemedel som användes vid stabiliseringsförsöken var standard portland cement, kalk, merit, gips och flygaska. Cementen var Byggcement Portland. Kalken var Terra™80, specialanpassad för markstabilisering. Masugnsslaggen var Merit 5000. InnehållsdeklARATIONER för bindemedlen presenteras i bilaga 6.

5.7 Enaxiellt tryckförsök

5.7.1 Utförande

De enaxiella tryckförsöken utfördes enligt svensk standard SS 02 71 28.

5.7.2 Försöksförfarande

Vid behov trimmades provets ändtytor för att få dem helt planparallella. Provuttryckare användes för att trycka ut provet ur provtuben. Det var inga problem med vidhäftning i tuben. Proven mättes och vägdes innan de placerades i en tryckpress, se fig. 5-8.



Figur 5-8 Försöksupställning för enaxiellt tryckförsök med tillhörande logger och dator.

Plaststämplarna som överför kontakttrycket i apparaten behandlades med vaselin för att inte låsa provet i sidled under belastningen, varvid oönskade spänningar förhindras. Belastningen var deformationsstyrd med 1,5 % axialdeformation per minut. Provet fortsatte att tryckas efter uppnått toppvärde på tryckspänning, varvid deformationen fick fortgå tills provkroppens lastupptagande förmåga reducerats kraftigt och stora

deformationer erhållits. Last och deformation lagrades i dator och plottades kontinuerligt under försökets gång.

5.7.3 Dokumentation

Densitet och vattenkvot dokumenterades för varje prov och vattenkvoten bestämdes genom att ta prover av varje söndertryckt provkropp. Proven fotograferades före och efter tryckning. De bröts sedan upp varvid brottytorna fotograferades. Utförandet av en av provtryckningsomgångarna videofilmades och fotograferades för att få en dokumentation av det principiella försöksförfarandet.



Figur 5-9 Provkropp före och efter tryckning samt isärbruten.

5.7.4 Utvärdering

Tryckspänningen hos provkropparna har utvärderats utifrån påförd belastning och axiell deformation enligt ekvation 5-3. Erhållna resultat redovisas i kapitel 6.

$$\sigma = \frac{F}{A_0}(1 - \varepsilon) \quad (5-3)$$

där

σ = Tryckspänning, Pa

F = Kraft, N

A_0 = Ursprunglig tvärsnittsarea, m²

ε = Axiell deformation

Utvärdering av skjuvhållfasthet bedöms osäkert m.a.p. brottfigurens utseende. Det kan ej säkert konstateras att brottet för de olika provkropparna är ett skjuvbrott, dvs. en plan brottyta i ca 45° lutning. Tryckspänningen anses representera jämförbara resultat för samtliga uppkomna brottyper. En ungefärlig skjuvhållfasthet går att utvärdera genom att halvera tryckspänningen.

6 Resultat

6.1 Allmänt

I detta kapitel presenteras resultaten från samtliga laboratorieundersökningar som är utförda på jord från aktuell provlokal. Undersökningarna som gjordes i syfte att bestämma naturliga jordens geotekniska och markkemiska egenskaper, utfördes på en begränsad jordmängd för att spara jordvolym till inblandningsförsöken. Sex borrhål med provtagningsdjup mellan 2,5 och 5 m undersöktes, vars resultat fick representera hela provlokalen. Borrhålen är benämnda KC2, KC5, KC12, KC19, KC22 samt 110+082, se figur 4-7. Tanken var att med dessa borrhål täcka in så stor del av provområdet som möjligt. I kapitel 5 redogörs för förutsättningarna för utförda laboratieförsök avseende rutinundersökningar, CRS-försök (Constant Rate of Strain test), metallanalys, lakförsök, stabiliseringsförsök och enaxiella tryckförsök.

Efter bestämning av geotekniska och markkemiska egenskaper delades jorden in i fyra olika typer av sulfidjord enligt karakteriseringsmodell, Mácsik (2000). Karakteriseringen avser att på ett mer systematiskt sätt karakterisera de olika sulfidjordstyperna inför inblandningsförsöken. Stabiliseringseffekten antas variera beroende på jordtyp. Förhoppningen är att kunna finna samband mellan de olika jordtyperna m.a.p. geotekniska och markkemiska egenskaper och den stabiliseringseffekt som uppnås.

Rutinundersökningar, sedimentationsanalys, lakförsök och inblandningsförsök har i detta examensarbete utförts vid LTU:s geotekniska laboratorium. CRS-försök har utförts av MRM konsult i Luleå och metallanalys har utförts av Analytica i Luleå.

6.2 Rutinundersökningar

En sammanställning av resultat från utförda rutinundersökningar på den naturliga jorden presenteras i tabell 6-1 - 6-2. För detaljerad resultatsammanställning med alla utförda bestämningar för respektive parameter, se bilaga 4. Värden inom parentes i tabell 6-1 - 6-2 avser extremvärden (avvikande värden) som erhållits i undersökningarna. Intervallen i tabell 6-1 - 6-2 representerar min- och maxvärden för respektive parameter och djup. Den odränerade skjuvhållfastheten är bestämd genom fallkonförsök.

Tabell 6-1 Resultat av utförda laboratieförsök på naturlig jord från provlokalen.

Djup	Jordtyp ¹	Skrym- densitet	Kompakt- densitet	Vattenkvot	Glödgnings- förlust	Odränerad skjuvhållfasthet
		ρ	ρ_s	w	g	τ_{fu}
m		t/m ³	t/m ³	%	%	kPa
2	(su)saleSi	1,55	-	58-80	-	22
2,5	susiLe	1,54-1,56	2,68	62-98	6,1-6,7	20-22
3	susiLe	1,36-1,57	2,68	53- 121(163)	6,2-7,1(12,3)	20-22
3,5	susiLe	1,29-1,36	2,73	117- 242(340)	8,6-15,3	18-26
4	susiLe i	1,57-1,67	2,73	50-70	3,7-3,9	12-20
4,5	Si	1,74-1,95	2,79	27-66	1,7-3,5	11-36
5	(su)siLe	1,76-1,86	2,72	23-68	0,8-3,3	10-27

¹Enligt Mácsik (2003)

I figur 6-1 och 6-2 redovisas skrymdensitet och vattenkvot respektive glödgningsförlust och odränerad skjuvhållfasthet som funktion av djupet, för den naturliga jorden. Variationen av skrymdensitet, vattenkvot och glödgningsförlust med djupet korresponderar relativt väl, dvs. en hög densitet motsvarar en låg vattenkvot och en liten glödgningsförlust. På vissa djup har flera värden för egenskaperna funnits varvid ett medelvärde har valts till diagrammet.

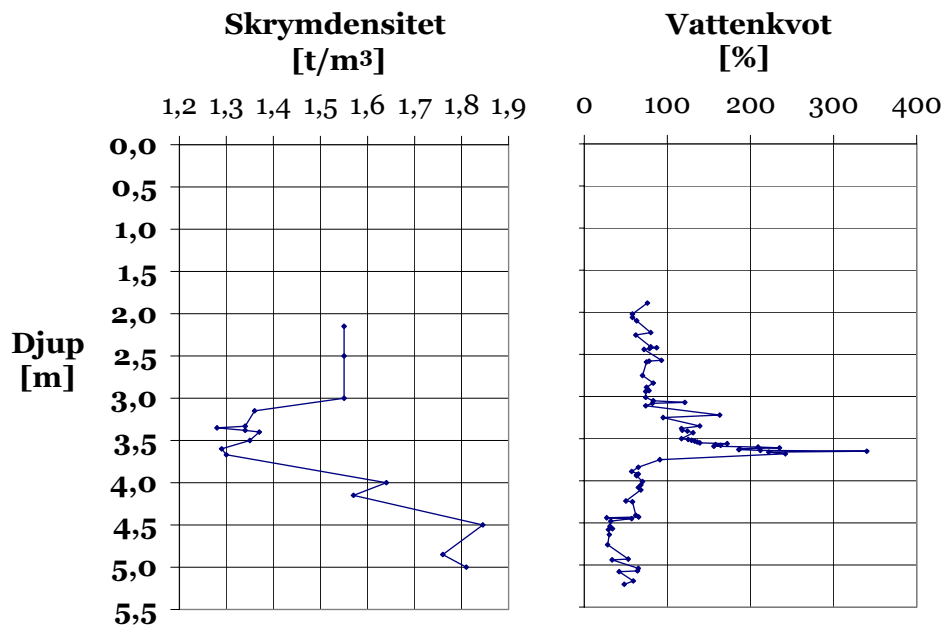
Tabell 6-2 Resultat av utförda laboratieförsök på naturlig jord från provlokalen.

Djup	Jordtyp ¹	Sensitivitet	Konflytgräns	Störd odränerad skjuvhållfasthet	Plasticitets- gräns
m		S _t	w _L	τ _r	w _p
			%	kPa	%
2	(su)saleSi	29,3	45	0,75	-
2,5	susiLe	14,1-28,4	71-96	0,74-1,45	-
3	susiLe	12,1-14	68-89	1,43-1,82	53
3,5	susiLe	14,2-15,3	75-137	1,17-1,82	-
4	susiLe i	19-20(60)	40-60	0,2-1,05	31
4,5	Si	12,7-56,3	33-50	0,19-2,4	-
5	(su)siLe	38,8- 84,6(196,4)	28-40	0,13-0,25	-

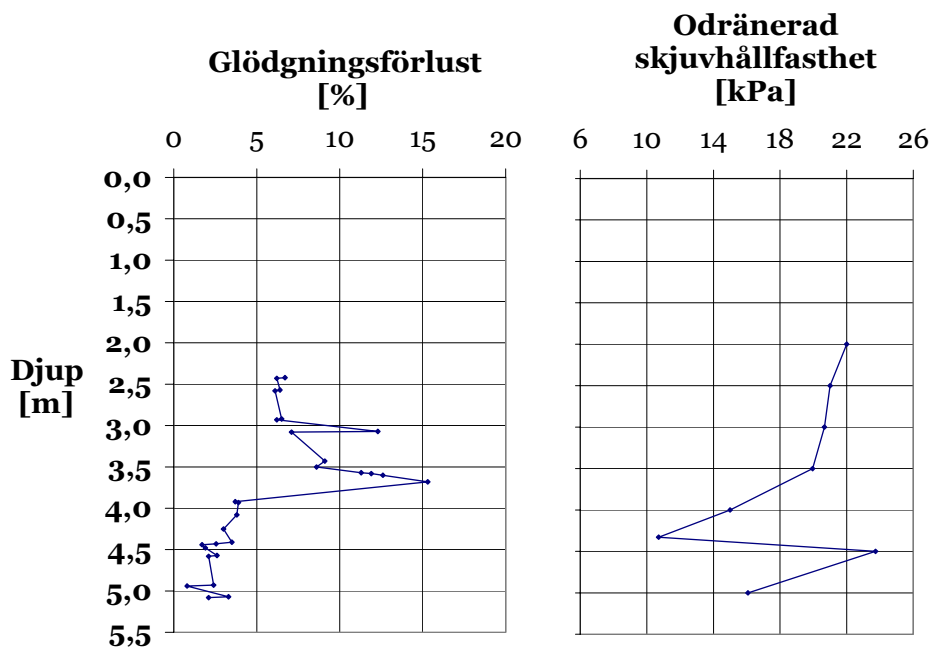
¹ Enligt Mácsik (2003)

Skrymdensiteten är mellan 1,5-1,6 t/m³ på 2-3 m djup, därefter minskar den till 1,25-1,4 t/m³ på 3,25-3,75 m djup för att öka upp till 1,75 t/m³ vid 5 m djup. Vattenkvoten varierar mellan 50-80 % på 2-3 m djup, ökar sedan kraftigt upp till cirka 240 % vid 3,75 m djup för att sedan sjunka till 20-70 % på 4-5 m djup. Glödgningsförlusten ligger på ca 7 % vid djup 2,5-3 m vartefter en ökning sker mellan 3-3,75 m med ett maxvärde på 15 % för att sedan variera mellan 0,8-3,9 % på djupet 4-5 m. Den odränerade skjuvhållfastheten för den naturliga jorden avtar med djupet, från ca 22 kPa vid 2 m till ca 10 kPa vid 5 m djup, dock med en ökning vid djup 3,5 m. Efter okulär undersökning misstänktes jorden omkring 3,75 m djup vara mest rik på sulfid vilket motiverade vidare undersökningar på den naturliga jorden. Djupet mellan 3,25-3,75 m är därför undersökt i större omfattning.

Vid djup 3,5 m förekommer värden på skrymdensitet (1,63 t/m³), vattenkvot (55 %) och glödgningsförlust (2,8-4,7 %) som avviker från övriga värden. Dessa resultat har utelämnats från tabell 6-1 - 6-2 och figur 6-1 - 6-2 men återfinns i sammanställningen, bilaga 4. Värdena härstammar från prov från samma borrhål, KC2, och antas ej vara representativa för djupet 3,5 m. Troligen är provtagningsdjupet i borrhål KC2 vid 3,5 m djup något förskjutet, uppåt eller nedåt.



Figur 6-1 Skrymdensitet och vattenkvot som funktion av djupet för den naturliga jorden, medelvärden.



Figur 6-2 Glödgningsförlust och odränerad skjuvhållfasthet som funktion av djupet för den naturliga jorden, medelvärden.

6.3 CRS-försök

CRS-försök har utförts för att bestämma den naturliga ostörda jordens kompressionsegenskaper, Eriksson (2003). Tre försök har utförts på jordprov från tre olika djup. Utvärderade parametrar återges i tabell 6-3.

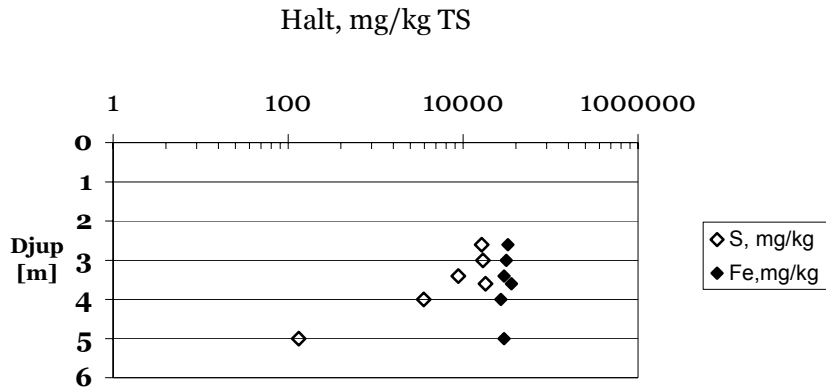
Tabell 6-3 Resultat från CRS-försök på den naturliga jorden, Eriksson (2003).

Djup	1	2	3	4	5	6	7	8
	σ'_c	M_L	σ'_L	M'	a-värde	k_i	β_K	$c_v^{\min}$
m	kPa	kPa	kPa		kPa	m/s		m/s
3,1	39	475	90	10,5	50	$5,8 \cdot 10^{-10}$	3,6	$1 \cdot 10^{-8}$
4	38	450	75	12,2	35	$1 \cdot 10^{-9}$	3,6	$2,3 \cdot 10^{-8}$
5,1	30	550	80	15	45	$1,6 \cdot 10^{-9}$	3,6	$3,9 \cdot 10^{-8}$

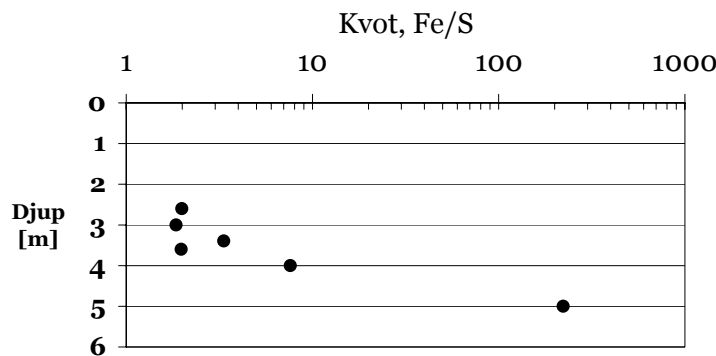
1. Förkonsolideringsspanning, 2. Kompressionsmodultal 3. Gränsspanning
4. Modultal, 5. a-värde, 6. Permeabilitet, 7. Koefficient för permeabilitetens förändring med kompressionen, 8. Konsolideringskoefficient

6.4 Metallanalys

Undersökningar är gjorda på jordmaterial från 2,5- 5m djup. Totalt har 6 stycken prov analyserats på metallinnehåll. Resultaten visar ett högt innehåll av järn vid samtliga undersökta djup samt ett högt svavelinnehåll vid 2,5-3,5 m som sedan minskar med djupet, figur 6-3. Följden är att profilens Fe/S-kvot ökar med djupet, figur 6-4. På djup 5 m är Fe/S-kvoten mycket hög och jorden är en svagt sulfidhaltig jord. Jorden ovan och under djupet 2,5-4 m misstänks ha urlakats på svavel genom grundvattenströmning medan järnet har haft ett betydligt mer svårlöst tillstånd och därför finns kvar även i de mer permeabla jordlagren, Mácsik (2003). För numeriska värden på järn och svavel se tabell 6-9 och för övriga metaller se bilaga 5.



Figur 6-3 Den naturliga jordens Fe- och S-halter, Mácsik (2003).



Figur 6-4 Den naturliga jordens Fe/S-kvot, Mácsik (2003).

6.5 Sedimentationsförsök

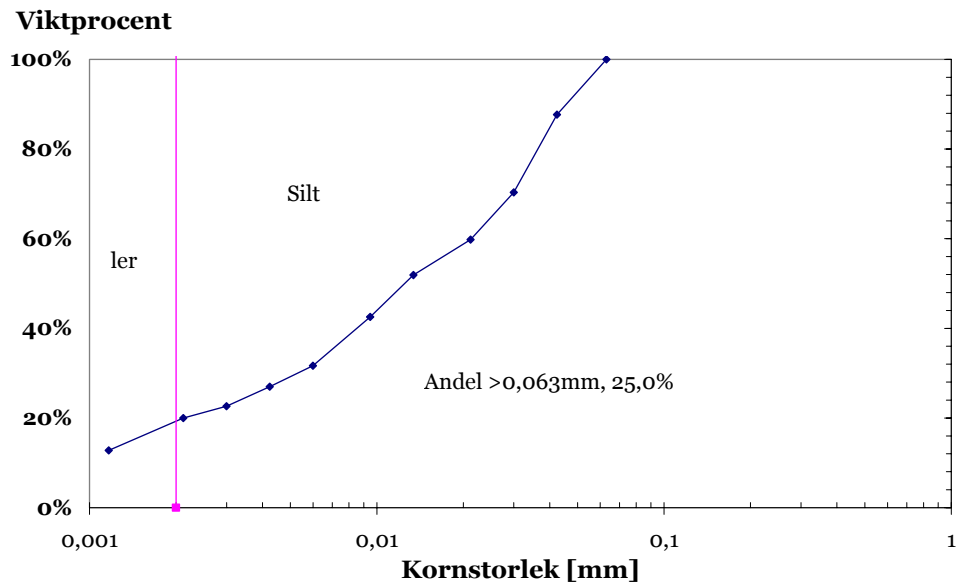
Sedimentationsförsök har utförts på jord från djupen 2-5 m med 0,5 m intervall. I tabell 6-4 redovisas samlade resultat från sedimentationsförsöken, erhållna värden är beräknade på TS (torrsubstans) jord. Figur 6-5 - 6-11 visar kornfördelningskurvor för finjorden, (kornstorlek < 0,063 mm) för jord från provlokalen. Grövre partiklar än ler och silt visas i diagrammen som en andel av aktuellt prov beräknat på TS jord. Linjen i diagrammen visar gränsen mellan ler- och siltfraktionen (0,002 mm). Resultaten visar en erhåll på mellan 20-35 % av finjorden för den naturliga jorden. På djup 2 m är fraktionsandel >0,063 mm stor, 25 %

av TS jord, medan andelen på övriga nivåer är låg. Observera att resultaten i tabell 6-4 och diagrammen i figur 6-5 - 6-11 inte helt stämmer överens, eftersom värdena i graferna är baserade endast på finjorden. Detta har dock ringa betydelse på djupen 2,5-5 m då fraktioner större än 0,063 mm utgör endast 1,5- 3,4 % av totala vikten på respektive prov.

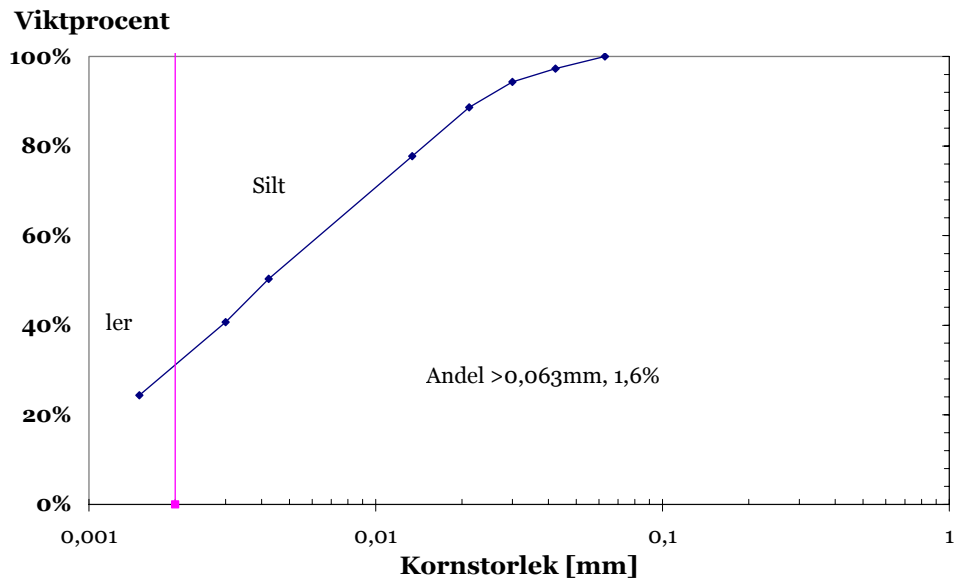
Vid djup 4 m uppträder hack i sedimentationskurvan, figur 6-10. De två topparna i diagrammet antas vara felaktiga och beror troligen på misstag vid utförandet, se avsnitt 7.3.

Tabell 6-4 Samlade resultat från sedimentationsanalys av den naturliga jorden från aktuell provlokal, beräknat på TS jord.

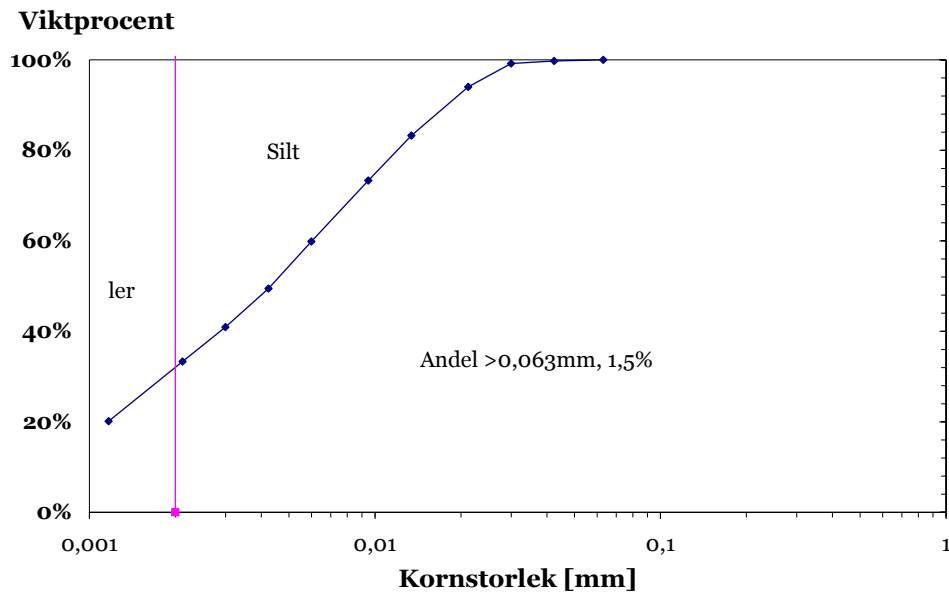
Djup	Vattenkvot	Viktandel Ler	Viktandel Silt	Viktandel Grovjord
	w	<0,002 mm	0,002-0,063	>0,063
m	%	%	%	%
2	47	15,0	60,0	25,0
2,5	84	31,0	67,4	1,6
3	78	32,8	65,7	1,5
3,5	117	30,9	65,8	3,3
3,5	222	33,8	62,8	3,4
4	60	28,5	69,8	1,7
5	40	33,3	64,3	2,4



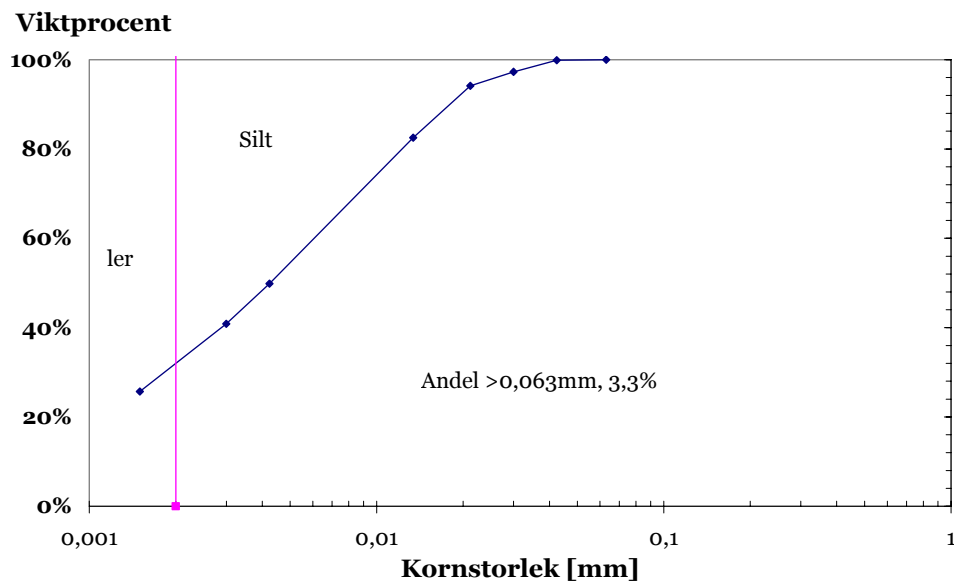
Figur 6-5 Sedimentationskurva djup 2 m, $w = 47 \%$, andelen >0.063 mm är beräknat på TS jord.



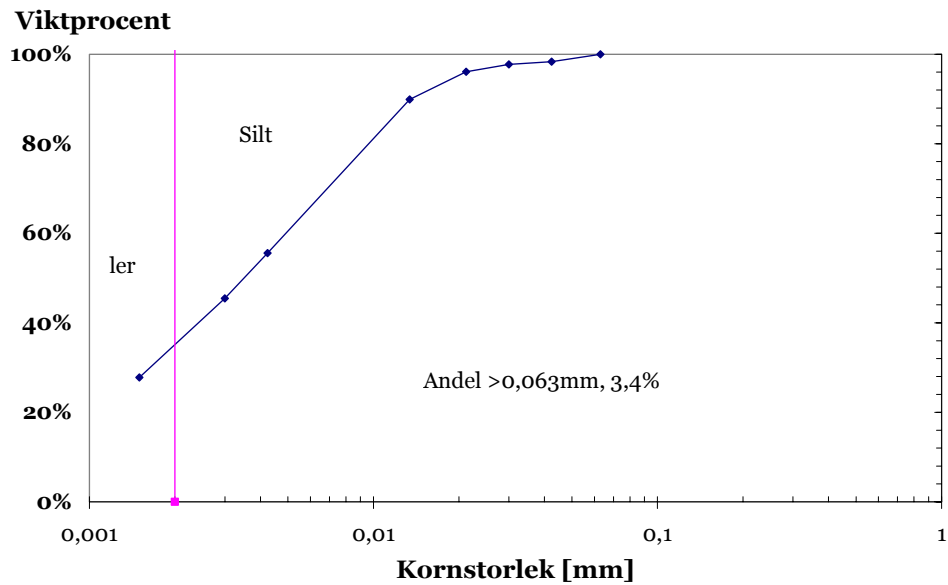
Figur 6-6 Sedimentationskurva djup 2,5 m, $w = 84 \%$, andelen >0.063 mm är beräknat på TS jord.



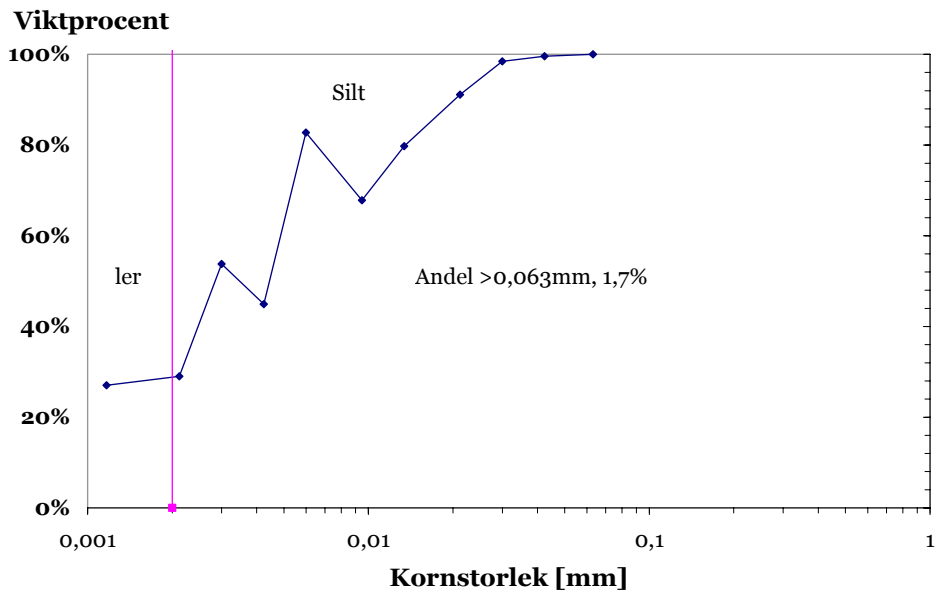
Figur 6-7 Sedimentationskurva djup 3 m, $w = 78 \%$, andelen >0.063 mm är beräknat på TS jord.



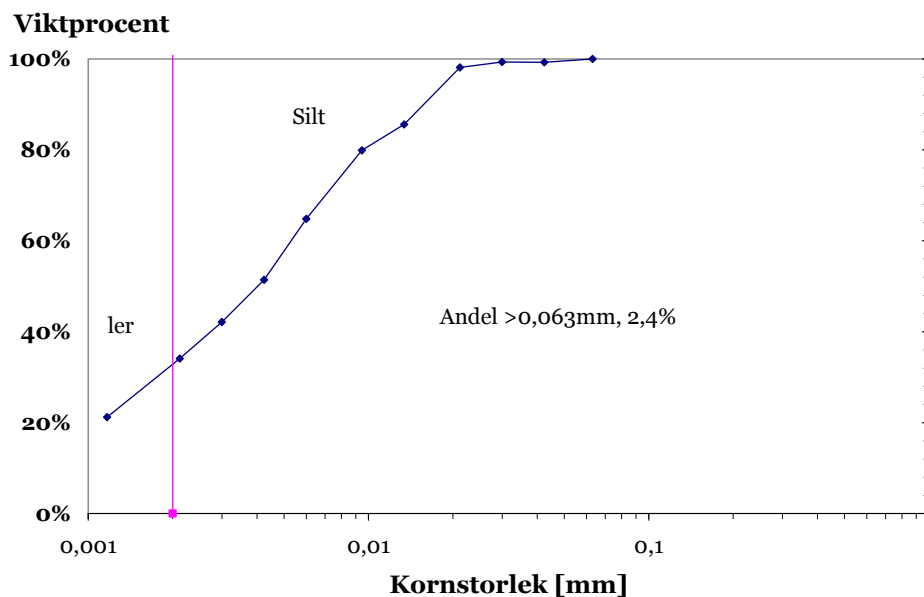
Figur 6-8 Sedimentationskurva djup 3,5 m, $w = 117 \%$, andelen >0.063 mm är beräknat på TS jord.



Figur 6-9 Sedimentationskurva djup 3,5 m, $w = 222 \%$, andelen >0.063 mm är beräknat på TSjord.



Figur 6-10 Sedimentationskurva djup 4 m, $w = 60 \%$ andelen >0.063 mm är beräknat på TSjord.



Figur 6-11 Sedimentationskurva djup 5 m, $w = 40\%$, andelen >0.063 mm är beräknat på TS jord.

6.6 Lakförsök för bestämning av redox, pH och konduktivitet

Sju olika jordprover från 2- 5 m djup har lakats aerobt - aerobt, d.v.s. lufttorkade prover lakades aerobt. Dessutom lakades fyra jordprover anaerobt - aerobt, d.v.s. naturlig jord lakades aerobt. Resultaten från lakförsöken presenteras i tabell 6-5 - 6-8. Det som mättes var redoxpotential (Eh), pH och konduktivitet. Redoxpotentialen anger tillgången på överförbara elektroner, pH är ett mått på tillgången på vätejoner i en miljö och konduktivitet är ett mått på mängden lösta salter (negativt laddade joner). Dessa värden är viktiga vid bedömning av en sulfidjords försurningspotential.

Resultaten visar att Eh är starkt reducerande på djup 2,5- 3,6 m, vilket tyder på mycket täta jordar som snabbt blir anaeroba i en vattenmättad miljö, Mácsik (2003). Eh har till en början på dessa nivåer ett positivt värde men sjunker ganska snabbt ned mot ett värde mellan 0 och -200 mV. Täta jordar innebär att oxidationsprocessen är mycket långsam och försurningspotentialen är hög då Fe/S kvoten har ett värde på 2-3, se figur 6-4. Proven från djupen ovan och under 2,5 -3,6 m djup går även de mot en anaerob miljö men den är inte lika starkt anaerob som på djup 2,5- 3,6 m djup. Fe/S- kvoten är samtidigt väldigt hög och

proverna har låg förurningspotential. pH-värdet sjunker något eller ligger relativt still med tiden för samtliga prov, detta bekräftar tidigare förda resonemang om att oxideringsprocessen för dessa jordtyper är väldigt långsam. Vid en mera siltig sandig sulfidjord hade antagligen pH- värdet sjunkit betydligt fortare, eftersom oxidationen sker snabbare i en permeabel jord. Konduktiviteten ökar kraftigt inom mätperioden. Alla djup har samma tendens med en ökning på ungefär 2-3 gånger. Konduktivitet som är ett mått på lakvätskans förmåga att leda elektricitet beror på hur mycket salter (laddade joner) som finns lösta i vätskan.

Tabell 6-5 Resultat från undersökning av den naturliga jorden där aerobt prov har lakats aerobt.

Djup	Jordart ¹	Skrym-	Vatten-	Lerhalt	Glödgnings-	Redoxpotential (Eh)		
		densitet	kvot			4h	24h	96h
		ρ	w		g			
m		t/m ³	%	% TS	%	mV	mV	mV
2	(su)saleSi	1,69	40,1	20	3,4	171	175	169
2,5	susiLe	1,54	85	31,5	6,3	147	163	5,3
3	susiLe	1,51	85,6	33,3	7,2	160	205	51,4
3,5	susiLe	1,37	118	32,0	8,6	83	141	-175
3,6 – 3,68	susiLe	1,29	190 - 242	35,0	12,6-15,3	35	62	-223
4	susiLe	1,62	61,3	29,0	3,6	135	164	115
5	(su)siLe	1,69	57,7	34,1	3,1	127	163	141

¹. Enligt Mácsik (2003)

Tabell 6-6 Resultat från undersökning av den naturliga jorden där aerobt prov har lakats aerobt.

Djup	pH			Konduktivitet		
	4h	24h	96h	4h	24h	96h
m				µS/cm	µS/cm	µS/cm
2	7,91	7,57	7,18	228	282	408
2,5	7,99	7,40	6,67	388	449	669
3	7,30	7,17	6,79	475	572	839
3,5	8,24	7,90	7,12	740	862	1351
3,6 – 3,68	8,37	8,01	7,08	916	1033	1578
4	8,42	7,39	6,81	251	297	434
5	7,95	7,85	7,37	101	121	163

Tabell 6-7 Resultat från undersökning av den naturliga jorden där anaerobt prov har lakats aerobt.

Djup	Jordart ¹	Skrym-	Vatten-	Lerhalt	Glödgnings-	Redoxpotential (Eh)		
		densitet	kvot		förlust	4h	24h	72h
m		ρ	w		g	4h	24h	72h
		t/m ³	%	% TS	%	mV	mV	mV
2	(su)saleSi	1,69	40,1	20	3,4	143	-35	34
3	susiLe	1,51	85,6	33,3	7,2	29	-114	-88
4	susiLe	1,62	61,3	29,0	3,6	-43	-171	-141
5	(su)siLe	1,69	57,7	34,1	3,1	-139	-121	0

¹ Enligt Mácsik (2003)**Tabell 6-8** Resultat från undersökning av den naturliga jorden där anaerobt prov har lakats aerobt.

Djup	pH			Konduktivitet		
	4h	24h	96h	4h	24h	72h
m				µS/cm	µS/cm	µS/cm
2	7,75	7,74	7,86	194	218	253
3	7,85	7,89	7,81	270	337	395
4	8,25	8,15	8,00	166	198	244
5	8,22	8,01	7,86	95	117	136

6.7 Karakterisering

6.7.1 Sammanställning

I tabell 6-9 finns resultat från klassificering, av den undersökta naturliga jorden, efter olika typer av sulfidjord grundat på geotekniska och markkemiska undersökningar, Mácsik (2003).

Tabell 6-9 Redovisning av olika typer av sulfidjordar i jordprofilen, Mácsik (2003).

Djup m	Provtub	w %	Fe mg/kg TS	S mg/kg TS	Fe/S	Typ ¹
2	KLBF1607	40,1				5
2,5	VFE160	90	32400	16300	2,0	2
3,0	RB2003	85,6	31200	16800	1,9	2
3,5	VFC280	117	29400	8800	3,3	1
3,64	ORRJE E 3407	212	35700	18100	2,0	1
4,0	SJ3072	61,3	27100	3560	7,6	4
5,0	AIB796	57,7	29400	132	223	5

¹. Typ av sulfidjord enligt Mácsik (2003)

6.7.2 Bedömning av sulfidjord

Nedanstående bedömning av sulfidjorden (prov från fem olika djup från aktuell provlokal) är utförd av Mácsik, (2003). Resultat från laknings- och sedimentationsförsök finns i avsnitt 6.5 respektive 6.6.

Djup 2 m

Jorden bedömdes ej vara sulfidjord vid den okulära kontrollen. Jordens Fe- och S-halter bestämdes inte. Jordens vattenkvot är ca 40 %. Sedimentationsanalysen visade att jordens lerhalt var 20 %. Jorden är sandig lerig silt, (su)saleSi. Försurningspotentialen bedöms vara liten. Typ 4 – 5, enligt Mácsik, (2000).

Djup 2,5 m - 3 m

Vattenkvoten är ca 85 – 90 %. Sulfidjordens Fe/S-kvot är ca 2. Efter lakning i 96 h är pH högre än 7, och det råder nära anaerob miljö (ca 50 mV) trots att provet har torkats innan lakning. Jorden är siltig lerig sulfidjord, susiLe. Försurningspotentialen bedöms vara hög, men försurningsprocessen är långsam på grund av att jorden är tät, lerhalten

är mellan 31 – 33 %. Därmed kommer oxidationsprocessen att ske långsamt i jorden. Bästa sättet att omhänderta uppgrävda jordmassor av denna typ är att ej utsätta jorden för en långvarig oxidation (luftning). Jordens Fe halt är hög, > 30000 mg/kg TS jord, och S-halten är ca 16000 mg/kg TS jord. En långsiktig urlakning kan medföra att stora mängder Fe och S kan lakas ut, samt att lakvattnet kan försuras. Oxidationsprocessen är reversibel. Stor förurningspotential vid långvarig aerob påverkan. *Typ 2.*

Djup 3,4 m – 3,6 m

Sulfidjordens vattenkvot ligger mellan 110 – 220 %. Sulfidjordens Fe/S-kvot är 2 - 3. Efter lakning i 96 h är pH högre än 7, och det råder starkt anaerob miljö (ca -100 – -200 mV) trots att provet har torkats innan lakning. Jorden är siltig lerig sulfidjord, susiLe. Jordens lerhalt är 32 - 35 %. Förurningspotentialen bedöms vara hög, men förurningsprocessen är långsam på grund av att jorden är tät. Därmed kommer oxidationsprocessen att ske långsamt i jorden. Bästa sättet att omhänderta uppgrävda jordmassor av denna typ är att ej utsätta jorden för en långvarig oxidation (luftning). Jordens Fe-halt är hög, > 30000 mg/kg TS jord, och S-halten är 9000 – 18000 mg/kg TS jord. En långsiktig urlakning kan medföra att stora mängder Fe och S kan lakas ut, samt att lakvattnet kan försuras. Oxidationsprocessen är reversibel. Förurningspotentialen är stor vid långvarig aerob påverkan. *Typ 1.*

Djup 4 m

Sulfidjordens vattenkvot ligger på ca 60 %. Sulfidjordens Fe/S-kvot är ca 7. Efter lakning i 96 h är pH ca 6,8 och det råder en svagt anaerob miljö (115 mV). Jorden är siltig lerig sulfidjord, susiLe. Förurningspotentialen bedöms vara låg - medelstor, men förurningsprocessen är långsam på grund av att jorden är tät. Jordens lerhalt är ca 29 %. Därmed kommer oxidationsprocessen att ske långsamt i jorden. Bästa sättet att omhänderta uppgrävda jordmassor av denna typ är att ej utsätta jorden för en långvarig oxidation (luftning). Jordens Fe halt är hög, 27000 mg/kg TS jord, och S-halten är ca 3500 mg/kg TS jord. En långsiktig urlakning kan medföra att Fe och S kan lakas ut samt att lakvattnet kan försuras. Oxidationsprocessen är reversibel. Förurningspotentialen är låg – medelstor vid långvarig aerob påverkan. *Typ 4.*

Djup 5 m

Sulfidjordens vattenkvot ligger på ca 60 %. Sulfidjordens Fe/S-kvot är ca 223. Efter lakning i 96 h är pH ca 7,4 och det råder en svagt anaerob miljö (140 mV). Jorden är något sulfidhaltig siltig lera, (su)siLe. Jordens lerhalt är ca 34 %. Jorden kan anses sakna förurningspotential. Jordens Fe halt är hög, 29000 mg/kg TS jord, och S-halten är ca 132 mg/kg TS jord. Förurningspotentialen är låg. *Typ 5.*

6.8 Enaxiella tryckförsök

6.8.1 Inledning

Enaxiella tryckförsök har utförts för att bestämma de tillverkade provkropparnas maximala tryckspänning och last-deformationssamband. Tillvägagångssätt för tillverkning av provkropparna beskrivs i avsnitt 5-6. Studiens omfattning och utförande beskrivs i avsnitt 5-6 - 5-7.

Utvärdering av skjuvhållfasthet bedöms osäkert m.a.p. brottfigurens utseende. Det kan ej säkert konstateras att brottet för de olika provkropparna är ett skjuvbrott, dvs. en plan brottyta i ca 45° lutning. Tryckspänningen anses representera jämförbara resultat för samtliga uppkomna brottyper. En ungefärlig skjuvhållfasthet går att utvärdera genom att halvera tryckspänningen.

Resultaten från provning av samtliga inblandningsprov är sammanställda i tre diagramtyper. Först presenteras maximal tryckspänning för samtliga bindemedel uppdelade på utförda provdjup, sedan maximal tryckspänning för respektive bindemedel som variation med djupet och slutligen provkropparnas tryckspänning som funktion av deformationen.

Figur 6-12 – 6-15 visar samtliga tillverkade provs maximala tryckspänning uppdelade på djup. Staplarna i diagrammen visar resultatet från A- respektive B-prov bredvid varandra. Provens maximala tryckspänning som funktion av djupet presenteras i figur 6-16 – 6-21. För varje djup anges ett medelvärde av A- och B-provet för respektive blandning. Figurerna är sammanställda utifrån variation av bindemedelstyp, bindemedelsmängd respektive lagringstid. I figur 6-22 – 6-54 presenteras provens tryckspänning som funktion av deformationen.

Stabiliseringsförsöken är utförda i tre etapper, enligt avsnitt 5.6.5. En sammanställning av resultaten från de prov som utfördes i respektive etapp presenteras i tabellform i bilaga 2. I tabellerna i bilaga 2 anges

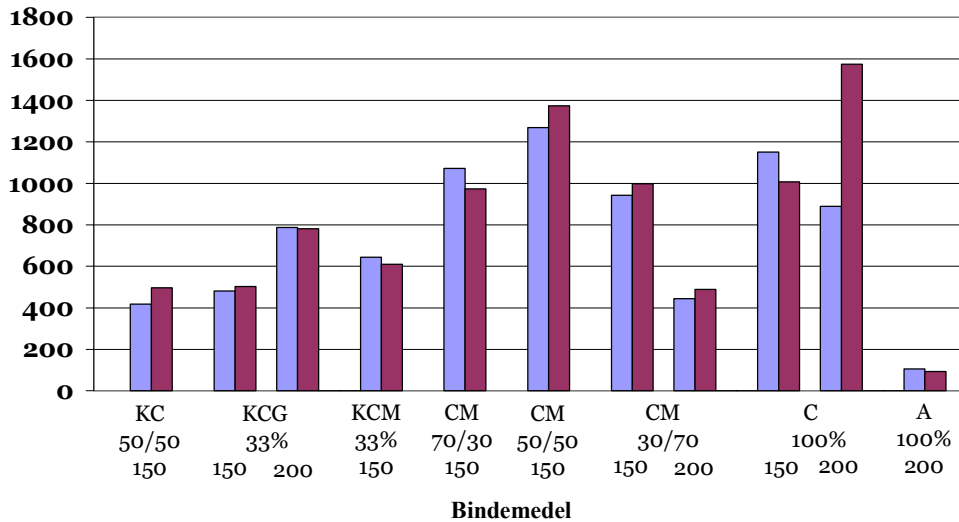
densitet och vattenkvot vid inblandnings- respektive provtrycknings-tillfället. Vid inblandningstillfället bestämdes vattenkvoten före och efter inblandning av bindemedel i jorden. Vidare anges uppnådd maximal tryckspänning.

6.8.2 Maximal tryckspänning för varje djup och prov

I stapeldiagrammen i figur 6-12 – 6-15 presenteras maximal tryckspänning erhållen från enaxiella tryckförsök utförda på dubbelprov för olika bindemedelstyper och inblandningsmängder. Lagringstiderna är 28 och 90 dygn. I figur 6-13 och 6-14 representerar de svarta staplarna prov med 90 dygns lagringstid och de ljusare är prov med 28 dygns lagringstid. Resultaten presenteras för varje djup, dvs. 2,5-3 m, 3,5 m, 4 m och 5 m. De olika bindemedlen presenteras i samma inbördes ordning, från vänster till höger, i de olika diagrammen. Under varje dubbelstapel anges bindemedel, andel av respektive bindemedel och bindemedelsmängd. De staplar som dessutom har siffran 90 i förklaringstexten är prov med en lagringstid på 90 dygn, övriga prov har lagringstiden 28 dygn.

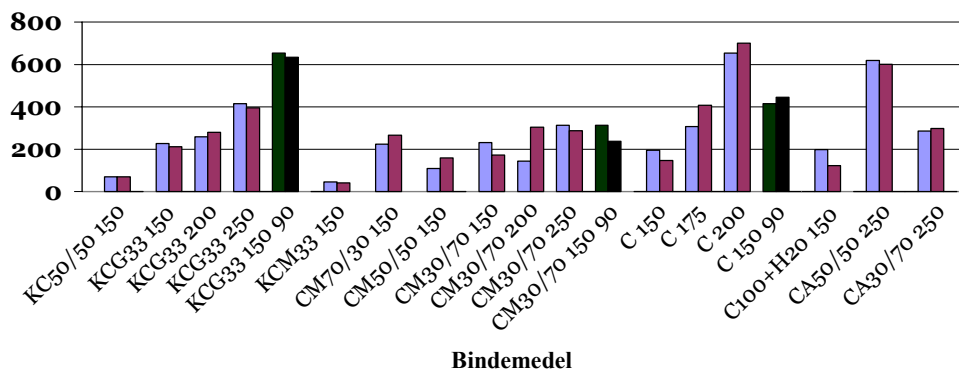
Stapeldiagrammen visar att 3,5 m och 4 m är de nivåer som generellt ger lägst resultat och är därmed svårast att stabilisera. Prov från nivåerna 2,5 m och 5 m ger höga tryckhållfastheter i jämförelse med prover från nivåerna 3,5 m och 4 m. Således har flest kombinationer m.a.p. bindemedelstyp och inblandningsmängd genomförts på ”problemdjupen” 3,5 m och 4 m.

Maximal tryckspänning [kPa]

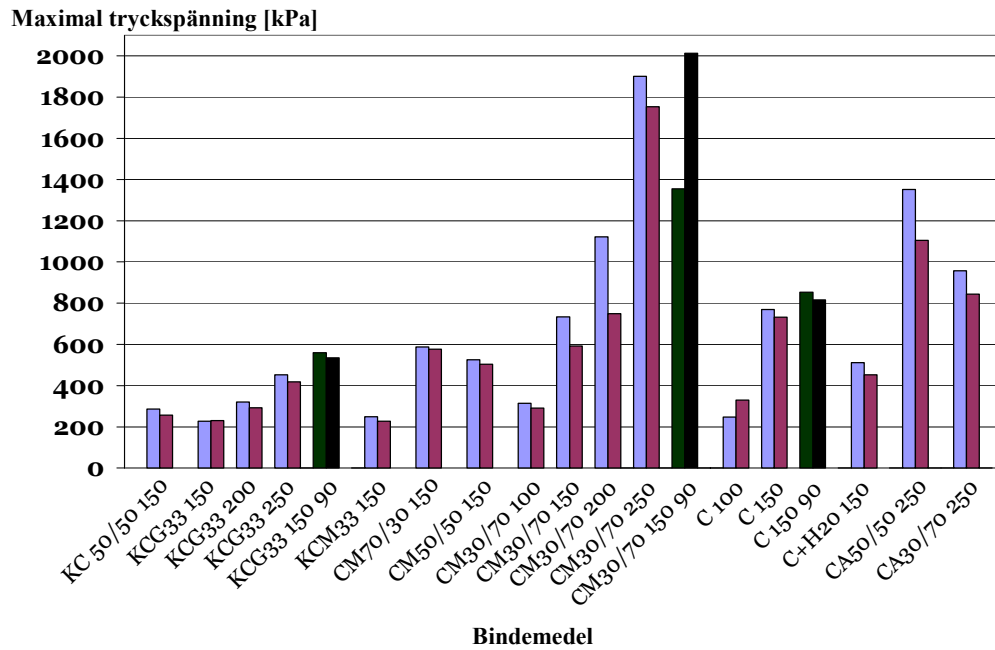


Figur 6-12 Maximal tryckspänning för dubbelprov, för olika typer, andelar och mängder bindemedel, lagringstid 28 dygn, djup 2,5-3 m.

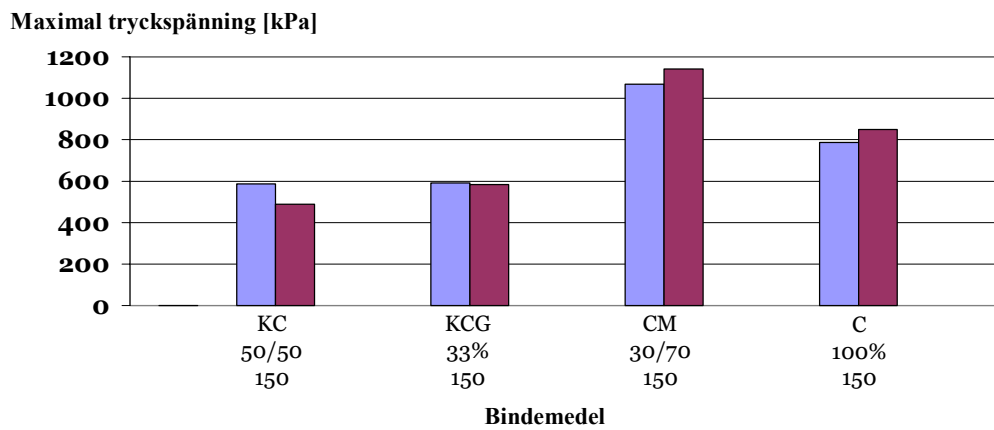
Maximal tryckspänning [kPa]



Figur 6-13 Maximal tryckspänning för dubbelprov, för olika typer, andelar och mängder bindemedel, lagringstid 28 respektive 90 dygn, djup 3,5 m.



Figur 6-14 Maximal tryckspänning för dubbelprov, för olika typer, andelar och mängder bindemedel, lagringstid 28 respektive 90 dygn, djup 4 m.



Figur 6-15 Maximal tryckspänning för dubbelprov, för olika typer, andelar och mängder bindemedel, lagringstid 28 dygn, djup 5 m.

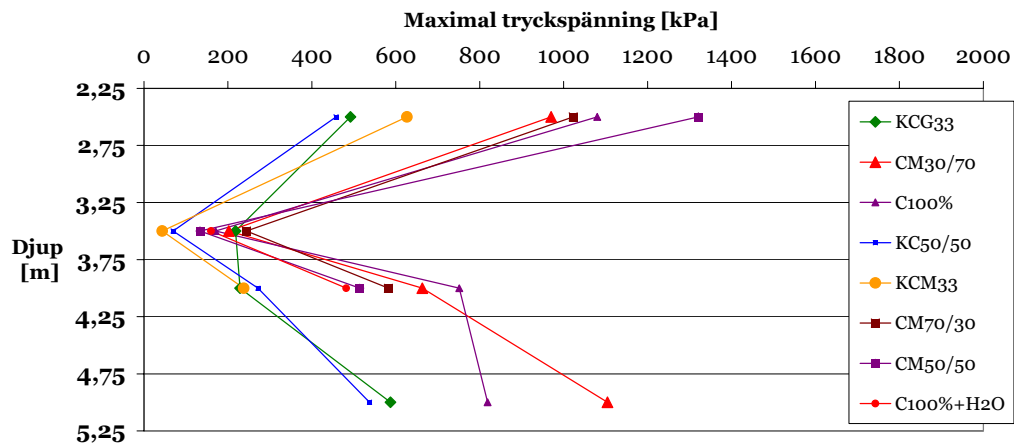
6.8.3 Maximal tryckspänning som funktion av djupet för varje blandning

Maximal tryckspänning som funktion av djupet är sammanställda utifrån bindemedelstyp med varierande inblandningsmängd och lagringstid respektive samma inblandningsmängd med olika bindemedelstyper. På varje djup anges ett medelvärde av A- och B-provet för respektive blandning och dessa punkter har sedan sammanbundits med en heldragen linje. Varje kombination anges med en unik symbol.

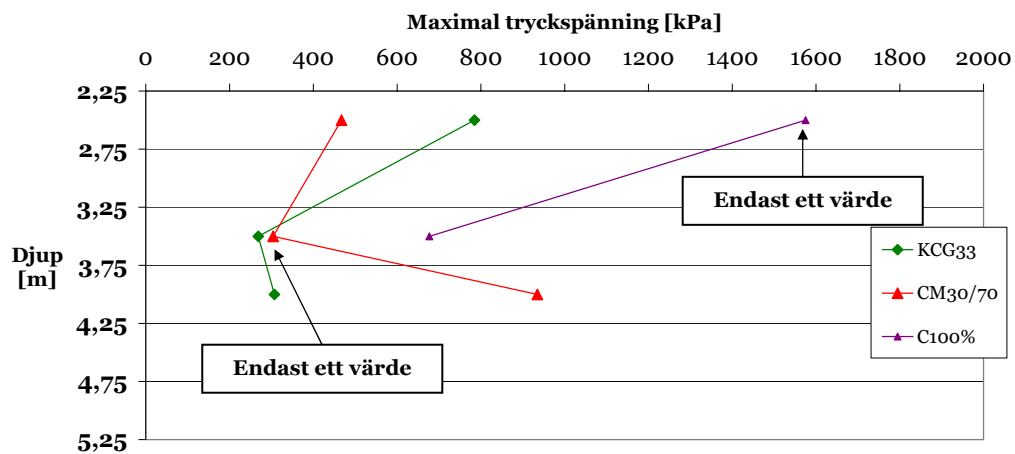
Figur 6-16 – 6-18 visar maximal tryckhållfasthet för de olika bindemedlen med samma inblandningsmängd. I diagrammen framgår tydligt hur samtliga bindemedel uppvisar lägst hållfasthet på djupet 3,5 m. Kalk/cement/gips (KCG 33 %) är det bindemedel som varierar minst i maximal tryckspänning genom jordprofilen vilket är fördelaktigt utifrån målet att få en så jämn hållfasthet som möjligt i en pelare i fält. Kalk/cement som undersökts på alla djup i referenssyfte, är den blandning som tillsammans med kalk/cement/merit (KCM 33 %) överlag uppnått de lägsta hållfastheterna.

Figur 6-19 – 6-21 visar bindemedelsmängdens och lagringstidens betydelse för hållfasthetsökningen hos KCG 33 %, CM 30/70 respektive C 100 %. Resultaten är de förväntade, eftersom hållfastheten ökar med ökad inblandningsmängd respektive lagringstid, i alla fall utom för CM 30/70, figur 6-20. Detta bindemedel visar, på nivån 2,5-3 m, högre hållfasthet vid en inblandningsmängd på 150 kg/m³ än vid 200 kg/m³. Anledningen till detta märkliga resultat är oklar. Dokumentationen från inblandningstillfället har studerats ingående utan att finna några felaktigheter vid beräknad inblandningsmängd. Att proverna förväxlats med varandra är också uteslutet då dessa är utförda vid olika tidpunkter och resultaten är daterade.

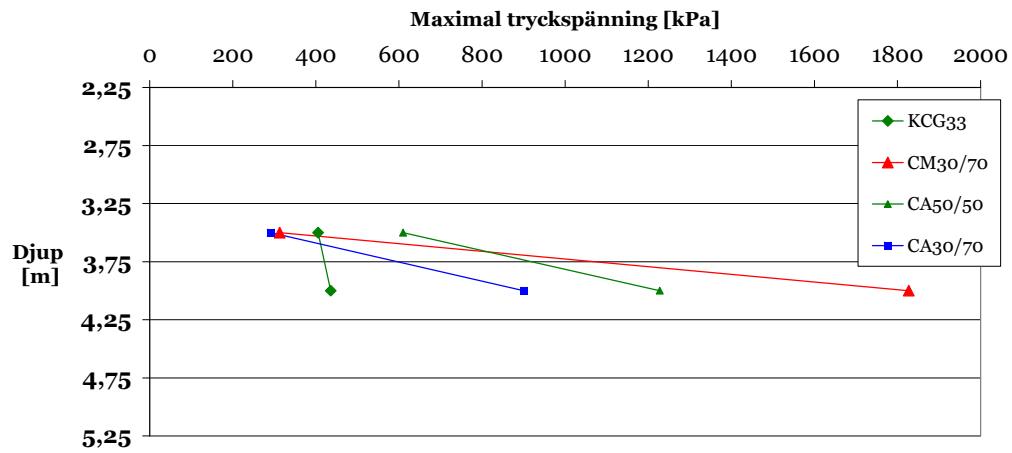
På nivån 3,5 m visar KCG 33 % stor hållfasthetsökning mellan 28 och 90 dygns lagringstid. CM 30/70 uppvisar ingen större förändring m.a.p. både inblandningsmängd respektive lagringstid på nivån 3,5 m. C 100 % erhåller däremot högre hållfasthetsökning vid ökad inblandningsmängd än lagringstid för nivån 3,5 m.



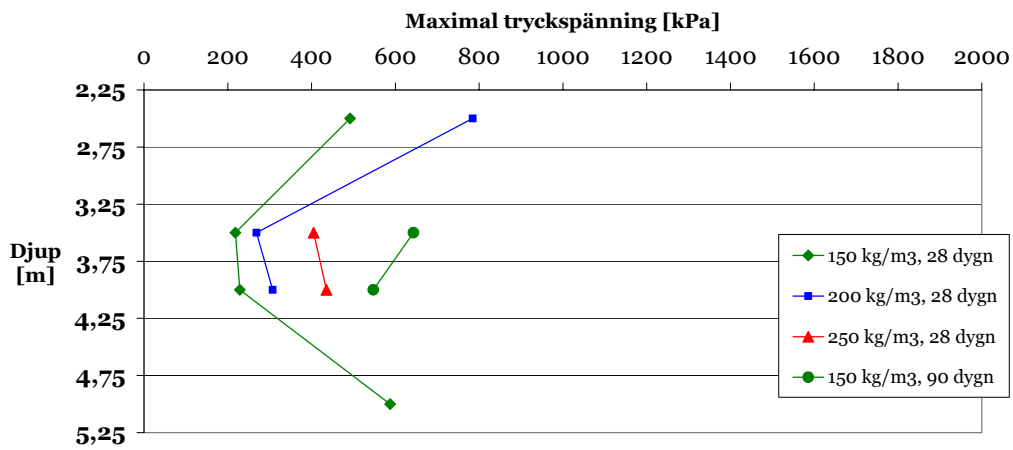
Figur 6-16 Tryckspänning vid brott som funktion av djupet. Bindemedelsmängd 150 kg/m³, 28 dygn. Medelvärden på A- och B-proven.



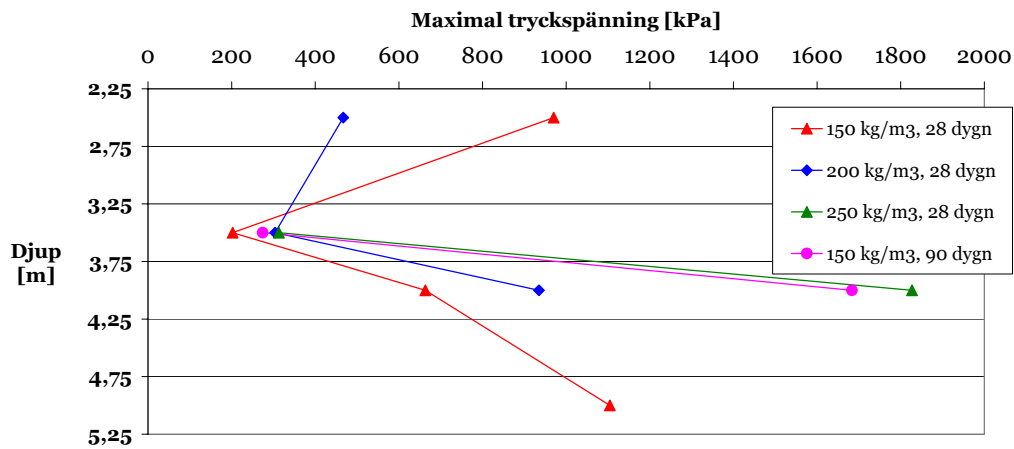
Figur 6-17 Tryckspänning vid brott som funktion av djupet. Bindemedelsmängd 200 kg/m³, 28 dygn. Medelvärden på A- och B-proven.



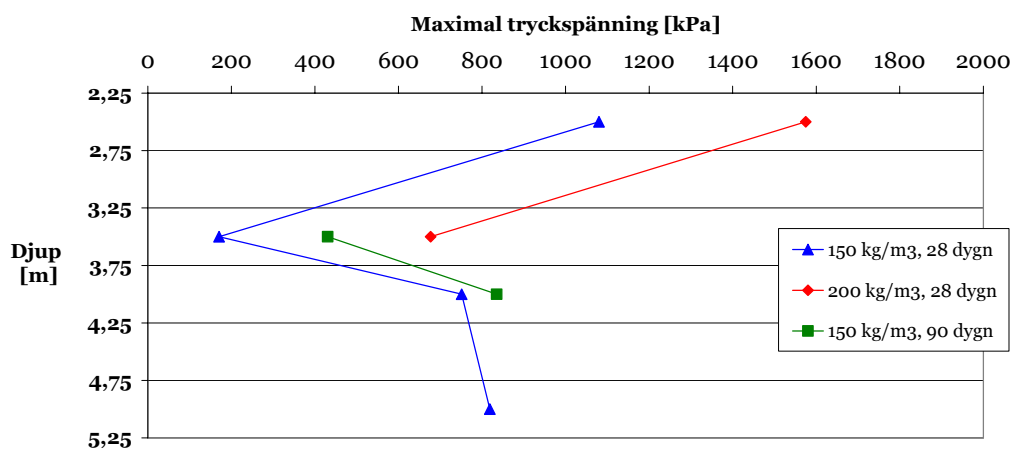
Figur 6-18 Tryckspänning vid brott som funktion av djupet. Bindemedelsmängd 250 kg/m³, 28 dygn. Medelvärden på A- och B-proven.



Figur 6-19 Tryckspänning vid brott som funktion av djupet. Bindemedel KCG 33%. Medelvärden på A- och B-proven.



Figur 6-20 Tryckspänning vid brott som funktion av djupet. Bindemedel CM 30/70. Medelvärden på A- och B-proven.



Figur 6-21 Tryckspänning vid brott som funktion av djupet. Bindemedel C 100%. Medelvärden på A- och B-proven.

6.8.4 Last - deformationssamband för varje blandning

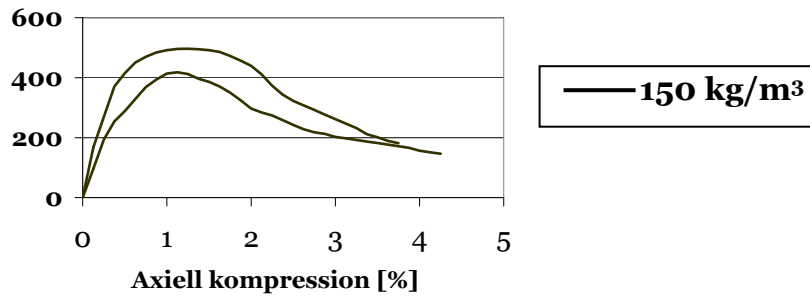
Last - deformationssamband erhållna från enaxliga tryckförsök utförda på samtliga tillverkade provkroppar, presenteras i figur 6-22 – 6-54. De olika linjetyperna anger variation av bindemedel, inblandningsmängd eller lagringstid. Kurvorna är indelade och presenterade efter djup. Dubbelprov har utförts.

Enbart cement (C 100 %) och cement/merit (CM) främst i förhållandena 70/30 respektive 50/50 är de blandningar som generellt ger sprödest brott, d.v.s. en kraftig och snabb reduktion av tryckspänningen efter uppnått maxvärde. Dessa bindemedel ger också de högsta hållfasthetsvärdena förutom på djup 3,5 m. KC 50/50, KCG 33 % och KCM 33 % ger däremot ett segt brott, d.v.s. en relativt långsam reduktion av tryckspänningen efter uppnått maxvärde. På 3,5 m djup ligger tryckhållfastheten för CM 50/50 och C 100 % lägre än för KCG 33 %. CM 70/30 ligger ungefär på samma hållfasthet som KCG 33 % och CM 30/70 på djup 3,5 m. Valet att variera inblandningsmängderna för just CM 30/70 gjordes utifrån det faktum att innehållet av cement var lägre i denna blandning. Meritens eventuella påverkan på hållfasthetstillväxten avsågs att studeras och CM 70/30 antogs innehålla så mycket cement att blandningen skulle erhålla en liknande hållfasthetstillväxt som C 100 %.

Inblandningsförsöken utfördes, som beskrivet i avsnitt 5.6, i tre etapper. Vid provtryckningen av den första etappens prover upptäcktes ett par problem i provutrustningen. Den lastcell som användes visade sig inte klara de höga lastnivåer som krävdes för att uppnå brott i provkropparna. Ett försök, prov CM 30/70 (150 kg/m³, 28 dygn), blev till följd av detta avbrutet vid tryckspänningen 1000 kPa, se figur 6-26. Efter detta försök byttes till en lastcell som klarade tryckspänning upp till 10 000 kPa. Denna användes även i följande etapper. Vidare upptäcktes ett märkligt "hack" i kurvorna vilket upphörde efter bytet av lastcell. Efterföljande diskussioner ledde till den sannolika förklaringen att riggen ej var helt fastgängad. Oket lyftes upp något vid en viss kraft, motsvarande ca 100 kPa, vilket resulterade i ett hack i deformationskurvan i detta läge. Provets utvärderade maximala tryckspänning anses dock ej ha påverkats av det inträffade. I figur 6-23 (KCG 33 %) visas ett tydligt exempel på skillnaden mellan deformationskurvorna från respektive lastcell. De heldragna linjerna är utförda med den första lastcellen och ett hack syns vid ca 100 kPa medan de streckade linjerna är utförda med den kraftigare lastcellen. Kommentarer till utseendet hos provkropparna före och efter tryckförsöken redovisas i bilaga 3.

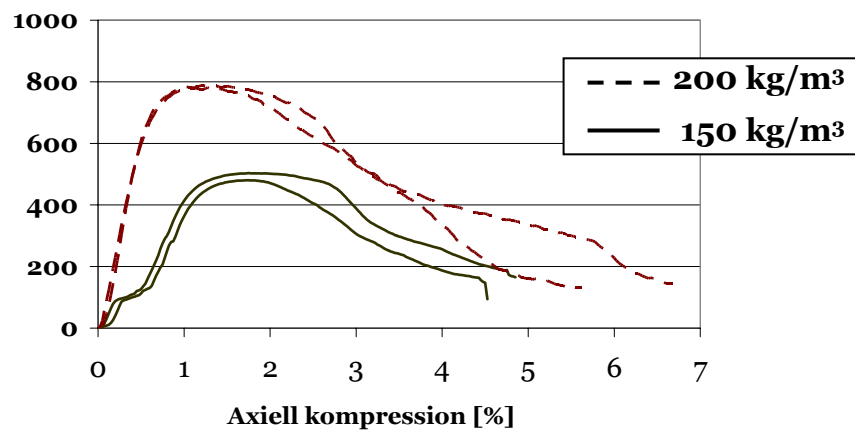
Djup 2,5- 3 m

Tryckspänning [kPa]



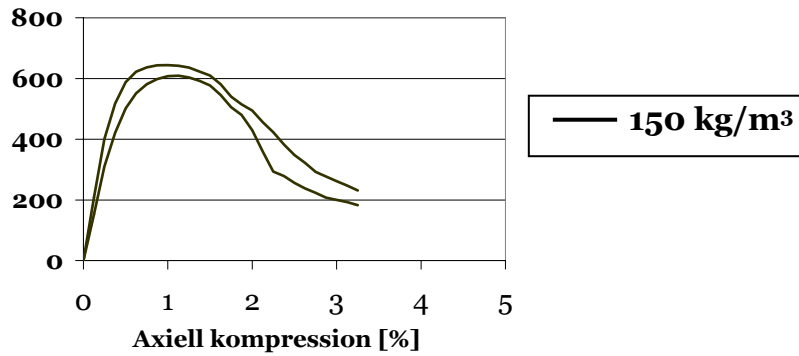
Figur 6-22 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov KC 50/50, 150 kg/m³, djup 2,5-3 m.

Tryckspänning [kPa]



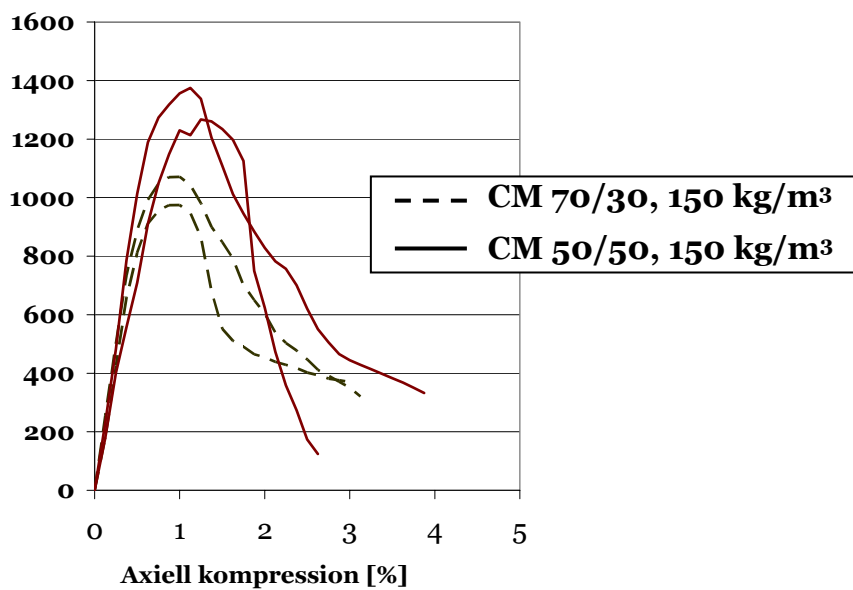
Figur 6-23 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov KCG 33 %, 150 respektive 200 kg/m³, djup 2,5-3 m.

Tryckspänning [kPa]



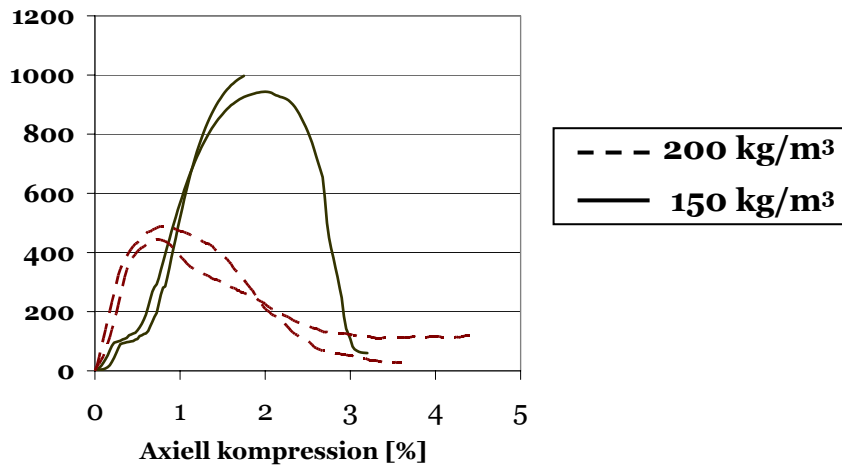
Figur 6-24 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov KCM 33 %, 150 kg/m³, djup 2,5-3 m.

Tryckspänning [kPa]



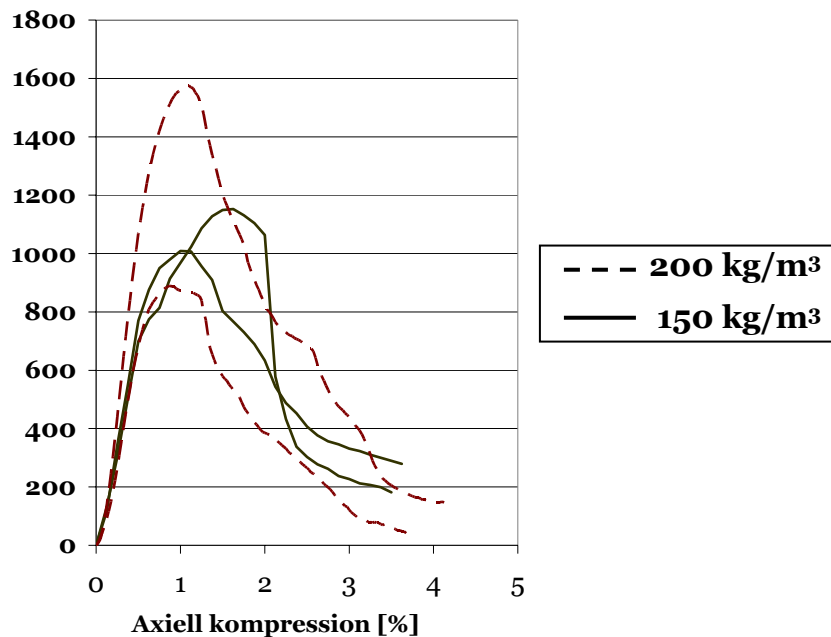
Figur 6-25 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbel prov CM 70/30 respektive CM 50/50, 150 kg/m³, djup 2,5-3 m.

Tryckspänning [kPa]

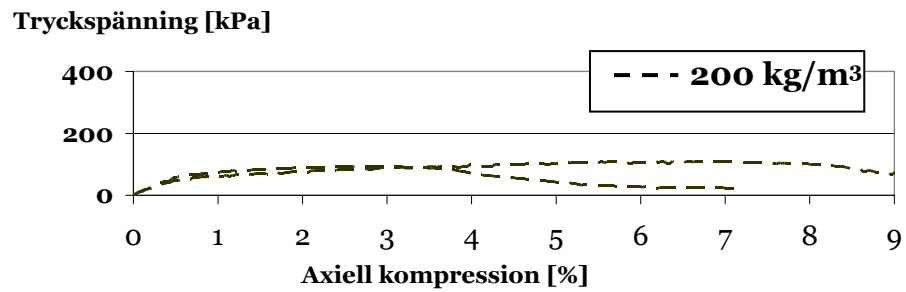


Figur 6-26 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov CM 30/70, 150 respektive 200 kg/m³, djup 2,5-3 m.

Tryckspänning [kPa]

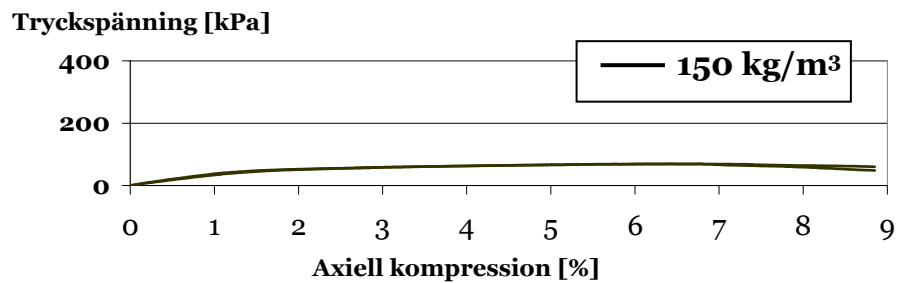


Figur 6-27 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov C 100 %, 150 respektive 200 kg/m³, djup 2,5-3 m.

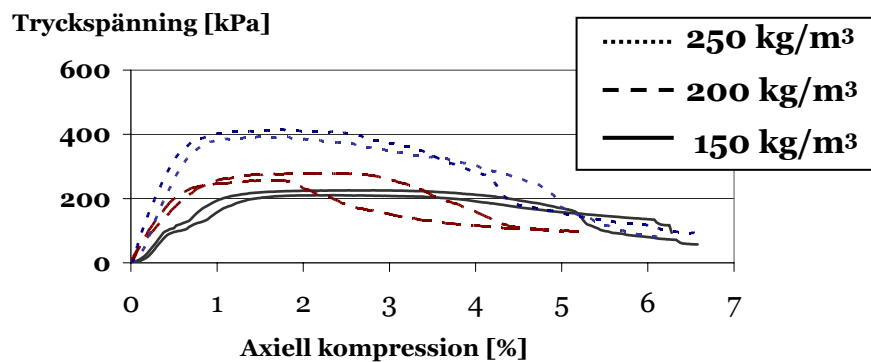


Figur 6-28 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov A 100 %, 200 kg/m³, djup 2,5-3 m.

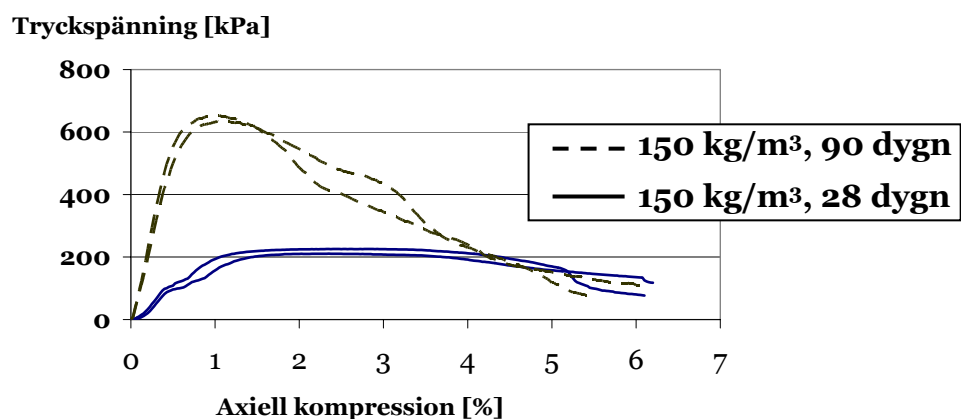
Djup 3,5 m



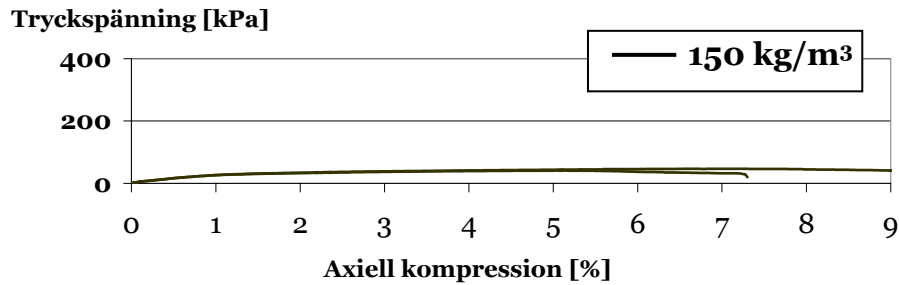
Figur 6-29 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov KC 50/50, 150 kg/m³, djup 3,5 m.



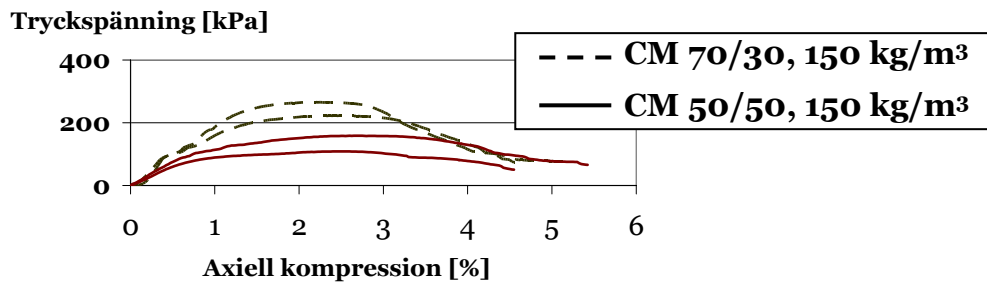
Figur 6-30 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov KCG 33 %, 150, 200 respektive 250 kg/m³, djup 3,5 m.



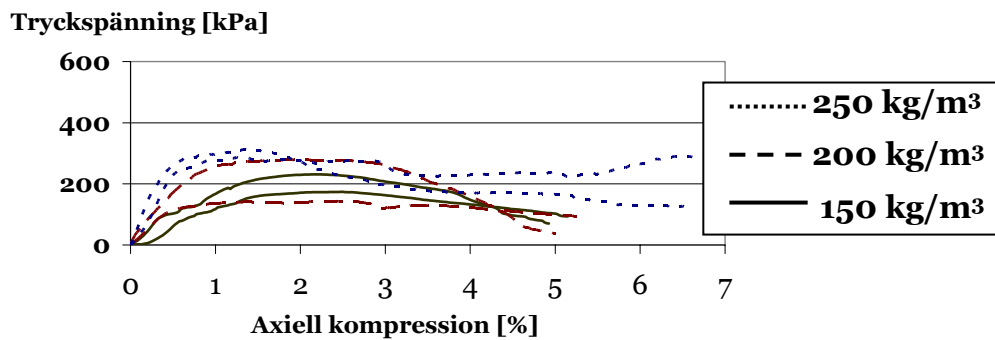
Figur 6-31 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 och 90 dygn på dubbelprov KCG 33 %, 150 kg/m³, djup 3,5 m.



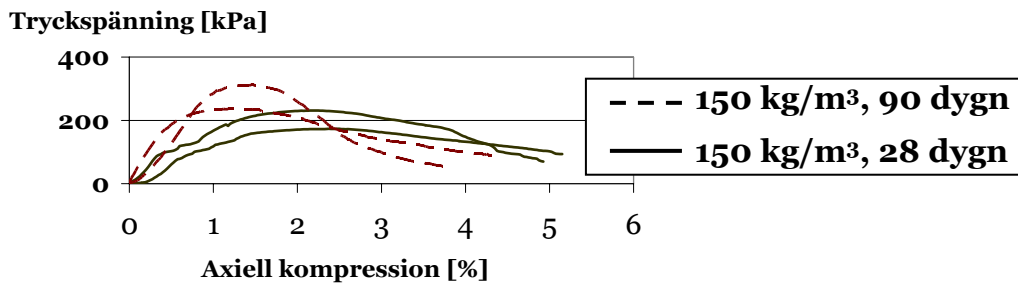
Figur 6-32 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov KCM 33 %, 150 kg/m³, djup 3,5 m.



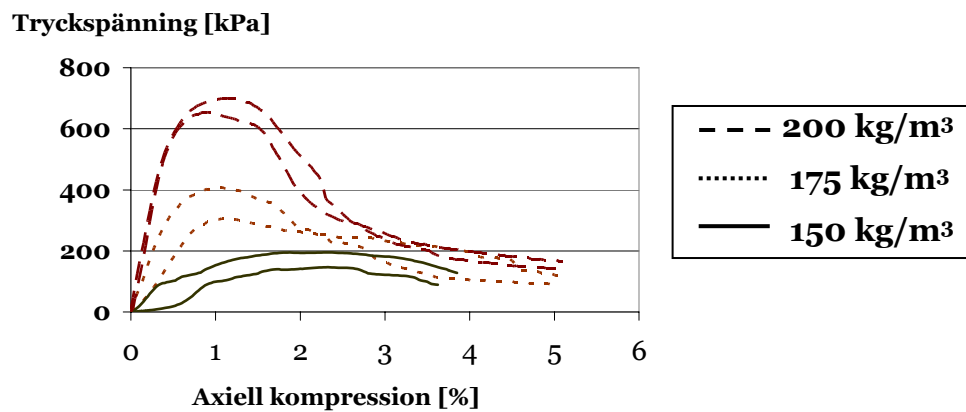
Figur 6-33 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov CM 70/30 respektive 50/50, 150 kg/m³, djup 3,5 m.



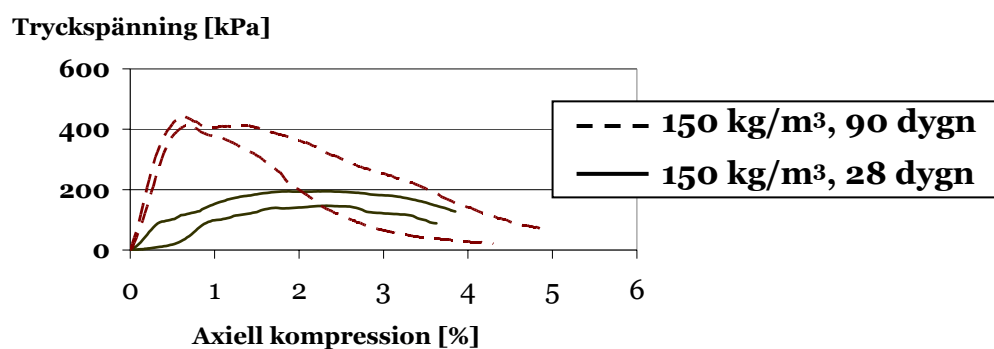
Figur 6-34 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov CM 30/70, 150, 200 respektive 250 kg/m³, djup 3,5 m.



Figur 6-35 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 och 90 dygn på dubbelprov CM 30/70, 150 kg/m³, djup 3,5 m.

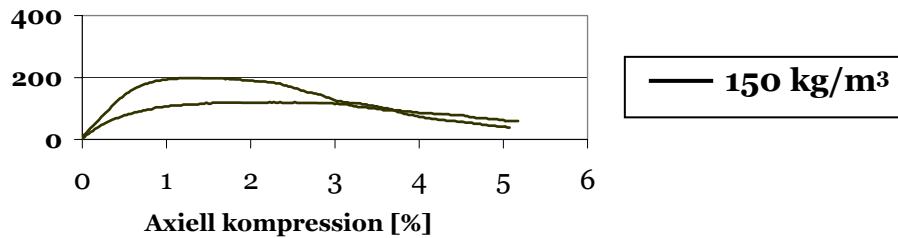


Figur 6-36 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov C 100 %, 150, 175 respektive 200 kg/m³, djup 3,5 m.



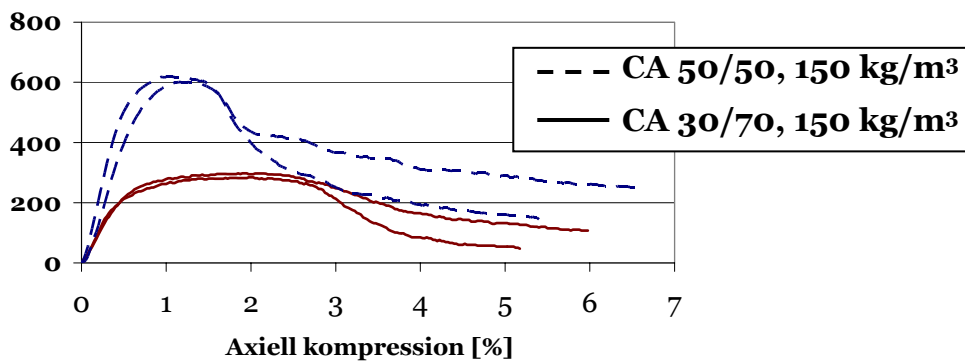
Figur 6-37 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 och 90 dygn på dubbelprov C 100 %, 150 kg/m³, djup 3,5 m.

Tryckspänning [kPa]



Figur 6-38 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov C 100 % + vatten, 150 kg/m³, djup 3,5 m.

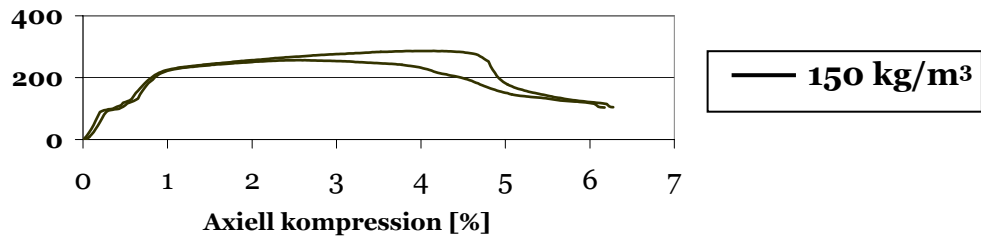
Tryckspänning [kPa]



Figur 6-39 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov CA 50/50 respektive 30/70, 150 kg/m³, djup 3,5 m.

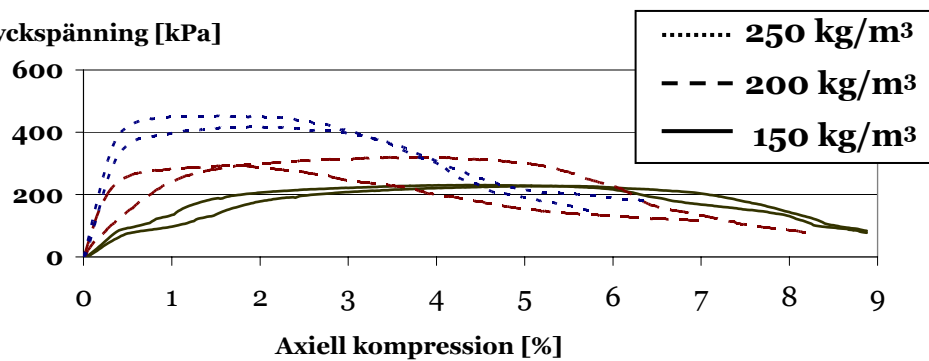
Djup 4 m

Tryckspänning [kPa]



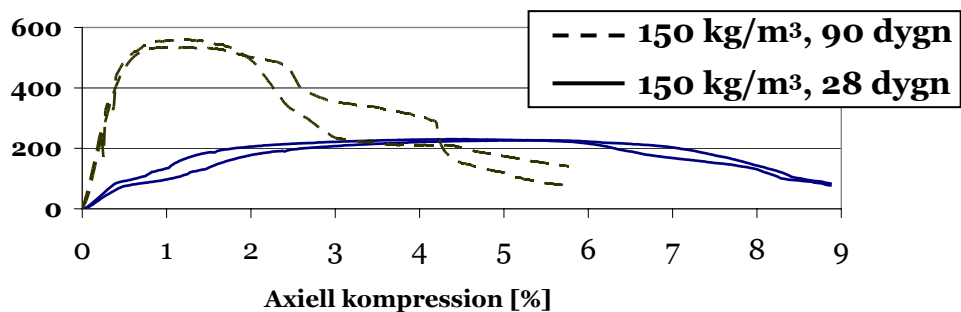
Figur 6-40 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov KC 50/50, 150 kg/m³, djup 4 m.

Tryckspänning [kPa]



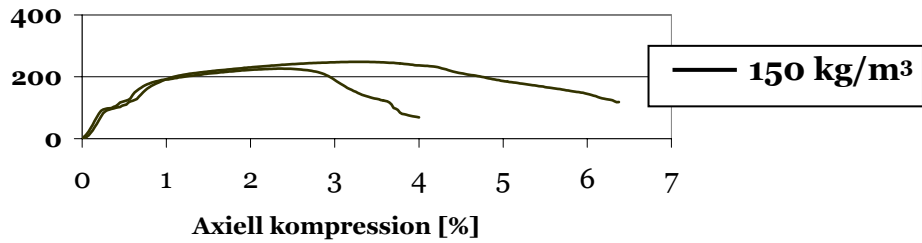
Figur 6-41 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov KCG 33 %, 150, 200 respektive 250 kg/m³, djup 4 m.

Tryckspänning [kPa]



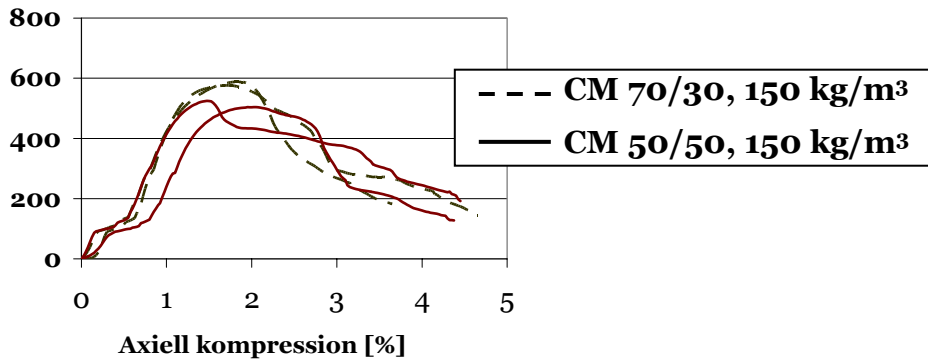
Figur 6-42 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 och 90 dygn på dubbelprov KCG 33 %, 150 kg/m³, djup 4 m.

Tryckspänning [kPa]

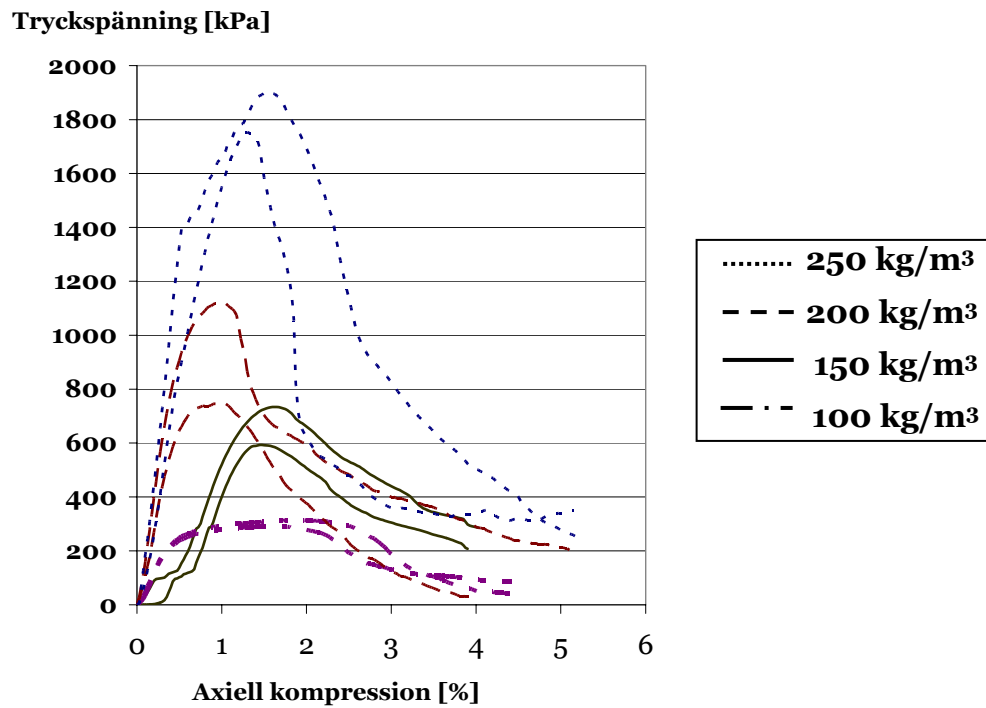


Figur 6-43 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov KCM 33 %, 150 kg/m³, djup 4 m.

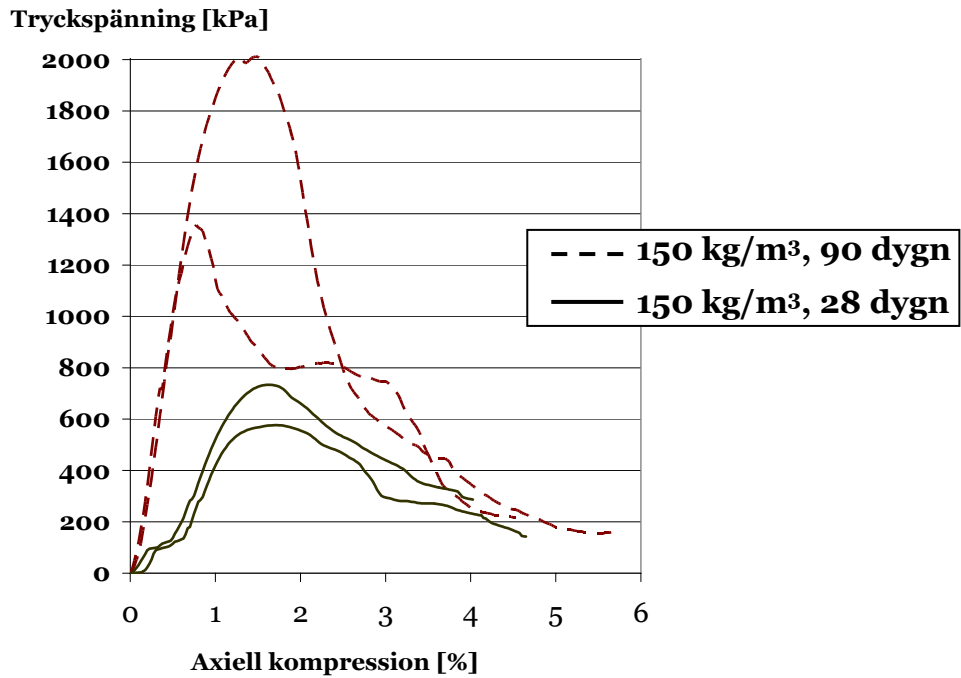
Tryckspänning [kPa]



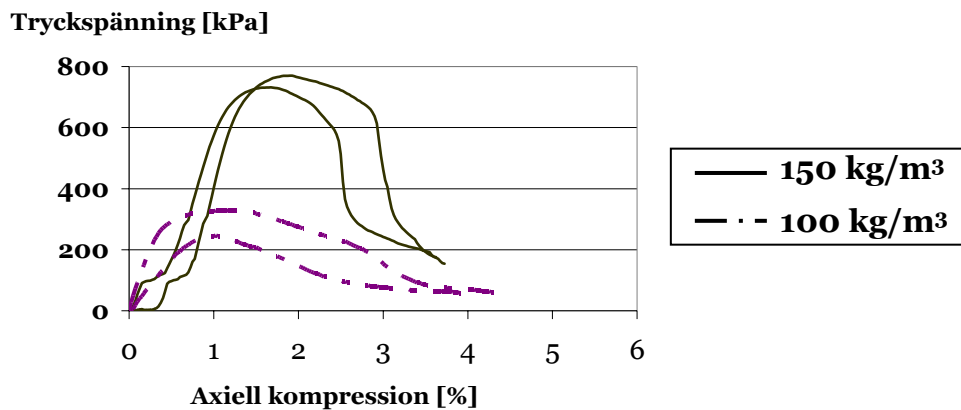
Figur 6-44 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov CM 70/30 respektive 50/50, 150 kg/m³, djup 4 m.



Figur 6-45 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov CM 30/70, 100, 150, 200 respektive 250 kg/m³, djup 4 m.

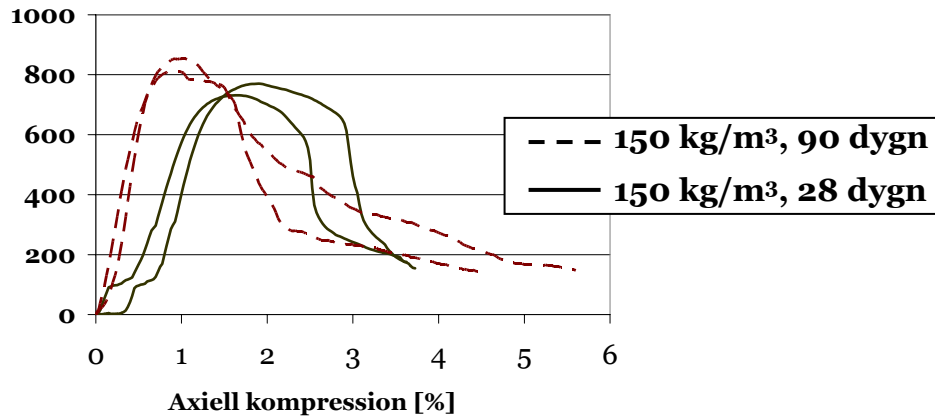


Figur 6-46 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 och 90 dygn på dubbelprov CM 30/70, 150 kg/m³, djup 4 m.



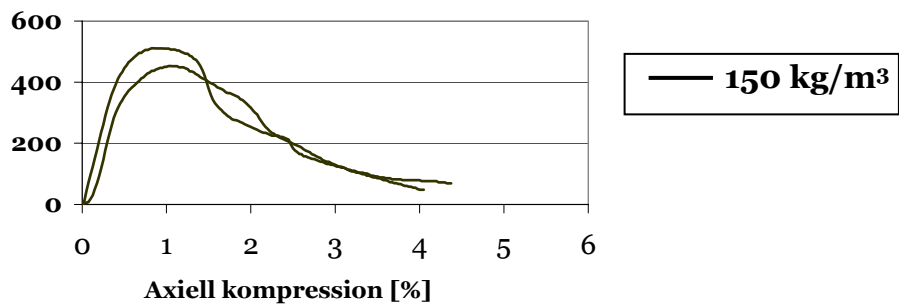
Figur 6-47 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov C 100 %, 100 respektive 150 kg/m³, djup 4 m.

Tryckspänning [kPa]

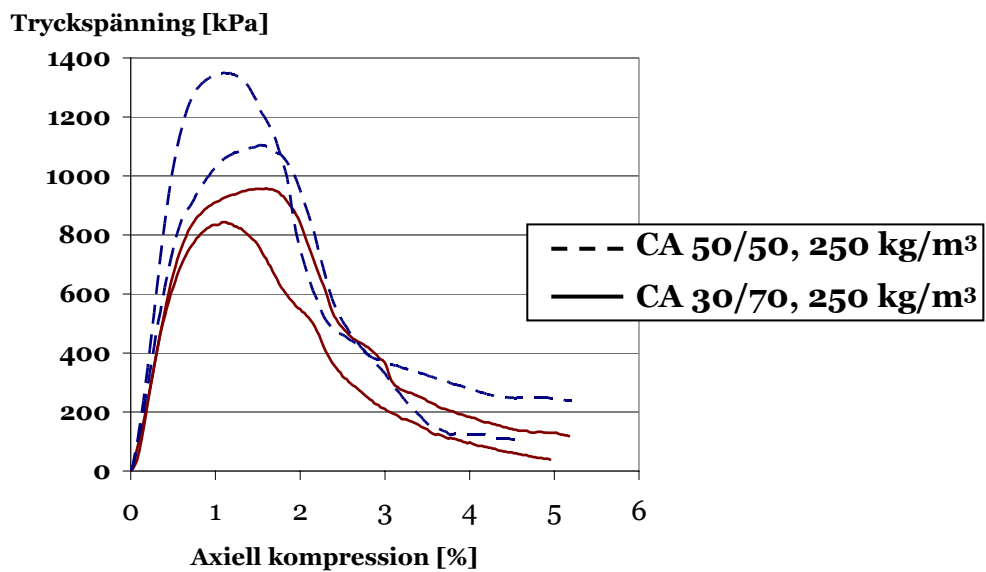


Figur 6-48 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 och 90 dygn på dubbelprov C 100 %, 150 kg/m³, djup 4 m.

Tryckspänning [kPa]



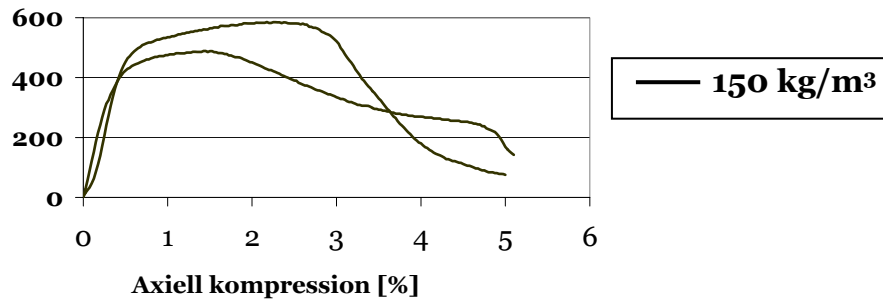
Figur 6-49 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov C 100 % + vatten, 150 kg/m³, djup 4 m.



Figur 6-50 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov CA 50/50 respektive 30/70, 250 kg/m³, djup 4 m.

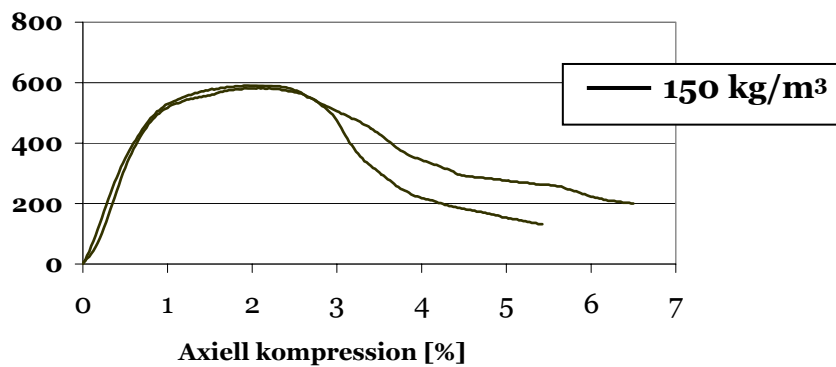
Djup 5m

Tryckspänning [kPa]



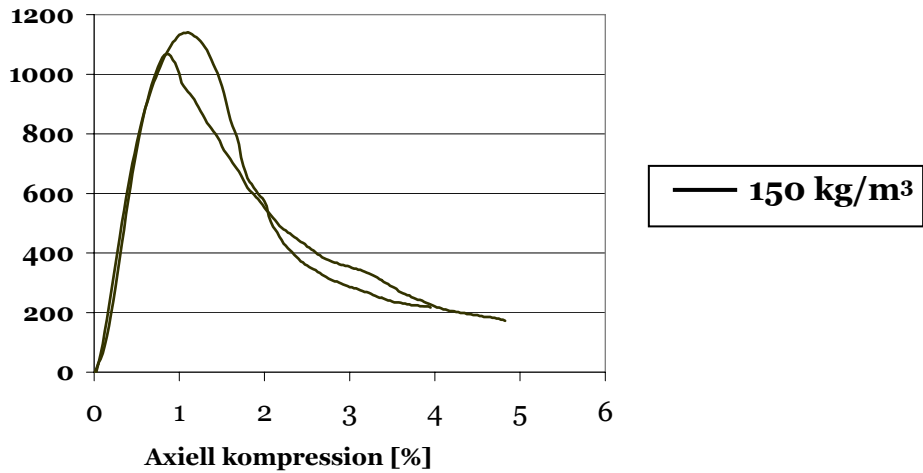
Figur 6-51 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov KC 50/50, 150 kg/m³, djup 5 m.

Tryckspänning [kPa]



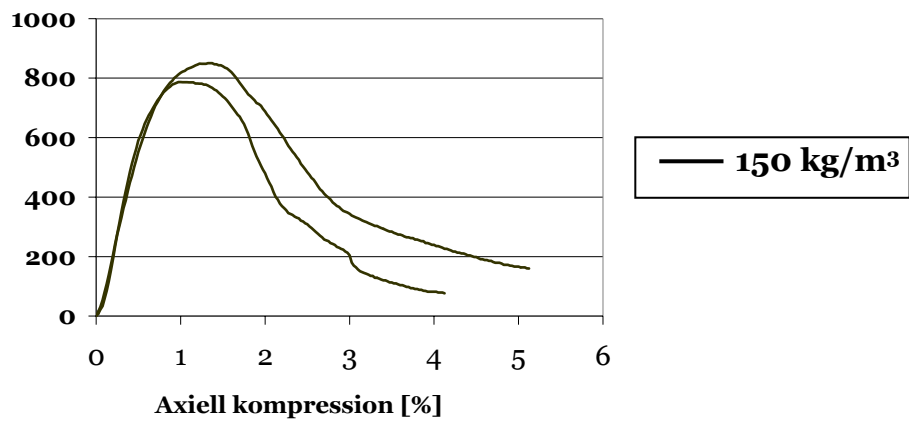
Figur 6-52 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov KCG 33 %, 150 kg/m³, djup 5 m.

Tryckspänning [kPa]



Figur 6-53 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov CM 30/70, 150 kg/m³, djup 5 m.

Tryckspänning [kPa]



Figur 6-54 Resultat från enaxliga tryckförsök utförda efter 28 dygn på dubbelprov C 100 %, 150 kg/m³, djup 5 m.

7 Diskussion

7.1 Inledning

I detta kapitel diskuteras erfarenheter från utförd inventering, resultaten av genomförda laboratorieförsök och försöksförfarande i denna studie. Erhållna resultat kommenteras och förklaringar ges till oklarheter och avvikelser avseende resultat och försöksförfarande.

Sammanställningen av tidigare utförda projekt om stabilisering av sulfidjord visar att andra bindemedelskombinationer än kalk/cement krävs för att kunna stabilisera sulfidjord på ett tillfredsställande sätt. Examensarbetets laboratoriestudie visar på skillnader mellan olika bindemedels stabiliseringseffekt i de olika typer av sulfidjord som förekommer i projektets provlokal. Sulfidjorden på de olika djupen i provlokalen är karakteriserade enligt Mácsik (2000).

Frågan om det är möjligt att stabilisera sulfidjord kräver både laboratorie- och fältundersökningar för att kunna ges ett tillförlitligt svar. Genomförd inventering samt laboratoriestudie visar att det åtminstone i laboratoriemiljö är möjligt att uppnå en god stabiliserande effekt.

7.2 Inventering

Inventeringen är en sammanställning av projekt där sulfidjord förekommit varvid stabiliseringsresultatet vid de olika projekten studerats. Syftet med inventeringen har varit att undersöka vilka olika aspekter som kan ha haft betydelse för stabiliseringsresultatet. Generellt kan sägas att det traditionella bindemedlet kalk/cement uppvisar relativt låg hållfasthet hos en stabiliserad jord som innehåller sulfid. Ökad mängd

bindemedel (kalk/cement) har i vissa fall prövats och påvisar då en högre, dock fortfarande låg, hållfasthet. Det kan således inte ses som en lösning, (och är ibland inte en möjlig lösning), att använda denna blandning och uppnå hållfasthetskraven genom att öka inblandningsmängden tillräckligt mycket. Det är hållfasthetsmässigt otillräckligt och oekonomiskt. Jordar utan innehåll av sulfid som stabiliserats med motsvarande mängd enbart cement ger en högre hållfasthet. Däremot blir den stabiliserade jorden sprödare. En blandning av cement och andra bindemedel medför också ett segare brott för den stabiliserade jorden än om stabilisering skett med enbart cement.

Andra, nyare bindemedelstyper som har testats i en del av de undersökta projekten, har i en del fall gett högre hållfastheter än kalk/cement med motsvarande inblandningsmängd. Exempel på sådana bindemedelskombinationer är LD-slagg/cement, Finnstabi/cement samt Lohjamix (består av olika typer av cement, flygaska och masugnsslagg). I laboratorium ger dessa blandningar oftast en avsevärd hållfasthetsökning jämfört med kalk/cement. I exempelvis jord från Sunderbyn, figur 2-4, kan en tydlig skillnad ses mellan kalk/cement och LD-slagg/cement. LD-blandningen ger här en skjuvhållfasthet på 131 kPa mot kalkblandningens 73 kPa. Vidare ses skillnader i projektet i Askersund, figur 2-12, mellan kalk/cement och Finnstabi/cement där den senare blandningen uppnår en skjuvhållfasthet på 486 kPa och kalk/cement 222 kPa. Noterbart i Askersund är dock att Lohjamix V15 erhåller ett lägre resultat än kalk/cement medan Lohjamix K2 uppnår ett resultat mittemellan kalk/cement och Finnstabi/cement. Olika typer av Lohjamix ger alltså olika resultat. Avslutningsvis visar resultaten från Bettna-Flen, figur 2-13 och 2-14, tydliga skillnader mellan kalk/cement och Lohjamix. Lohjamix ger här 3-6 gånger så hög skjuvhållfasthet i laboratorieförsök. Jorden i Bettna innehöll dock ingen sulfid utan studien undersöktes på grund av att dess upplägg liknade sulfidjordsprojektet.

Generellt kan sägas att fältresultaten uppvisar lägre odränerad skjuvhållfasthet än laboratorieresultaten. Detta kan bero på flera saker. Skillnader i inblandningsprocessen är en avgörande faktor. I fält erhålls ej lika bra blandning som i laboratoriet. Provningsförfarandet och utvärderingen av skjuvhållfasthet sker på olika sätt vid laboratorie- respektive fältförsök. I laboratoriet undersöks vanligen tillverkade provkroppar med enaxiellt tryckförsök medan fältresultat oftast erhålls genom sondering. Val av sonderingsmetod påverkar dessutom resultatet. I fält finns faktorer som vattentillgång, permeabilitet och

temperatur som kan skilja sig från laboriemiljön där detta styrs noggrant och kontrollerat. Ett projekt avviker dock från detta mönster och uppvisar högre hållfasthet i fält än i laboriet, Arboga, figur 2-8 och 2-9. Anledningen till detta kan bara spekuleras i och denna spekulering utelämnas här.

Den genomförda inventeringen är en sammanställning av erhållna resultat inom stabilisering av sulfidjord. Möjligen finns ytterligare något projekt som inte identifierats och uteblivit från sammanställningen, men ovan nämnda stabiliseringseffekter och dess beroende av bindemedels- och jordtyper kan ändå relativt säkert klarläggas.

7.3 Rutinundersökningar

Rutinundersökningarna visar ett tydligt samband mellan skrymdensitet, vattenkvot och glödningsförlust. Då skrymdensiteten är låg är vattenkvoten hög och glödningsförlusten stor och vice versa. Järninnehållet är högt vid samtliga undersökta djup. Innehållet av svavel är också högt ner till ca 3-3,5 m djup och minskar sedan med djupet. Utförda sedimentationsförsök visar att jorden på djup 2,5-5 m har en lerhalt mellan ca 29-35 % och en silthalt mellan ca 65-71 %. Ler- och silthaltens variation över djupet är således liten. Djup 3,5 m uppvisar låga värden på redoxpotential (ca -200 mV) och höga värden på konduktivitet ($> 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$), som uppmäts vid lakförsök. Figur 6-10 visar sedimentationskurvan för prov från djup 4 m. De två topparna i sedimentationskurvan antas vara felaktiga och beror troligen på misstag vid utförandet. Momentet då pipetten sänks ner i mätglaset för att suga upp suspensionen kräver stor precision. Suspensionen och dess innehållande partiklar kan röras om av pipetten vilket kan ge ett missvisande resultat.

7.4 Inblandningsprocess

Inblandningsprocessen vid provtillverkningen har avbrutits då blandningen okulärt ansågs vara homogen. Inblandningstiden enligt Carlsten (2000) rekommenderas till 5-6 minuter, dvs. en tid som valts för att blandningen skall kunna antas vara homogen. Inblandningstiden i detta projekt har rört sig om 3-4 minuter, efter vilken blandningen har ansetts vara homogen. Vidare blandning har bedömts onödig då en till synes homogen blandning inte ansetts kunna bli "mer homogen". Rekommendationen enligt Carlsten (2000) m.a.p. att uppnå en "homogen blandning" har således uppfyllts och att inblandningstiden skiljer sig från rekommendationen tros därför ej ha påverkat resultatet

vid den efterföljande provtryckningen. Noterbart är dock att inblandningsenergin borde kunna ha en viss inverkan, den omnämns ej i Carlsten (2000).

Ett eventuellt tillägg i rekommendationen skulle kunna innefatta ett mer specificerat krav på inblandningsenergi, dvs. typ av inblandningsmetod, inblandningsverktyg och rotationshastighet hos blandapparaten, mm. Strävan efter att uppnå en så likartad blandning mellan jord och bindemedel i laboratoriemiljö som i fältmiljö kräver mer likartade blandningsprocesser. I dagsläget ger laboratorieresultatet ett besked om stabiliseringseffekten är bra eller dålig i en viss jordtyp och med ett visst bindemedel. Som riktvärde vid dimensionering i fält tillgodoräknas vanligtvis endast halva hållfastheten från laboratorieresultat. Kanske är vidare utveckling av inblandningsprocessen i laboratorieförsök fel ände att arbeta med, kraft bör snarare läggas på att utveckla inblandningstekniken i fält.

7.5 Enaxiella tryckförsök

De tillverkade provkropparna av jord och bindemedel var överlag av god kvalitet. Provkropparna ansågs vara homogena och dess ytor var jämna. Några undantag fanns då mindre håligheter förekom på provkropparnas ytor. Då dubbelprov tillverkades kunde eventuella avvikande resultat jämföras med den övergripande tendensen i resultat. En inblandningsserie t.ex. av samma bindemedel med ökande inblandningsmängd ger en tendens om hållfasthetens utveckling. Om en provblandnings dubbelprov gav olika resultat kunde en jämförelse med intilliggande resultat i provserien ge en indikation på vilket av de två värdena som var rimligast. I figur 6-13 presenteras resultaten från enaxiella tryckförsök för djup 3,5 m. Där ses en inblandningsserie för CM 30/70 där inblandningsmängden varierar mellan 150, 200 respektive 250 kg/m³. För inblandningsmängden 200 kg/m³ avviker resultaten kraftigt mellan dubbelproven, men tendensen hos de omgivande resultaten hos 150 respektive 250 kg/m³ tyder på att det är det högre värdet som gäller. Orsaken till det lägre värdet hos det ena provet antas i detta fall en kombination av kraftig oxidation som trängt in i provkroppen och en längsgående spricka genom provkroppen (som eventuellt skapats av oxidationen). Sammanfattningsvis kan sägas att det alltid bör göras dubbelprov för att minimera risken för feltolkningar till följd av eventuell dålig kvalitet hos tillverkad provkropp.

De enaxiella tryckförsöken utförda på de stabiliserade proven visar att jord från djupen 3,5 m och 4 m ger lägst hållfasthet medan prov från

djupen 2,5-3 m och 5 m uppvisar en hög hållfasthet. Av de bindemedel som undersökts ger kalk/cement/gips (KCG), i lika delar (33 %), det jämnaste resultatet genom jordprofilen, dvs. minsta variationen av hållfasthet med djupet. En liten variation hos hållfastheten förenklar dimensioneringen av pelare i fält, men är dock inget krav. På det mest svårstabiliserade djupet 3,5 m ger detta bindemedel i jämförelse med de övriga en bra hållfasthet. Hållfastheten för KCG 33 % ökar kraftigt med tiden. 90-dygnsproven ger ungefär 3 gånger så hög hållfasthet jämfört med 28-dygnsproven för djup 3,5 m. Enbart cement och blandningarna av cement/merit ger störst stabiliseringseffekt på djup 2,5-3 m. Dessa bindemedel ger dock de sprödaste brotten (vid enaxiella tryckförsök) vilket är en nackdel. Även cement/aska 50/50, som ej undersökts i lika stor omfattning som KCG 33 % utan enbart på djupen 3,5 och 4 m, ger relativt höga resultat. Dock kan brottet på 4 m djup anses vara något sprödare än för KCG 33 %. Kalk/cement 50/50 och kalk/cement/merit ger överlag lägst hållfasthet. Ökad inblandningsmängd bindemedel leder i de allra flesta fall till en hållfasthetsökning.

7.6 Last- deformationssamband

Den erhållna maximala tryckspänningen och last- deformationssamband från enaxiella tryckförsök ger en bild av det laboratorieinblandade provets hållfasthetsegenskaper och last- deformationsbeteende. Ett högt maxvärde hänger som regel ihop med en liten deformation till brott, vilket oftast innebär ett sprödare brott.

Vid pelarstabilisering i fält önskas homogena pelare med ett något segt brottbeteende. Pelarnas homogenitet beror främst på inblandningsarbetet medan däremot brottbeteendet i stor grad påverkas av bindemedelsvalet. Syftet med stabiliseringen är i de flesta fall att avlasta jorden till viss del dock inte helt. Lasten, från t.ex. en bank, skall tas upp av både pelarna och jorden tillsammans. Vid pålastning skall pelarna komprimeras i nivå med mellanliggande jord. Om pelarna är för styva, så att endast den mellanliggande jorden komprimeras, kommer pelarna att utsättas för större belastning vilket inte innebär någon optimal lösning. Det är således av intresse att i kombination med en god hållfasthet även erhålla en seg brottdeformation. Högre hållfastheter visar sig ofta medföra sprödare brott vilket inte alltid innebär att de bindemedel som ger högst hållfastheter väljs.

7.7 Kemiska egenskaper och reaktioner

Diskussioner har förts inom projektet om vad som händer vid de kemiska reaktioner som sker mellan sulfidjorden och de bindemedel som den blandas med. Det som är intressant är att försöka hitta ett samband mellan stabiliseringseffekt och någon eller några parameter/parametrar som är relativt lätt att bestämma. Av resultaten skall man sedan kunna utvärdera om det är en svårstabiliserad jord eller inte. Bland annat så har en hypotes om detta tagits fram av Larsson (2004). Enligt den hypotesen är det svårt att stabilisera sulfidjordar på grund av att jordar med hög organisk halt i form av fulvussyror och humussyror binder upp Ca^{2+} joner. Detta resulterar i reducerande möjligheter att producera stabila/hårda pelare. Innehåller jorden dessutom svavelväten blir stabiliseringseffekten än mer reducerad. Förutom att Ca^{2+} binds upp på ett ogynnsamt sätt produceras komplex av Ca-fulvus och Ca-humus som kan lägga sig som ett skyddande täcke över de mineralkornsytor på vilka önskade reaktioner annars skulle ha skett.

Parametrar som kan vara intressanta att undersöka, för att försöka bedöma en jordtyps möjlighet att kunna stabiliseras, är redoxpotential (Eh), organisk halt och konduktivitet. Det har i föreliggande projekt visat sig att det är svårast att stabilisera den jordtyp (djup 3,5 m) för vilken Eh visar negativa värden omkring -200 mV, hög organisk halt på 10-15 % och en hög konduktivitet på över 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Försöken som behövs för att bestämma dessa parametrar är ganska enkla och behöver därför inte kosta speciellt mycket att utföra, se beskrivning av lakförsök i avsnitt 5.5.

I denna studie kan relativt lyckade resultat konstateras vilket enligt resonemanget ovan kan anses som aningen märkligt då sulfidjord av denna typ (djup 3,5 m) tidigare varit svårstabiliserad. Någon enkel förklaring till denna framgång kan ej presenteras i denna diskussion. Ovanstående resonemang och hypotes är dock inte helt grundligt undersökta och vedertagna.

7.8 Framtida forskning

Arbetet utfört i denna studie är tänkt att följas upp med fullskalig stabilisering i fält vilket förhoppningsvis ger möjligheter till jämförelse mellan laboratorie- och fältresultat. I fortsatt forskning inom stabilisering av sulfidjord bör ett statistiskt underlag tas fram, dvs. stabilisering och undersökning av sulfidjord från fler lokaler för vilka

helst både laboratorie- och fältförsök genomförs. Några aspekter som inte belysts i examensarbetet är bl.a. stabiliseringens långtidsverkan och jordens permeabilitet, vilket är något som bör studeras i framtida forskning. Diskussionen ovan, kring kemiska egenskaper, belyser några tankegångar kring ämnet men många frågor finns fortfarande obesvarade och vidare forskning krävs.

8 Slutsatser

Sammanställningen av tidigare utförda projekt om stabilisering av sulfidjord visar att andra bindemedelskombinationer än kalk/cement krävs för att kunna stabilisera sulfidjord på ett tillfredsställande sätt. Genomförd laboratoriestudie visar att det, åtminstone i laboratoriemiljö, är möjligt att uppnå tillräcklig stabiliseringseffekt i sulfidhaltiga jordar.

Utförd inventering visar att det traditionella bindemedlet kalk/cement ger låga hållfastheter. Bindemedelskombinationer som LD-slagg/cement, Finnstabi/cement och Lohjamix (cement, flygaska och masugnsslagg) visar högre hållfasthetsvärden. Detta konstateras i ett flertal studerade projekt. Fältresultaten från inventeringen ger överlag sämre hållfasthetsegenskaper i jämförelse med laboratorieresultaten. Troligtvis beror detta på skillnader i inblandningsarbete, inblandningsmetod, provningsförfarande och utvärdering av hållfasthet i fält respektive laboratoriet.

Rutinundersökningarna av den studerade naturliga jorden visar ett tydligt samband mellan skrymdensitet, vattenkvot och glödgningsförlust. Då skrymdensiteten är låg är vattenkvoten hög och glödgningsförlusten stor och vice versa. Järninnehållet är högt vid samtliga undersökta nivåer. Innehållet av svavel är också högt men minskar med djupet. Utförda sedimentationsförsök har gett en lerhalt som varierar mellan 29 och 35 % i den aktuella jordprofilen. Jorden förväntas ha låg permeabilitet med tanke på kornfördelningen. Prover från 3,5 m djup uppvisar låga värden på redoxpotential (ca -200 mV) och höga värden på konduktivitet ($> 1000 \mu\text{S/cm}$), erhållna från lakförsök.

De enaxiella tryckförsöken utförda på de stabiliserade proven visar att jord från djupen 3,5 m och 4 m ger lägst hållfasthet medan prov från djupen 2,5-3 m och 5 m uppvisar en hög hållfasthet. Av de bindemedel som undersökts ger kalk/cement/gips (KCG), i lika delar (33 %), det jämnaste resultatet genom jordprofilen, dvs. minsta variationen av hållfasthet med djupet.

På det mest svårstabiliserade djupet 3,5 m ger KCG 33 % en maximal tryckspänning ungefär mellan 200-400 kPa där inblandningsmängden är mellan 150-250 kg/m³, vilket i jämförelse med de övriga bindemedlen är en hög hållfasthet. Hållfastheten för KCG 33 % ökar kraftigt med tiden. 90-dygnsproven med en inblandningsmängd på 150 kg/m³ ger ungefär 3 gånger så hög tryckhållfasthet, drygt 600 kPa, jämfört med 28-dygnsproven med motsvarande inblandningsmängd för djup 3,5 m. Om en härdningstid upp mot ca 90 dygn kan uppnås i fält, innan pelarna utsätts för full belastning, förväntas en inblandningsmängd på 150 kg/m³ av KCG 33 % kunna ge tillräcklig hållfasthet. I fält är det brukligt att tillgodoräkna sig halva hållfastheten som erhållits i laboratoriet, vilket för detta bindemedel efter 90 dygn motsvarar en tryckspänning på ca 300 kPa.

Enbart cement och blandningarna av cement/merit i förhållandena 70/30 och 50/50 med inblandningsmängd 150 kg/m³, var de bindemedel som gav störst stabiliseringseffekt på djup 2,5-3 m. Dessa bindemedel ger dock de sprödaste brotten (vid enaxiella tryckförsök) vilket är en nackdel. På djup 3,5 m gav cement 100 % 200 kg/m³ och cement/aska 50/50 250 kg/m³ de högsta 28-dygnsvärdena med en maximal tryckspänning på drygt 600 kPa. Dessa kan jämföras med KCG 33 % 150 kg/m³ som efter 90 dygn också uppnår en tryckspänning på ca 600 kPa. Kalk/cement 50/50 och kalk/cement/merit ger överlag lägst hållfasthetstillväxt. Ökad inblandningsmängd bindemedel leder i de allra flesta fall till en hållfasthetsökning. Lagringstiden har störst betydelse för hållfasthetstillväxten för de prover som innehåller stor andel kalk och mindre andel cement. För prover innehållande en större andel cement och mindre andel kalk har inblandningsmängden störst betydelse på hållfasthetstillväxten. Kalken har en relativt långsam hållfasthetstillväxt. För de prov som innehöll en stor andel cement kan, med avseende på det snabba härdningsförloppet och höga hållfastheten, 28 dygn anses som en fullt tillräcklig lagringstid före provtryckning.

Referenser

Andersson, H. och Carlsten, P. (1997). Bygghandling, teknisk beskrivning, geoteknik, TBv Geo 6, SGI Linköping.

Carlsten, P. och Moritz, L. (1997). Bygghandling, teknisk beskrivning, geoteknik, TBv Geo 4, SGI Linköping.

Carlsten, P. (2000). *Kalk- och kalkcementpelare, Vägledning för projektering, utförande och kontroll*, SGF Rapport 2:2000, SGI, ISSN:1103-7237, Linköping.

Dannewitz, N. (2003). Arbetsmaterial b.l.a rapport på inblandningsförsök utförda 2002 av VBB Viak, "Arboga spont", Hercules grundläggning AB, Stockholm.

Eklund, S. (2003). Sonderingsresultat, CPT, Vingsondering, Vägverket konsult, Umeå.

Eriksson, L. G., Mácsik, J., Pousette, K. och Jakobsson, A. (2000). *Sulfidjord en problemjord längs Norrlandskusten*, artikel i Bygg & teknik 1/00, Luleå.

Eriksson, L. G. (2003). Laboratorieundersökningar, CRS, MRM-konsult, Luleå.

Hansson, T. (1999). *Undersökning i fält av stabiliseringseffekt i organisk jord och lera*, examensarbete utfört vid Chalmers tekniska högskola, Göteborg.

Holm, G. (2002). *Geoteknik på G*, artikel från grundläggningdagen 2002, Linköping.

- Holm, G. och Moritz, L. (1998). *Principstudie av kalkcementpelarförstärkning, Örnsköldsvik-Husum del 2 botniabanan*, SGI, Linköping.
- Håkansson, S. (2003). Arbetsmaterial bl.a rapport på inblandningsförsök gjorda 1992 av VBB Viak, Bärbyleden 2, Vägverket konsult, Gävle.
- Jacobsson, A., Mácsik, J. och Pousette, K. (1998). *Miljögeoteknik, kompendium 7*, Naturvårdsverket, ISSN 1400-0210, Stockholm.
- J&W. (1996). Kontrollsonderingar av produktionspelare, Väg 590 Askersund-Ämmeberg delen Askersund-Djupviken, ritningar, Örebro.
- Larsson L. (2004). *Stabilisering i organisk sulfidjord- Hypotes till uppkomna effekter*, PM, SGI, Göteborg.
- Mácsik, J., Jacobsson A. och Pousette K. (1995). *Stabilisering av sulfidjord*, forskningsrapport, Luleå tekniska universitet, ISSN 0347-0881, Luleå.
- Mácsik, J. (2000). *Försurningspotential i sulfidjord–Metodutveckling/förstudie*, Luleå tekniska universitet, Luleå.
- Mácsik, J. (1994). *Risken för utfällning av ferriföreningar ur dräneringsvatten från anaeroba och aeroba sulfidjordar*, licentiatuppsats, Luleå tekniska universitet, Luleå.
- Mácsik, J. (2003). *Bedömning av sulfidjord - Stabiliseringseffekt vs typ av sulfidjord*, internrapport, Scandiaconsult, Sundsvall.
- Nilsson, U. (1998). *Hantering av sulfidjord – Två alternativ ur miljösynpunkt*, Examensarbete 1998:268, Luleå tekniska universitet, Avdelningen för tillämpad geologi, ISSN:1402-1617, Luleå.
- SGI (1998). *Norralaskredet Väg E4 delen Söderhamn-Svalarna*, laboratorieundersökningar, utredning, SGI, Linköping.
- Rogbeck, Y. (1997). *Masstabilisering av väg 590, Askersund, Arbetsrapport 7*, Svensk djupstabilisering, SGI, Linköping.
- Tibblin, G. (1996). Laboratorieundersökning, E18/E20, Delen Slyte-Gräsnäs, nr(1) och nr(2), VBB Viak, Stockholm.
- Torstensson, B-A. (1999). *Djupstabilisering av lösa, kompressibla jordar (sulfidhaltiga sediment) längs botniabanan medelst KC-pelarteknik*, rapport, BAT Geosystem AB, Vallentuna.
- Viatek (1995). *Pelar- och masstabilisering väg 590 Askersund-Ämmeberg delen Askersund-Djupviken*, Teknisk beskrivning, Esbo.

INTERNET:

Botniabanan (2004), www.botniabanan.se , (2004-02-24).

Analytica (2004), www.analytica.se, (2004-03-15).

Bilaga 1

Sammanställning av resultat från inventeringen i tabellform

Bioenergianläggning - Luleå
J&W Luleå - Laboratorieundersökningar 1999-11-04

Stabiliseringsmedel/bindemedel:
Kalk+cement (25/75)

Jordegenskaper		Aronstorp, Luleå - J&W				Skjuv hållfasthet τ_k [kPa]	Sensitivitet, S_t
Jordtyp		Densitet [t/m^3]	Vattenkvot, W [%]	Skjuv hållfasthet [kPa]	Glödförlust [%]		
	djup						
Siltig lera (inspolade mudermassor mycket liten organisk halt)	0-2m	-	90-100	16-17	-	-	-
Något sulfidhaltig, siltig, lera	2-6,5m	1,55-1,8	60-85	16-17	2,6-5,2	12-18	8-16

Innehåll i provblandningen		Aronstorp, Luleå - J&W				Stabiliserad jord - resultat						
Jordtyp/jordblandningar		Densitet	Vattenkvot, W	Skjuvhållfasthet	Stabiliseringsmedel	Tid efter inblandning	Lagrings temp	Densitet	Vattenkvot	Skjuvhållfasthet		
	djup	[t/m³]	[%]	[kPa]	Typ / Mängd	[dygn]	[°C]	[t/m³]	[%]	[kPa]	[kPa]	
Siltig lera	1,0-3,5m				KC / 90	6				42		
						41					85	
						134					179	
Siltig lera	1,0-3,5m				KC / 120	6				62		
						41					125	
						134					156	
Något sulfidhaltig, siltig, lera	3,5-6,5m				KC / 90	5				38		
						40					144	
						133					336	
Något sulfidhaltig, siltig, lera	3,5-6,5m				KC / 120	5				78		
						40					229	
						134					374	

Bioenergi i Luleå

J&W,Luleå - fältundersökning 1999-11-04

Stabiliseringsmedel/bindemedel:

Kalk och Cement (K/C=25/75)

Inblandningsmängd 90-120 kg/ m³

Medelvärden för ett tiotal KC-pelare

Aronstorp, Luleå Metod: Traditionell pelarsondering och utdragssond (FOPS)	Tid för sondering efter installation		Skjuvhållfasthet	Skjuvhållfasthet
	djup [m]	[mån]	τ_{fu}	ostabiliserad jord τ_{fu}
	0-6,5	0,5-1	150-250	30

Medelvärde

200

Sunderbyn

LTU - Laboratorieundersökningar 1995-11-21

Stabiliseringsmedel/bindemedel:	Typ:
LD-slagg	LD
Kalk	K
Stn portland cement	C1
Stn portland cement + ytaktivt mtrl	C2
Stn portland cement + ännu mer ytaktivt mtrl	C3
LD-slagg+kalk	LD+K
LD-slagg+cement 1	LD+C1
LD-slagg+cement 2	LD+C2
Kalk+cement 1	K+C1
LD8	LD8
LD8+cement 1	LD8+C

Innehåll i provblandningen			Sunderbyn - LTU		Stabiliserad jord - resultat					
Jordtyp / jordblandningar	Densitet	Vattenkvot, w	Skjuvhållfasthet	Stabiliseringsmedel Typ / Mängd	Tid efter inblandning	Lagrings temp	Densitet	Vattenkvot	Skjuvhållfasthet Tryck Kon	
	ρ / m^3	[%]	[kPa]	- / [kg/m3]	[dygn]	[°C]	ρ / m^3	[%]	[kPa]	[kPa]
Svart, siltig lertig sulfidjord	djup				7				11	
	3,5m	1,5	82 (±12)	16-17	30	+20	1,51	83	20	
					100				26	
Svart, siltig lertig sulfidjord	3,5m	1,5	82 (±12)	16-17	7				33	
					30	+20	1,49	74	31	
					100				29	

Innehåll i provblandningen			Sunderbyn - LTU			Stabiliserad jord - resultat						
Jordtyp / jordblandningar			Densitet	Vattenkvot, W	Skjuvhållfasthet	Stabiliseringsmedel	Tid efter inblandning	Lagringstemp	Densitet	Vattenkvot	Skjuvhållfasthet	
			[t/m³]	[%]	[kPa]	Typ / Mängd					[kPa]	[kPa]
	djup					- / [kg/m³]						
Svart, siltig lerig sulfidjord	3,5m		1,5	82 (±12)	16-17	C1 / 111	7				106	
							30	+20	1,52	78	144	
							100				289	
Svart, siltig lerig sulfidjord	3,5m		1,5	82 (±12)	16-17	C2 / 110	7				85	
							35	+20	1,51	79	121	
							100				148	
Svart, siltig lerig sulfidjord	3,5m		1,5	82 (±12)	16-17	C3 / 111	7				85	
							29	+20	1,52	78	139	
							100				154	
Svart, siltig lerig sulfidjord	3,5m		1,5	82 (±12)	16-17	LD/K / 112 (50/50)	7				14	
							29	+20	1,51	76	18	
							100				19	
Svart, siltig lerig sulfidjord	3,5m		1,5	82 (±12)	16-17	LD/C1 / 106 (50/50)	7				84	
							30	+20	1,51	86	131	
							99				121	
Svart, siltig lerig sulfidjord	3,5m		1,5	82 (±12)	16-17	LD/C2 / 106 (50/50)	7				48	
							30	+20	1,51	86	85	
							99				117	
Svart, siltig lerig sulfidjord	3,5m		1,5	82 (±12)	16-17	Kalk / 53	7				19	
							30	+20	1,49	84	15	
							99				15	

Innehåll i provblandningen			Sunderbyn - LTU			Stabiliserad jord - resultat							
Jordtyp/jordblandningar			Densitet	Vattenkvot, W	Skjuvhållfasthet	Stabiliseringsmedel		Tid efter inblandning	Lagringstemp	Densitet	Vattenkvot	Skjuvhållfasthet	
			[t/m³]	[%]	[kPa]	Typ	Mängd					[kPa]	Tryck
	djup												
Svart, siltig lerig sulfidjord	3,5m		1,5	82 (±12)	16-17		C1 / 52	7	+20	1,49	87	81	
								30				80	
								99				96	
Svart, siltig lerig sulfidjord	3,5m		1,5	82 (±12)	16-17		C2 / 51	7	+20	1,48	88	41	
								29				59	
								98				67	
Svart, siltig lerig sulfidjord	3,5m		1,5	82 (±12)	16-17		LD/C1 (25/75) / 106 + vatten	7	+20	1,43	89	111	
								34				183	
								106				251	
Svart, siltig lerig sulfidjord	3,5m		1,5	82 (±12)	16-17		K/C1 / 112 (25/75)	7	+20	1,5	87	49	
								34				73	
								106				62	
Innehåll i provblandningen			Sunderbyn - LTU			Stabiliserad jord - resultat							
Jordtyp/jordblandningar			Densitet	Vattenkvot, W	Skjuvhållfasthet	Stabiliseringsmedel		Tid efter inblandning	Lagringstemp	Densitet	Vattenkvot	Skjuvhållfasthet	
			[t/m³]	[%]	[kPa]	Typ	Mängd					[kPa]	Tryck
	djup												
Svart, siltig lerig sulfidjord	2,7m		1,5	98 (±6)	23-25		LD/C1 / 107 (25/75)	7	+5	1,48	93	55	
								30				64	
								107				87	
Svart, siltig lerig sulfidjord	2,7m			98 (±6)	23-25		LD/C1 / 106 (25/75)	7	+20	1,48	96	68	
								30				71	
								110				96	

Innehåll i provblandningen					Sunderbyn - LTU					Stabiliserad jord - resultat					
Jordtyp/jordblandningar	Densitet	Vattenkvot, W	Skjuvhållfasthet	Stabiliseringsmedel Typ / Mängd	Tid efter inblandning	Lagringstemp	Densitet	Vattenkvot	Skjuvhållfasthet	Tid efter inblandning	Lagringstemp	Densitet	Vattenkvot	Skjuvhållfasthet	
	djup	[t/m³]	[%]	[kPa]						[dygn]	[°C]	[t/m³]	[%]	[kPa]	[kPa]
	2,7m									7					59
	Svart, siltig lerig sulfidjord	1,5	98 (±6)	23-25	C1 / 78					30	+5	1,46	96	73	
										107				93	
	Svart, siltig lerig sulfidjord	1,5	98 (±6)	23-25	C1 / 79					7	+20	1,46	94	75	
										30				79	
										110				107	
	Svart, siltig lerig sulfidjord	1,5	98 (±6)	23-25	LD/C2 / 107 (25/75)					7	+20	1,48	94	74	
										30				79	
										110				81	
	Svart, siltig lerig sulfidjord	1,5	98 (±6)	23-25	C2 / 79					7	+20	1,46	95	72	
										29				62	
										109				52	
	Svart, siltig lerig sulfidjord	1,5	98 (±6)	23-25	LDS / 104					7	+20	1,48	100	6	
										29				5	
										111				6	
	Svart, siltig lerig sulfidjord	1,5	98 (±6)	23-25	LDS/C1 / 106 (50/50)					7	+20	1,48	95	45	
										29				48	
										111				56	
	Svart, siltig lerig sulfidjord	1,5	98 (±6)	23-25	LDS/C1 / 107 (25/75)					7	+20	1,48	94	67	
										30				91	
										107				45	

Örnskoldsvik-Husum
Botniabanan

SGI - Laboratorieundersökningar/inblandningsprov 1998-01-20

Stabiliseringsmedel/bindemedel:
Kalk och cement (25/75)
Slagg och cement (50/50)

Innehåll i provblandningen				Övik - SGI		Stabiliserad jord - resultat				
Jordtyp / jordblandning	Sektion 19/200+19/250	Densitet	Vatten- kvot, W	Skjuvhåll- fasthet	Stabiliseringsmedel Typ / Mängd	Tid efter inblandning	Lagringss temp	Densitet	Vatten- kvot	Skjuvhållfasthet Tryck Kon
	djup	[t/m³]	[%]	[kPa]	_ / [kg/m³]	[dygn]	[C]	[t/m³]	[%]	[kPa]
Grå, gyttig, siltig lera med växtdelar rostfläckig +Grå, gyttig, siltig lera +Grå, något gyttig lera med växtdelar	1m	1,48 -	75	(9,8-28)	K/C / 180	14	+21	1,60	56	1005
	2m	1,56			S/C / 180	21	+21	1,58	56	1053
	2m					14	+8,2	1,58	59	365
						21	+8,2	1,59	58	628
Gråsvart, siltig sulfidlera +Gråsvart, siltig sulfidlera med tunna växtdelskikt	3m	1,54 -	67	ca 20	K/C / 120	14	+21	1,60	55	186
	4-6m	160				21	+21	1,60	54	253
						14	+21	1,60	50	324
						21	+21	1,61	50	477
-	-	1,54 -	67	ca 20	K/C / 180	7	+41	1,63	50	502
	-	160				14	+41	1,61	50	540
	-					21	+41	1,61	50	579
-	-	1,54 -	67	ca 20	S/C / 180	14	+8,2	1,61	53	122
	-	160				21	+8,7	1,57	52	224
	-									

Innehåll i provblandningen			Övik - SGI			Stabiliserad jord - resultat			
Jordtyp / jordblandning	Sektion	Vatten- Skjuvhåll- kvot, W fasthet	Densitet	Stabiliseringsmedel Typ / Mängd	Tid efter inblandning	Lagringstemp	Densitet	Vatten- kvot	Skjuvhållfasthet Tryck Kon
			[t/m³]	[kPa]	[dygn]	[°C]	[t/m³]	[%]	[kPa]
Grå, siltig lera med ett finsandigt siltskikt, sulfidrandig +Grå lera, sulfidrandig	19/200+19/250	53	1,64 - 1,67	K/C / 120	7	+21	1,70	44	123
					8m	+21	1,70	43	174
Grå, gytjig, siltig lera med växtdelar	14/102+14/148	56	1,65 - 1,66	K/C / 120	7	+21	1,67	46	327
					14	+21	1,67	47	549
Grå, lerig silt och grå, siltig lera +Grå var, siltig sulfidlera +Grå lera, sulfidrandig	19/200+19/250	52	1,59 - 1,75	K/C / 120	7	+21	1,68	43	669
					14	+21	1,69	43	933

Norråla
Väg E4, delen Söderhamn-Svalarna
(Norrålskredet inträffade mellan sektion 7/010-7/160)

SGI - laboratorieundersökningar 1998-10-30

Stabiliseringsmedel/bindermedel:
Kalk och Cement (50/50)

Innehåll i provblandningen			Norråla-SGI			Stabiliserad jord - resultat					
Jordtyp/jordblandning	Sektion 7/066+7/109		Densitet	Vatten- kvot, W	Skjuvhåll- fasthet	Stabiliseringsmedel Typ / Mängd	Tid efter inblandning	Lagtings temp	Densitet	Vatten- kvot	Skjuvhållfasthet Tryck Kon
		djup	[t/m³]	[%]	[kPa]	- / [kg/m3]	[dygn]	[C°]	[t/m³]	[%]	[kPa] [kPa]
Grå, lerig gytta, rost, växt delar, sulfidbandad		0-1,5m	1,25-1,39	133	12-38	K/C / 100	7	+21	1,35	102	23
							21	+7,5	1,35	104	26
							111	+8,5	1,34	101	38
							7	+21	1,37	98	30
							21	+7,5	1,38	98	42
							111	+8,5	1,39	96	53
Grå, gytig lera med inslag av silt, svagt sulfidrandig		2,1-2,8m	1,41- 1,56	92	12-13	K/C / 100	7	+21	1,46	75	74
							21	+7,5	1,47	75	146
							111	+8,5	1,48	73	298
Grå, gytig lera med inslag av silt, svagt sulfidrandig		2,8-4,2m	1,33-1,4	126	12-15	K/C / 100	7	+21	1,37	98	22
							21	+7,5	1,37	98	27
							111	+8,5	1,36	96	30

Innehåll i provblandningen			Norrala-SGI				Stabiliserad jord - resultat					
Jordtyp / jordblandning	Sektion 7/066+7/109	djup	Densitet	Vattenkvot, W	Skjuvhållfasthet	Stabiliseringsmedel Typ / Mängd	Tid efter inblandning	Lagrings temp	Densitet	Vattenkvot	Skjuvhållfasthet	
											Tryck	Kon
			[t/m³]	[%]	[kPa]	- / [kg/m³]	[dygn]	[C°]	[t/m³]	[%]	[kPa]	[kPa]
Grå, gyttig lera med inslag av silt, sulfiflera	4,2-6,13m		1,34-1,55	88	12-17	K/C / 100	7	+21	1,51	72	19	
							21	+7,5	1,51	71	28	
							111	+8,5	1,52	71	35	
Grå lera, sulfidrandig, silt och sand skikt	6,3-7,7m		1,59-1,78	60	5,1-12	K/C / 100	7	+21	1,70	46	97	
							21	+7,5	1,68	47	101	
							111	+8,5	1,66	46	125	
Jordtyp / jordblandningar	Sektion 5/060	djup	Densitet	Vattenkvot, W	Skjuvhållfasthet	Stabiliseringsmedel Typ / Mängd	Tid efter inblandning	Lagrings temp	Densitet	Vattenkvot	Skjuvhållfasthet	
											Tryck	Kon
			[t/m³]	[%]	[kPa]	- / [kg/m³]	[dygn]	[C°]	[t/m³]	[%]	[kPa]	[kPa]
Svart något gyttig sulfid lera, tunna växtskikt	3-4m		1,37-1,40	113	15-22	K/C / 100	7	+21	1,35	89	15	
							13	+7	1,41	88	24	
Grå lera med silt och sandinslag	5,5-7m		1,66-1,73	62	8-9,1	K/C / 100	7	+21	1,64	51	163	
							13	+7	1,64	51	158	

Norråla
Väg E4, delen Söderhamn-Svalarna

SGI - Faltresultat 1998-10-30

Stabiliseringsmedel/bindemedel:
Kalk och cement (50/50)
(Norrålskredet inträffade mellan sektion 7/010-7/160)

Söderhamn-Svalarna Sektion 5/063 H8 Kolvprovtagning tryckförsök	Prov nr:	5559	127	2231	3910	5828
	Stab. Med.	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C
	[kg/m ³]	100	100	100	100	100
	Provtyp	tryck	tryck	tryck	tryck	tryck
Jordtyp	djup	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
Gråsvart,gyttig sulfidlera	2,2	20	21	22	31	29

Söderhamn-Svalarna Sektion 4 / 444 Kolvprovtagning tryckförsök	Prov nr:	9107	4837	9430	9127	2717	4379
	Stab. Med.	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C
	[kg/m ³]	100	100	100	100	100	100
	Provtyp	tryck	tryck	tryck	tryck	tryck	tryck
Jordtyp	djup	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
Brun,gyttig lera	0,3	37	27	18	18	31	40

Söderhamn-Svalarna Sektion 7/375 H7 Kolvprovtagning tryckförsök	Prov nr. Stab. Med. [kg/m³]	5949	2640	2598	4432	9626
	tryck	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C
	tryck	100	100	100	100	100
	tryck	tryck	tryck	tryck	tryck	tryck
	tryck	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
Jordtyp	djup					
Svart, gyttig sulfidlera	2,4	70	58			
Grå lera med sandinslag,sulfidfläckig			31	48	39	

Söderhamn-Svalarna Sektion 7/100,5 H11 Kolvprovtagning tryckförsök	Prov nr. Stab. Med. [kg/m³]	3860	3903	5704	2549	5835	9572	1932	9039	4817
	tryck	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C
	tryck	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	tryck	tryck	tryck	tryck	tryck	tryck	tryck	tryck	tryck	tryck
	tryck	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
Jordtyp	djup									
Grå, lerig gytta, sulfidbandad	3,7	18	12	12						
Svart gyttig sulfidlera	4,9				17	16				
Svart gyttig sulfidlera	5,3						14	14		
Svart,lerig gytta med växtdelar							25	39		

Söderhamn-Svalarna Sektion 7/108,3 Kolvprovtagning tryckförsök	Prov nr. Stab. Med. [kg/m³]	1	2	3	4	5	6	7	8
	tryck	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C
	tryck	100	100	100	100	100	100	100	100
	tryck	tryck	tryck	tryck	tryck	tryck	tryck	tryck	tryck
	tryck	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
Jordtyp	djup								
Gråsvart något gyttig sulfidlera	6	12		4	8,4	8,1	9,6	23	9,9
Grålera, sulfidrandig			36	20					

Söderhamm-Svalarna Sektion 7/1073 Kolvprovtagning tryckförsök	Prov nr:	1	2	3	4
	Stab. Med.	K/C	K/C	K/C	K/C
	[kg/m³]	100	100	100	100
	Provtyp	tryck	tryck	tryck	tryck
Jordtyp	djup	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
Gråsvart gyttig sulfidlera med växtdelar 4		10	11	11	11
Grålera, sulfidrandig		5,5	5,7		

Söderhamm-Svalarna Sektion 7/0973 Kolvprovtagning tryckförsök	Prov nr:	5823	9337	150	123	5103	241
	Stab. Med.	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C
	[kg/m³]	100	100	100	100	100	100
	Provtyp	tryck	tryck	tryck	tryck	tryck	tryck
Jordtyp	djup	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
Svart lerg gyttja med växtdelar		27					
5,8			21	11			
6,1					35	28	22

Söderhamm-Svalarna Sektion 7/0973 Kolvprovtagning tryckförsök	Prov nr:	1	2	3	4	5	6	3508	2906
	Stab. Med.	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C
	[kg/m³]	100	100	100	100	100	100	100	100
	Provtyp	tryck	tryck	tryck	tryck	tryck	tryck	tryck	tryck
Jordtyp	djup	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
Grå lera med finsandskikt		46	38	13	42	24	35		
7,2								50	
7,46									39

Arboga
Väg E18/E20 delen Slyte-Gräsås

SG1 - Jordartsbestämning
VBB Viak - Laboratorieundersökningar 1996-06-07

Stabiliseringsmedel/bindemedel:
Osläckt kalk och standard portlandcement (50/50)

Innehåll i provblandningen				Arboga-VBB Viak				Stabiliserad jord - resultat					
Jordtyp/jordblandningar	Sektion 34/530	Densitet	Vatten- kvot, W	Skjuvhåll- fasthet	Stabiliseringsmedel Typ / Mangd	Tid efter inblandning	Densitet	Vatten- kvot	Skjuvhållfasthet	Tryck	Kon		
Gråsvart sulfidlera	djup 3-5m	1,37	121	14	K/C / 80	[dygn]	t/m³	[%]	kPa	kPa	kPa		
						11	1,43	92	23	45			
						32	1,45	92	23	51			
						62	1,40	84	40	115			
		90	1,46	91	39	90							
Jordtyp/jordblandningar	Sektion 35/500	Densitet	Vatten- kvot, W	Skjuvhåll- fasthet	Stabiliseringsmedel Typ / Mangd	Tid efter inblandning	Densitet	Vatten- kvot	Skjuvhållfasthet	Tryck	Kon		
Gråsvart sulfidlera	djup 3-4m	1,37	123	11	K/C / 80	[dygn]	t/m³	[%]	kPa	kPa	kPa		
						11	1,38	92	33	61			
						32	1,41	93	31	64			
						62	1,36	87	55	99			
		90	1,37	89	49	102							
Grå lera, sulfidfläckig	6-7m	1,56	78	12	K/C / 80	11	1,59	65	36	66			
						32	1,60	63	46	96			
						62	1,60	65	44	96			
						90	1,60	65	48	105			

Innehåll i provblandningen			Arboga-VBB Viak			Stabiliserad jord - resultat					
Jordtyp / jordblandningar	Sektion 41 / 540	Densitet	Vattenkvot, W	Skjuvhållfasthet	Stabiliseringsmedel Typ / Mängd	Tid efter inblandning	Densitet	Vattenkvot	Skjuvhållfasthet Tryck	Skjuvhållfasthet Kon	
	djup	[t/m³]	[%]	[kPa]	_ / [kg/m3]	[dygn]	[t/m³]	[%]	[kPa]	[kPa]	
Grå lera med roströr, svagt sulfidfläckig +Grå lera, sulfidfläckig	2m	1,54	83	10	K/C / 80	10	1,57	71	37	64	
	3-4m					30	1,57	71	41	76	
						90	1,57	71	44	76	
Grå lera, svagt sulfidflämnig +Grå lera, sulfidflämnig	5m					10	1,54	79	50	85	
	6m	1,52	95	10	K/C / 80	30	1,52	80	54	93	
						90	1,51	80	60	96	
Jordtyp / jordblandningar	Sektion 42 / 380	Densitet	Vattenkvot, W	Skjuvhållfasthet	Stabiliseringsmedel Typ / Mängd	Tid efter inblandning	Densitet	Vattenkvot	Skjuvhållfasthet Tryck	Skjuvhållfasthet Kon	
	djup	[t/m³]	[%]	[kPa]	_ / [kg/m3]	[dygn]	[t/m³]	[%]	[kPa]	[kPa]	
Grå, något gyttig lera med växt delar, sulfidfläckig +Grå, något gyttig lera, sulfidfläckig	2m	1,47	97	20	K/C / 80	10	1,49	84	33	66	
	3-5m					30	1,51	84	47	87	
						90	1,50	82	52	96	
Gråsvart sulfidlera	6-7m	1,46	99	20	K/C / 80	10	1,48	84	33	58	
						30	1,49	83	33	63	
						90	1,51	82	37	99	
Grå lera, sulfidfläckig +Grå lera, svagt sulfidfläckig +Grå lera, sulfidflämnig	8m					10	1,58	71	41	66	
	9m	1,53	87	17	K/C / 80	30	1,55	71	44	87	
	11-13m					90	1,56	70	51	96	

[illegible][illegible]

Arboga - Hercules		Pelare	40501O	40503O	40504O	40505O	40501P	40502O	40502P	40504P	40503P	40505P	Natur
		Stab. Med. [kg/m ³]	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C	K/C	
		Provtyp	Tryck	Tryck	Tryck	Tryck	Tryck	Tryck	Tryck	Tryck	Tryck	Tryck	
			[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
Jordtyp enligt SGI	djup												
	1m		35	25	30	10	10	35	8	6,5	6	15	13
Grå, något gytig lera med växtdelar	2m		8	13	17	10	10	5	20	17	15	10	4
Grå, något gytig lera, sulfidfläckig	3m		13,5	8	5	7,5	12	7	10	16	17,5	13	3
—	4m		6,5	4,5	2	2	11	2,5	11	11	10	12	3
—	5m						9	2,5					

[illegible]

Arboga - spont
Hercules, (konstruktion inom spont)

SWECO - Laboratorieundersökning 2002-06-28

Stabiliseringsmedel/bindemedel:
kalk och cement (25/75)

Innehåll i provblandningen		Arboga - SWECO				Stabiliserad jord - resultat			
Jordtyp/jordblandningar		Densitet	Vatten- kvot, W	Skjuvhåll- fasthet	Stabiliseringsmedel Typ / Mängd	Tid efter inblandning	Densitet	Vatten- kvot	Skjuvhållfasthet
	djup	t/m ³	[%]	[kPa]	- / [kg/m3]	[dygn]	t/m ³	[%]	[kPa]
Svartgrå sulfidfläckig lera	-	1,45	101	15	K/C / 130	-	1,48	80	157

Fältresultat (från sk fickvingborr)
Skjuvhållfasthet mellan 55-120 kPa. Medel ca. 85 kPa

Askersund
Väg 590 Askersund - Åmneberg

SGI - Laboratorieundersökningar 950317-950517

Stabiliseringsmedel/bindemedel:
Kalk och cement (50/50)

Innehåll i provblandningen			Askersund - SGI			Stabiliserad jord - resultat				
Jordtyp/jordblandningar (sektion 0/160)	djup	Densitet	Vattenkvot, W	Skjuvhållfasthet	Stabiliseringsmedel Mängd	Tid efter inblandning	Densitet	Vattenkvot	Skjuvhållfasthet	
									Tryck	Kon
		[t/m³]	[%]	[kPa]	[kg/m³]	[dygn]	[t/m³]	[%]	[kPa]	[kPa]
Brun, gyttig, siltig lera med växtdelar	0,2-0,8m					10	1,39	98	15	-
+ Brun, siltig gyttja med växtdelar	0,8-1,5m					30	1,39	99	16	-
+ Brun, lerg gyttja med växtdelar	2m	1,25	132	14	120	50	1,41	97	19	-
+ Gröngrå, lerg gyttja, svagt sulfidfläckig	4m									
-''-		1,25	132	14	160	10	1,39	93	17	-
						30	1,41	91	24	-
						50	1,41	91	28	-
Gröngrå, lerg gyttja, svagt sulfidfläckig	4m	1,34/		stor spridning (13)/	80	10	1,70	46	54	-
+ Grå, siltig lera med tunna siltskikt, sulfidrandig	5m	1,63	53			30	1,71	46	67	-
				6,8		50	1,70	45	66	-

Askersund

Väg 590 Askersund - Åmmeberg

VIATEK - Laboratorieundersökningar 1995-07-28

<u>Stabiliseringsmedel/bindemedel:</u>	<u>Typ:</u>
Cement	C
SR-cement	SR-C
Cement + CaO	C + CaO
SR-cement + CaO	SR-C + CaO
Cement + masugnslagg	C + slagg
Cement + Finnstabi	C + F
Finnstabi + CaO	F + CaO
CaO + Finnstabi	CaO + F
Lohjamix V15	V15
Lohjamix V16	V16
Lohjamix V17	V17
Lohjamix K2	K2

Innehåll i provblandningen			Askersund - VIATEK			Stabiliserad jord - resultat			
Jordtyp / jordblandningar (Sektion 0/160)	Densitet	Vatten- Skjuvhål- kvot, W	fasthet	Stabiliseringsmedel Typ / Mängd	Tid efter inblandning	Densitet	Vatten- Skjuvhål kvot	Tryck	Skjuvhållfasthet Kon
	djup				[dygn]	[t/m ³]	[%]	[kPa]	[kPa]
LeGy	2m			SR-C / 200	28			135	
Enligt SGI: Brun, lerg gytta med växtdelar	2m	1,28	143,3	V15 / 200	28			97	
	2m			F + CaO / 200	28			35	

Innehåll i provblandningen			Askersund - VIATEK			Stabiliserad jord - resultat				
Jordtyp/jordblandningar (Sektion 0/160)	Densitet	Vattenkvot, W	Skjuvhållfasthet	Stabiliseringsmedel Typ / Mängd	Tid efter inblandning	Densitet	Vattenkvot	Skjuvhållfasthet Tryck Kon		
	[t/m³]	[%]	[kPa]		[dygn]	[t/m³]	[%]	[kPa]		
Le	djup 4-9m			V15 / 150	14			139		
Enligt SGI:										
Gröngrå, le gy, svagt sulfidfläckig	4m									
+Grå, si le med tu. siltsk., sulfidrandig	5m	1,74	112	V16 / 150	14			178		
+Grå, siltig lera med tunna siltskikt	6m									
+Grå, lerg silt, sulfidfläckig	7m			V17 / 150	14			247		
+Grå, si le med siltskikt, sulfidfläckig	9m									
gyLe	3-4m			SR-C / 150	14			166		
Enligt SGI:					28			204		
Gröngrå, gytig lera med växtdelar	3m									
+Gröngrå, lerg gytja, svagt sulfidfläckig	4m	1,42	97,3	V15 / 150	14			149		
					28			175		
			(Enligt SGI) 11-13	F + CaO / 150	14			45		
					28			54		
Le	5-11m			C / 150	14			433		
Enligt SGI:					28			750		
Grå, siltig lera med tunna siltskikt, sulfidrandig	5m			C + CaO / 150	14			186		
+Grå, siltig lera med tunna siltskikt	6m	1,67	49,4		28			222		
+Grå, lerg silt, sulfidfläckig	7m			SR-C + CaO / 150	14			129		
+Grå, siltig lera med siltskikt, sulfidfläckig	9m				28			182		
+Grå, siltig lera med täta siltskikt, sulfidfläckig	11m		(Enligt SGI) 6,8-12	V15 / 150	14			440		
					28			699		

Innehåll i provblandningen			Åkersund - VIATEK			Stabiliserad jord - resultat				
Jordtyp/jordblandningar (Sektion 0/160)		djup	Densitet	Vatten- kvot, W	Skjuvhåll- fasthet	Stabiliseringsmedel Typ / Mängd	Tid efter inblandning	Densitet	Vatten- kvot	Skjuvhållfasthet Tryck Kon
			ρ / m³	[%]	[kPa]	_ / [kg/m3]		[dygn]	ρ / m³	[%]
- ' - (se föregående sida)			1,67	49,4		K2 / 150	14			290
							28			330
- ' -			1,67	49,4		F + CaO / 150	14			130
							28			196
- ' -			1,67	49,4		C + F / 150	14			242
							28			486
Jordtyp/jordblandningar (Sektion 0/100)			Densitet	Vatten- kvot, W	Skjuvhåll- fasthet	Stabiliseringsmedel Typ / Mängd	Tid efter inblandning	Densitet	Vatten- kvot	Skjuvhållfasthet Tryck Kon
Le		4-7m	ρ / m³	[%]	[kPa]	_ / [kg/m3]	[dygn]	ρ / m³	[%]	[kPa]
Enligt SGI:						V15 / 150	14			426
Grå lera, sulfidfläckig		4m	1,68	48,1			28			576
+Grå, siltig lera med tunna sulfidskikt		5m								
+Grå, siltig lera, sulfidfläckig		6m			(Enligt SGI) 5,5-8	F + CaO / 150	14			173
+Grå, lerig silt, sulfidfläckig		7m					28			217
Le		4-5m				V15 / 150	14			137
Enligt SGI:										
Grå lera, sulfidfläckig		4m	1,68	49	(Enligt SGI) 5,5-6	V16 / 150	14			119
+Grå, siltig lera med tunna sulfidskikt		5m				V17 / 150	14			186

Utvärderad skjuvhållfasthet		Pelare		L1	L2	L3	L4	L5	L9	L10	Natur	Produktions- pelare		302	305	144	404
Askersund - LC-Markteknik		Utfört	V624	V626	V626	V626	V626	V626	V624	V626	V626	V621	V621	V621	V621	V621	V621
Sektion 0/100		Stab. Med.	V17	V17	V17	V17	V17	V17	V17	V17	V17	Sektion		0/105	0/103	0/100	0/128
		[kg/m³]	100	100	100	100	100	100	100	100	100						
Jordtyp enligt SGI	djup	Resultat	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]			[kPa]	[kPa]		
	2m		75	68,75	68,75				137,5	131,3	37,5						
	3m		118,8	175	125				250	150	25				250		112,5
	4m		150	40	131,3				225	156,3	25						250
	5m		150	118,8	156,3				250	100	25				162,5		187,5
	6m		162,5	156,3	156,3					100	25				43,75		56,25
	7m		237,5	212,5	125					75					43,75		62,5
	8m		200		87,5					81,25					37,5		56,25
	9m		118,8		62,5										43,75		
	10m														43,75		
	11m																

Askersund
Väg 590 Askersund - Åmneberg

Sillarpåa - Fältresultat
Provpelare utförda 1996-06-07 (i samband med stabiliseringsarbetet)

Stabiliseringsmedel/bindemedel:
Lohjarnix V17
Kalk och cement

Askersund - Sillarpåå		Sektion 0/100														
	Pelare	Tryck Tryck Tryck Tryck Tryck Tryck Tryck Tryck Tryck Tryck Tryck Tryck Tryck Tryck													Tryck	
		S1	S2	S2	S3	S4	S5	S5	S8	S10	S11	S14	S20	S26		
Jordtyp enligt SGI	Utfört	V624	V626	V626	V626	V626	V626	V626	V626	V626	V626	V626	V626	V624	V624	
	Skab. Med.	V17	V17	V17	V17	V17	V17	V17	V17	V17	V17	V17	V17	K/C	K/C	
	[kg/m³]	100	100	100	100	100	100	100	100	100	150	190	180	150	100	
	Provttyp	Tryck	Vb	Tryck	Tryck	Vb	Tryck	Tryck	Tryck	Tryck	Tryck	Tryck	Tryck	Tryck	Tryck	Tryck
		[kN]	[kPa]	[Mpa]	[kN]	[kN]	[kPa]	[Mpa]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
Grå lera, sulfidfläckig	2m	5	36	1,3	8	14	36	1	13	8	20	20	10	11		
	3m	13	7	0,2	19	10	5	1	4	16	18	13	8,5	12		
	4m	20	53	3	16	4	6	2	20	16	10	4,5	18	14		
	5m	20	51	0,2	8	ej	7	0,6	20	?		3	20	20		
	6m		7	0,1	6,5	till	8	1	?			3	?	16		
	7m		6	0,2	6	fast	12	0,4				3,5				
	8m		12	0,3	5,5	botten	13	0,4								
	9m		9	0,4	5		7									
10m						ej till fast										
11m						botten										

[illegible]

Askersund Sektion 0/160	Pelare Utfört Stab. Med. [kg/m³] Provtyp	693 693 694 697 699 702 695 696 698 700 701 701 Natur											
		V614 V614 V614 V614 V614 V614 V614 V614 V614 V614 V614 V614 V614 V614											
		V17 V17 V17 V17 V17 V17 V17 V17 V17 V17 V17 V17 V17											
Jordtyp enligt SGI	djup	Tryck CPT Tryck CPT Tryck CPT Tryck Tryck Tryck CPT Tryck CPT Tryck Tryck Tryck											
		[kN]	[MPa]	[kN]	[MPa]	[kN]	[MPa]	[kN]	[MPa]	[kN]	[MPa]	[kN]	[MPa]
Brun, lerg gytta med växtdelar	2m					18							
	3m					18							
Gröngrå, le gy, svagt sulfidfläckig Grå, si le med tu. Siltsk., sulfidrandig Grå, siltig lera med tunna siltskikt Grå, lergig silt, sulfidfläckig	4m	9,5	3	4	4	5,5	3	0,2	3	1	?	6,5	2,5
	5m	8	7	0,05	5	4,5	5	0,25	2	2	0,1	6	2,5
	6m	20	0,2	0,2	5	0,5	5	0,3	2	0,2	0,15	5,5	2,5
	7m	20	0,3	0,2	5,5	0,6	4,5	0,35	2,5	0,3	0,2	5,5	2,5
Grå, si le med siltskikt, sulfidfläckig	8m	20	0,8	0,2	5	0,6	5	0,4	3	0,3	0,2	5,5	3
	9m	7	1,1	0,2	5	0,6	5,5	0,4	3	0,4	0,2	5,5	3,5
	10m	7,5	0,25	0,3	5	0,7	5	0,35	3	0,4	0,25	6	3,5
	11m	7	0,4	0,3	5,5	0,7	5	0,4	3	0,4	0,3	5,5	3,5
Grå, si le mätta siltskikt, sulfidfläckig	12m	7	0,6	0,35	5,5	0,8	5,5	0,4	3	0,4	0,3	6,5	4
	13m	8	0,6	0,35	5	0,8	6	0,2	3	0,4	0,3	6	4
	15m	7,5	0,6	0,4	5	0,8	5	0,5	3,5	0,5	0,4	7	5
	17m			0,4	5	0,6	7	0,6		0,5	0,4		5

Utvärderad skjuv hållfasthet		Pelare	693	693	694	697	699	702	695	696	698	700	701	701	Natur
Askersund Sektion 0/160		Uttört	V614	V614	V614	V614	V614	V614	V619	V619	V619	V619	V619	V619	V619
		Stab. Med.	V17	V17	V17	V17	V17	V17	V17	V17	V17	V17	V17	V17	V17
		[kg/m ²]	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Jordtyp enligt SGI		Resultat	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
Brun, lertig gyttja med växtdelar Gröngrå, le gy, svagt sulfidfläckig Grå, si le med tu. Siltsk., sulfidrandig Grå, siltig lera med tunna siltskikt Grå, lertig silt, sulfidfläckig Grå, si le med siltskikt, sulfidfläckig Grå, si le mtåta siltskikt, sulfidfläckig	djup														
	2m														
	3m														
	4m		118,8			75		68,75	37,5		37,5			81,25	31,25
	5m		100			62,5		62,5	37,5		25			75	31,25
	6m		250			62,5		62,5	37,5		25			68,75	31,25
	7m		250			68,75		56,25	37,5		31,25			68,75	31,25
	8m		250			62,5		62,5	37,5		37,5			68,75	37,5
	9m		87,5			62,5		68,75	43,75		37,5			68,75	43,75
	10m		93,75			62,5		62,5	50		37,5			75	43,75
	11m		87,5			68,75		62,5	50		37,5			68,75	43,75
	12m		87,5			68,75		68,75	52,5		37,5			81,25	50
	13m		100			62,5		75	56,25		37,5			75	50
	15m		93,75			62,5		62,5	62,5		43,75			87,5	62,5
	17m					62,5		87,5							62,5

Bettna-Flen
Väg 221

SGI - laboratorieundersökningar 1997-04-28

Stabiliseringsmedel/bindemedel:
Kalk och cement (50/50)
Lohjamix (CM-bindemedel)

Innehåll i provblandningen			Bettna-SGI			Stabiliserad jord - resultat				
Jordtyp / jordblandningar	Sektion 0/915 VM		Densitet	Vatten- kvot, w	Skjuvhåll- fasthet	Stabiliseringsmedel Typ / Mängd	Tid efter inblandning	Densitet	Vatten- kvot	Skjuvhållfasthet Tryck Kon
	djup		[t/m³]	[%]	[kPa]	- / [kg/m³]	[dygn]	[t/m³]	[%]	[kPa]
Brun mellantorv	0,7-1,45m					K/C / 150	10	1,17	230	6,6
							30	1,15	220	9,1
							99	1,15	227	8,8
							10	1,19	172	13
Gröngrå gytta	1,0-2,1m					K/C / 250	30	1,20	162	16
							99	1,20	170	17
						Lohjamix/150	10	1,20	171	225
							30	1,19	164	484
						Lohjamix/250	10	1,28	134	289
							30	1,26	129	565

Innehåll i provblandningen			Betha-SGI			Stabiliserad jord - resultat				
Jordtyp/jordblandningar	Sektion 0/915 VM	djup	Densitet	Vatten- kvot, w	Skjuvhåll- fasthet	Stabiliseringsmedel Typ / Mängd	Tid efter inblandning	Densitet	Vatten- kvot	Skjuvhållfasthet Tryck Kon
			t/m³	[%]	[kPa]	_ / [kg/m³]	[dygn]	t/m³	[%]	[kPa]
Grå, lerig gytja	2,5-4m					Lohjamix/80	10	1,32	124	168
						30	1,31	126	228	
						10	1,33	116	391	
						Lohjamix/120	30	1,30	115	416
Grå, gytlig lera	4,5-6m					Lohjamix/80	10	1,41	85	140
						30	1,43	86	259	
						10	1,47	81	382	
						Lohjamix/120	30	1,33	81	509

Bettna-Flen
Väg 221

Cementa - laboratorieundersökningar 1999-06-03

Stabiliseringsmedel/bindemedel:

Kalk och cement (50/50)

Lohjamix (SHCe+Merit 50/50)

Innehåll i provblandningen				Bettna-Cementa		Stabiliserad jord - resultat				
Jordtyp/jordblandningar	Sektion 0/880 H20	Densitet	Vattenkvot, W	Skjuvfasthet	Stabiliseringsmedel		Tid efter inblandning	Densitet	Vattenkvot	Skjuvfasthet
	djup [m]	[t/m³]	[%]	[kPa]	Typ	Mängd	[dygn]	[t/m³]	[%]	[kPa]
Gyttig lera	1,5-2,5	1,46	128		K/C	100	14			100
							28			135
							90			223
					Lohjarnix	100	14			536
							28			711
							90			865
gyttig lera	2,5-3,5	1,5	87,9		K/C	100	14			77
							28			108
							90			162
					Lohjarnix	100	14			349
							28			497
							90			734

Innehåll i provblandningen				Bettna-Cementa			Stabiliserad jord - resultat					
Jordtyp / jordblandningar	Sektion 0/880 H20	Densitet	Vatten- kvot, W	Skjuvhåll- fasthet	Stabiliseringsmedel Typ / Mängd	Tid efter inblandning	Densitet	Vatten- kvot	Skjuvhållfasthet			
	djup [m]	t/m³	[%]	[kPa]	_____ / [kg/m³]	[dygn]	t/m³	[%]	[kPa]			
Lera	3,5-4,5	1,5	102		K/C / 100	14			145			
						28			155			
						90			230			
Lera	4,5-5,5	1,43	78,3		Lohjarnix/100	14			406			
						28			565			
						90			839			
Lera	5,5-6,5	1,43	78,3		K/C / 100	14			168			
						28			214			
						90			301			
Lera	5,5-6,5	1,55	110		Lohjarnix/100	14			527			
						28			628			
						90			1108			
Lera	5,5-6,5	1,55	110		K/C / 100	14			212			
						28			274			
						90			473			
Lera	5,5-6,5	1,55	110		Lohjarnix/100	14			439			
						28			663			
						90			1118			
Lera	7,5-8,5	1,84	53,2		K/C / 100	14			275			
						28			326			
						90			491			
Lera	7,5-8,5	1,84	53,2		Lohjarnix/100	14			527			
						28			868			
						90			1401			

Bettna-Flen
Väg 221

Chalmers (examensarbete) - Faltresultat
Provpelare utförda 1999-06-15

Stabiliseringsmedel/bindemedel:
Kalk och cement (50/50)
Lohjamix (CM-bindemedel)
Terra FMT

Bettna Sektion 0/890-0/940 Kolprovtagning 28 dygn efter pelarinstallation Enaxiella tryckförsök	Pelare Datum Sektion Stab. Med. [kg/m³] Provtyp	A8		A18		A28		A33	
		Jordtyp	En ax.	Jordtyp	En ax.	Jordtyp	En ax.	Jordtyp	En ax.
	djup		[kPa]		[kPa]		[kPa]		[kPa]
0,5-1,2		le,torv	21,5	gy	54,2	torv	10,3	torv	56,3
1,2-1,9		gy	12,5	gy	61,1	gy	24,5	gy	29,2
1,9-2,6		le	63,6	le	59,8	le	3	gy	63,2
2,6-3,3		le	12,9	le	49,5	le	3,4	le	64,5
3,3-4		le	37,4	le	64,5	le	4,7	le	5,6
4-4,7		le	30,5	le	64,5	le	6,5	le	3
4,7-5,4		si	55	si	62,4				
5,4-6,1				si	57,6				

Bettna-Flen
Väg 221

Chalmers (examensarbete) - Fältresultat
Provpelare utförda 1999-06-15

Stabiliseringsmedel/bindemedel:
Kalk och cement (50/50)
Lohjamix (CM-bindemedel)

Bettna	Sektion Stab. Med. [kg/m ³] Sondering Provtyp	0/890		0/910		0/940	
		tryck	skuv hållf.	tryck	skuv hållf.	tryck	skuv hållf.
Kalkpelarsondering		[kN]	[kPa]	[kN]	[kPa]	[kN]	[kPa]
Sondering I och II efter 28 resp. 134 dygn	djup [m]						
Pelarlängd, sonderat djup	5,5	8-16/12-20	80-145/120-185				
	6			8-18/10-15	80-165/100-135		
	7					9-12/5-12	90-105/50-105

Bilaga 2

Sammanställning av resultat från tryckförsöken i tabellform, etapp 1-3

Ettapp 1

Djup	Prov	Bindemedel 150 kg/m ³	Inblandning			Tryckförsök 28 dygn		
			Densitet	w (jord)	w (+bind)	Densitet	w	Tryckspänning [kPa]
2,5-3m $\rho = 1,50 \text{ t/m}^3$ $\tau_{\text{red}} = 20-22 \text{ kPa}$	1 3A	KC 50/50	1,57	79	63	1,56	60	418
	1 3B		1,60			1,57	60	497
	2 3A	KCG 33%	1,63	-	63	1,60	61	481
	2 3B		1,60			1,58	61	503
	3 3A	KCM 33%	1,58	79	64	1,56	61	644
	3 3B		1,59			1,57	61	609
	4 3A	CM 70/30	1,59	77	65	1,57	62	1072 (29 d)
	4 3B		1,56			1,54	62	974 (29 d)
	5 3A	CM 50/50	1,58	78	66	1,57	63	1268 (29 d)
	5 3B		1,59			1,57	62	1374 (29 d)
	6 3A	CM 30/70	1,60	81	66	1,58	62	943
	6 3B		1,60			1,55	64	997
	7 3A	C 100 %	1,59	69	66	1,59	61	1152 (29 d)
	7 3B		1,61			1,57	63	1008 (29 d)
3,5m $\rho = 1,37 \text{ t/m}^3$ $\tau_{\text{red}} = 18-26 \text{ kPa}$	1 3,5A	KC 50/50	1,46	-	88	1,44	86	69
	1 3,5B		1,44			1,43	86	70
	2 3,5A	KCG 33%	1,51	108	87	1,49	84	226
	2 3,5B		1,50			1,47	83	211
	3 3,5A	KCM 33%	1,49	116	87	1,46	84	46
	3 3,5B		1,46			1,44	84	41
	4 3,5A	CM 70/30	1,48	119	90	1,46	86	223
	4 3,5B		1,48			1,46	86	266
	5 3,5A	CM 50/50	1,46	128	97	1,45	90	109
	5 3,5B		1,46			1,43	89	159
	6 3,5A	CM 30/70	1,49	106	89	1,48	83	231
	6 3,5B		1,48			1,47	84	173
	7 3,5A	C 100 %	1,45	124	95	1,44	87	195
	7 3,5B		1,44			1,43	87	147
4m $\rho = 1,63 \text{ t/m}^3$ $\tau_{\text{red}} = 11-13 \text{ kPa}$	1 4A	KC 50/50	1,73	62	49	1,70	46	287
	1 4B		1,72			1,69	47	257
	2 4A	KCG 33%	1,73	57	49	1,71	47	227
	2 4B		1,74			1,71	47	230
	3 4A	KCM 33%	1,72	58	50	1,69	48	249
	3 4B		1,73			1,70	47	227
	4 4A	CM 70/30	1,74	59	-	1,72	48	588
	4 4B		1,73			1,70	48	577
	5 4A	CM 50/50	1,75	61	50	1,71	48	525
	5 4B		1,73			1,69	48	504
	6 4A	CM 30/70	1,71	58	52	1,70	49	734
	6 4B		1,73			1,69	49	593
	7 4A	C 100 %	1,72	59	50	1,71	48	770
	7 4B		1,75			1,70	48	732

Ettapp 2

Djup	Prov	Bindemedel kg/m ³	Inblandning			Tryckförsök			
			Densitet	w (jord)	w (+bind)	Densitet	w	dygn	Tryckspänning [kPa]
3,5m $\rho = 1,37 \text{ t/m}^3$ $\tau_{fu} = 18-26 \text{ kPa}$	2 3,5 A	KCG 33 %	1,48	123	88	1,44	85	28	258
	2 3,5 B	200	1,47			1,46	85	28	279
	2 3,5 A	KCG 33 %	1,47	122	93	1,43	89	90	653
	2 3,5 B	150	1,45			1,43	89	90	634
	6 3,5 A	CM 30/70	1,46	127	95	1,44	87	28	144
	6 3,5 B	200	1,48			1,46	83	28	304
	6 3,5 A	CM 30/70	1,42	136	99	1,40	93	90	312
	6 3,5 B	150	1,43			1,41	93	90	237
	7 3,5 A	C 100 %	1,49	124	90	1,46	83	28	654
	7 3,5 B	200	1,48			1,46	82	28	700
	7 3,5 A	C 100 %	1,43	133	99	1,41	92	90	416
	7 3,5 B	150	1,45			1,43	93	90	445
	8 3,5 A	C +vatten	1,40	110		1,39	107	28	198
	8 3,5 B	150	1,36			1,35	106	28	122
4m $\rho = 1,63 \text{ t/m}^3$ $\tau_{fu} = 11-13 \text{ kPa}$	2 4 A	KCG 33 %	1,72	61	47	1,71	45	28	321
	2 4 B	200	1,75			1,70	45	28	293
	2 4 A	KCG 33 %	1,71	61	48	1,69	46	90	560
	2 4 B	150	1,73			1,70	46	90	535
	6 4 A	CM 30/70	1,70	59	52	1,69	51	28	314
	6 4 B	100	1,70			1,68	51	28	290
	6 4 A	CM 30/70	1,71	59	51	1,68	48	90	1355
	6 4 B	150	1,72			1,69	48	90	2012
	7 4 A	C 100 %	1,71	58	53	1,68	51	28	247
	7 4 B	100	1,72			1,68	47	28	329
	7 4 A	C 100 %	1,72	60	51	1,70	48	90	854
	7 4 B	150	1,71			1,69	47	90	816
	8 4 A	C +vatten	1,68	66	54	1,67	52	28	511
	8 4 B	150	1,69			1,67	52	28	453
5m $\rho = 1,8 \text{ t/m}^3$ $\tau_{fu} = 10-20 \text{ kPa}$	2 5 A	KCG 33 %	1,74	56	47	1,73	46	28	591
	2 5 B	150	1,72			1,71	46	28	584
	6 5 A	CM 30/70	1,74	57	49	1,73	46	28	1068
	6 5 B	150	1,73			1,72	47	28	1141
	7 5 A	C 100 %	1,75	58	48	1,72	46	28	787
	7 5 B	150	1,77			1,71	46	28	850

Ettapp 3

Djup	Prov	Bindemedel kg/m ³	Inblandning			Tryckförsök			
			Densitet w (jord)	w (+bind)		Densitet	w	t [dygn]	Spänn. [kPa]
2,5-3m ρ = 1,50 t/m ³ τ _{red} = 20-22 kPa	2328200A	KCG33%	1,63	81	60	1,60	59	28	788
	2328200B	200	1,62			1,59	58	28	781
	6328200A	CM 30/70	1,60	81	64	1,56	61	28	445
	6328200B	200	1,60			1,57	61	28	489
	7328200A	C100%	1,61	80	61	1,57	59	28	890
	7328200B	200	1,60			1,59	58	28	1575
	11328200A	A100%	1,59	82	65	1,57	61	28	105
	11328200B	200	1,55			1,53	61	28	93
3,5m ρ = 1,37 t/m ³ τ _{fu} = 18-26 kPa	23528250A	KCG 33%	1,51	129	81	1,49	78	28	415
	23528250B	250	1,49			1,47	77	28	395
	63528250A	CM 30/70	1,49	123	86	1,47	79	28	313
	63528250B	250	1,49			1,46	80	28	287
	73528175A	C100%	1,47	115	87	1,45	82	28	306
	73528175B	175	1,46			1,44	81	28	408
	93528250A	CA 50/50	1,48	119	84	1,46	79	28	619
	93528250B	250	1,46			1,46	78	28	601
	103528250A	CA 30/70	1,47	127	85	1,46	81	28	285
	103528250B	250	1,46			1,45	80	28	298
4m ρ = 1,63 t/m ³ τ _{fu} = 11-13 kPa	2428250A	KCG 33%	1,72	66	48	1,70	45	28	453
	2428250B	250	1,69			1,68	45	28	418
	6428200A	CM 30/70	1,71	62	52	1,67	50	28	1121
	6428200B	200	1,68			1,66	50	28	749
	6428250A	CM 30/70	1,72	66	50	1,69	46	28	1901
	6428250B	250	1,69			1,67	46	28	1753
	9428250A	CA 50/50	1,72	67	48	1,69	48	28	1351
	9428250B	250	1,69			1,67	47	28	1104
	10428250A	CA 30/70	1,70	64	50	1,67	48	28	958
	10428250B	250	1,69			1,66	48	28	843
5m ρ = 1,8 t/m ³ τ _{fu} = 10-20 kPa	1528150A	KC 50/50	1,79	53	42	1,76	40	28	586
	1528150B	150	1,78			1,75	40	28	489

Bilaga 3

Sammanställning av resultat från tryckförsöken, kommentarer,
vattenkvoter mm, etapp 1-3

Ettapp 1, djup 3 m

Provet är namngett enligt: nr/djup/dygn/mängd/prov, A eller B

Prov Djup 3 m	Bindemedel	w [%]	w medel	Höjd [cm]	Vikt [g]	Densitet [t/m ³]	Kommentar
13A	KC 50/50	ö 60 m 60 u 60	60	10	307,02	1,56	Svagt oxiderat Krossbrott i underkant
13B	KC 50/50	ö 61 m 60 u 59	60	10,1	311,82	1,57	Svagt oxiderat Fint prov, skjuvbrott
23A	KCG 33%	ö 61 m 62 u 61	61	10	314,02	1,60	Svagt oxiderat Fint prov, något nött runt överkant Skjuvbrott
23B	KCG 33%	ö 61 m 61 u 61	61	10	309,39	1,58	Svagt oxiderat Fint prov, skjuvbrott
33A	KCM 33%	ö 61 m 61 u 60	61	10	306,35	1,56	Svagt oxiderat Fint prov, skjuvbrott
33B	KCM 33%	ö 61 m 62 u 62	61	10	307,54	1,57	Svagt oxiderat Fint prov, skjuvbrott
43A	CM 70/30	ö 62 m 62 u 62	62	10	307,83	1,57	Svagt oxiderat Fint prov, skjuvbrott Lagrad 29 dygn
43B	CM 70/30	ö 62 m 62 u 62	62	10	302,53	1,54	Svagt oxiderat Skjuvbrott Lagrad 29 dygn
53A	CM 50/50	ö 63 m 63 u 62	63	10	308,54	1,57	Flammigt oxiderat Ganska tvärgående spricka, skjuv- brott? Lagrad 29 dygn
53B	CM 50/50	ö 62 m 62 u 62	62	10	309,09	1,57	Flammigt oxiderat Tvärt brott, skjuvbrott? Lagrad 29 dygn
63A	CM 30/70	ö 62 m 63 u 63	62	10,1	312,46	1,58	Flammigt oxiderat Fint prov Ganska tvärt brott, troligen skjuvbrott
63B	CM 30/70	ö 64 m 64 u 64	64	10,1	307,93	1,55	Halvt oxiderad, fint prov Avbrutet vid 2000 N pga klen lastcell Lagrad 29 dygn
73A	C 100%	ö 61 m 61 u 60	61	10	311,22	1,59	Svagt oxiderat Fint prov, skjuvbrott Avbrutet vid 2000 N pga klen lastcell
73B	C 100%	ö 62 m 65 u 62	63	10	308,41	1,57	Svagt oxiderat Lagrad 29 dygn

Ettap 1, djup 3,5 m

Provet är namngett enligt: nr/djup/dygn/mängd/prov, A eller B

Prov Djup 3,5 m	Bindemedel	w [%]	w medel	Höjd [cm]	Vikt [g]	Densitet [t/m ³]	Kommentar
1 3,5A	KC 50/50	ö 85 m 87 u 85	86	10	282,08	1,44	Ej oxiderat Fint prov, skjuvbrott?
1 3,5B	KC 50/50	ö 85 m 87 u 85	86	9,8	275,3	1,43	Ej oxiderat Fint prov, skjuvbrott
2 3,5A	KCG 33%	ö 83 m 84 u 84	84	10	292,14	1,49	Ej oxiderat Fint prov, skjuvbrott
2 3,5B	KCG 33%	ö 85 m 82 u 83	83	10	288,01	1,47	Ej oxiderat Fint prov, krossbrott
3 3,5A	KCM 33%	ö 83 m 84 u 84	84	10	285,91	1,46	Ej oxiderat Fint prov, skjuvbrott
3 3,5B	KCM 33%	ö 83 m 85 u 85	84	10	283,63	1,44	Ej oxiderat Fint prov, skjuvbrott
4 3,5A	CM 70/30	ö 86 m 86 u 85	86	10,1	289,54	1,46	Halvt oxiderat, flammigt Fint prov, skjuvbrott?
4 3,5B	CM 70/30	ö 85 m 86 u 86	86	10	287,54	1,46	Mindre oxiderat än A-prov, flammigt Mindre hållighet från packning, gav troligen begynnande brott
5 3,5A	CM 50/50	ö 91 m 90 u 89	90	10	284,82	1,45	Oxiderat i ändytorna Fint prov, krossbrott
5 3,5B	CM 50/50	ö 88 m 89 u 89	89	9,9	277,66	1,43	Oxiderat i underkant Mindre hållighet, gav dock ej begyn- nelse till brott.
6 3,5A	CM 30/70	ö 83 m 83 u 83	83	10	291,41	1,48	Svagt oxiderat i underkant Krossbrott
6 3,5B	CM 30/70	ö 83 m 85 u 85	84	10	288,29	1,47	Oxiderat i ändytorna Fint prov, krossbrott i underkant
7 3,5A	C 100%	ö 89 m 86 u 87	87	10	282,52	1,44	Oxiderat i överkant, flammigt Ev. brottbeggynelse vid oxidation, skjuvbrott?
7 3,5B	C 100%	ö 87 m 88 u 87	87	10	280,51	1,43	Flammigt oxiderat, har trängt in i provkroppen, trolig brottbeggynelse Krossbrott

Etapp 1, djup 4 m

Provet är namngett enligt: nr/djup/dygn/mängd/prov, A eller B

Prov Djup 4 m	Bindemedel	w [%]	w medel	Höjd [cm]	Vikt [g]	Densitet [t/m ³]	Kommentar
14A	KC 50/50	ö 45 m 47 u 46	46	10	334,29	1,70	Halvt oxiderad, flammig Fint prov, skjuvbrott
14B	KC 50/50	ö 46 m 47 u 47	47	10	332	1,69	Halvt oxiderat Skjuvbrott
24A	KCG 33%	ö 47 m 47 u 46	47	10	335,31	1,71	Lite oxiderat i överkant Fint prov, komprimeras, krossbrott
24B	KCG 33%	ö 48 m 47 u 46	47	10,1	338,7	1,71	Oxiderat i övre delen Fint prov, skjuvbrott
34A	KCM 33%	ö 49 m 48 u 47	48	9,9	327,75	1,69	Flammigt oxiderat Fint prov, skjuvbrott
34B	KCM 33%	ö 47 m 48 u 47	47	10	334,7	1,70	Halvt oxiderat Liten hålighet från packning, möjligen brottbegynnelse, skjuvbrott
44A	CM 70/30	ö 48 m 48 u 48	48	10	337,28	1,72	Oxiderat i överkant Fint prov, skjuvbrott
44B	CM 70/30	ö 48 m 48 u 48	48	10,1	337,57	1,70	Flammigt oxiderat, liten inträngning i mitt. Liten hålighet från packning Skjuvbrott
54A	CM 50/50	ö 48 m 48 u 48	48	10,1	339,41	1,71	Flammigt oxiderat Skjuvbrott
54B	CM 50/50	ö 48 m 48 u 49	48	10,1	336,07	1,69	Flammigt oxiderat Skjuvbrott
64A	CM 30/70	ö 49 m 50 u 49	49	9,9	330,2	1,70	Oxiderat i över- och underkant, flammigt Fint prov, krossbrott?
64B	CM 30/70	ö 50 m 50 u 49	49	10	332,4	1,69	Oxiderat i över- och underkant, flammigt Krossbrott
74A	C 100%	ö 48 m 48 u 48	48	10	335,05	1,71	Oxiderat Skjuvbrott
74B	C 100%	ö 49 m 49 u 48	48	10,1	336,8	1,70	Flammigt oxiderat Skjuvbrott

Ettap 2, djup 3,5 m

Provet är namngett enligt: nr/djup/dygn/mängd/prov, A eller B

Prov Djup 3,5 m	Bindemedel	w [%]	w medel	Höjd [cm]	Vikt [g]	Densitet [t/m ³]	Kommentar
2 3,5 28 200A	KCG 33%	ö 85 m 86 u 84	85	10,1	285,92	1,44	Svag oxidation i kant Skjuvbrott
2 3,5 28 200B	KCG 33%	ö 86 m 86 u 84	85	10	285,86	1,46	Mindre oxidation i kant Skjuvbrott
2 3,5 90 150A	KCG 33%	ö 90 m 90 u 88	89	10,1	283,95	1,43	Svag oxidation i glipa i axiell rikning Fin provkropp, skjuvbrott
2 3,5 90 150B	KCG 33%	ö 90 m 91 u 87	89	10	281,58	1,43	Halvt oxiderad Ej lika fin som A-prov skjuvbrott?
6 3,5 28 200A	CM 30/70	ö 90 m 87 u 83	87	10	282,44	1,44	Oxiderat Brott i oxidering? (Skjuvbrott) Stor variation på vattenkvot
6 3,5 28 200B	CM 30/70	ö 84 m 83 u 82	83	10	287,62	1,46	Ej oxiderat Krossbrott?
6 3,5 90 150A	CM 30/70	ö 92 m 95 u 94	93	10	274,71	1,40	Ej oxiderat Liten packningsskarv i mitten, kanske genomgående, krossbrott
6 3,5 90 150B	CM 30/70	ö 94 m 93 u 93	93	10	277,43	1,41	Oxidation i överkant och underkant Små inhomogeniteter Krossbrott i underkant
7 3,5 28 200A	C 100%	ö 82 m 83 u 82	83	10	287,15	1,46	Halvt oxiderat, (halva manteln) Skjuvbrott
7 3,5 28 200B	C 100%	ö 83 m 82 u 81	82	10,1	289,1	1,46	Halvt oxiderat, (halva manteln) Skjuvbrott?
7 3,5 90 150A	C 100%	ö 92 m 93 u 91	92	10	277,37	1,41	Halvt oxiderat, (flammigt). Oxidation har trängt in i provets överkant, ev. begynnande brott. Krossbrott i ök
7 3,5 90 150B	C 100%	ö 93 m 93 u 94	93	10	281,63	1,43	Flammigt oxiderat. Mindre än A-prov, främst i ändytorna. Oxidation har trängt in i underkant. Krossbrott i uk
8 3,5 28 150A	C 100% + H ₂ O	ö 107 m 108 u 105	107	10	272,55	1,39	Något oxiderat Liten spricka Skjuvbrott
8 3,5 28 150B	C 100% + H ₂ O	ö 107 m 107 u 105	106	10	265,03	1,35	Flera hålrum Skjuvbrott?

Ettapp 2, djup 4 m

Provet är namngett enligt: nr/djup/dygn/mängd/prov, A eller B

Prov Djup 4 m	Bindemedel	w [%]	w medel	Höjd [cm]	Vikt [g]	Densitet [t/m ³]	Kommentar
2 4 28 200A	KCG 33%	ö 45 m 45 u 45	45	10	335,87	1,71	Mycket lite oxiderat Fint prov, skjuvbrott
2 4 28 200B	KCG 33%	ö 45 m 46 u 46	45	10	334	1,70	Oxiderat Skjuvbrott
2 4 90 150A	KCG 33%	ö 46 m 47 u 47	46	10	332,32	1,69	Flammigt oxiderat Små inhomogeniteter, (hackig kurva?) Skjuvbrott
2 4 90 150B	KCG 33%	ö 46 m 47 u 46	46	10,1	336,72	1,70	Lite oxiderat Skjuvbrott?
6 4 28 100A	CM 30/70	ö 51 m 51 u 51	51	10	331,4	1,69	Ej oxiderat, endast lite på ovansidan Skjuvbrott
6 4 28 100B	CM 30/70	ö 51 m 51 u 52	51	10	330,14	1,68	Ej oxiderat Fint prov, skjuvbrott
6 4 90 150A	CM 30/70	ö 48 m 48 u 48	48	10,1	333,31	1,68	Ganska mycket oxiderat Stor packningsskarv på mitten Krossbrott i överkant
6 4 90 150B	CM 30/70	ö 48 m 48 u 47	48	10,1	334,51	1,69	Oxiderat i överkant och underkant, lite flammigt Ganska tvärgående brott
7 4 28 100A	C 100%	ö 51 m 52 u 50	51	10,1	332,48	1,68	Något oxiderat Brott i kanten upptill, krossbrott
7 4 28 100B	C 100%	ö 50 m 39 u 51	47	10,1	333,81	1,68	Halvt oxiderat Fint prov, skjuvbrott? stor variation på w, (skumt värde)
7 4 90 150A	C 100%	ö 48 m 48 u 47	48	10,1	336,23	1,70	Nästan helt oxiderat Ojämn underkant. Skum packnings- grej på sidan, skjuvbrott
7 4 90 150B	C 100%	ö 47 m 47 u 48	47	10	332,1	1,69	Oxiderat Ojämn underkant. Skum packnings- grej på sidan, skjuvbrott
8 4 28 150A	C 100% + H ₂ O	ö 52 m 52 u 51	52	10	327,82	1,67	Helt oxiderat, litet hålrum på sidan Skjuvbrott
8 4 28 150B	C 100% + H ₂ O	ö 51 m 52 u 52	52	10,1	330,44	1,67	Mycket oxiderat Krossbrott i överkant

Ettapp 2, djup 5 m

Provet är namngett enligt: nr/djup/dygn/mängd/prov, A eller B

Prov Djup 5 m	Bindemedel	w [%]	w medel	Höjd [cm]	Vikt [g]	Densitet [t/m ³]	Kommentar
2 5 28 150A	KCG 33%	ö 46 m 46 u 46	46	10	340,21	1,73	Ej oxiderat Fint prov, skjuvbrott?
2 5 28 150B	KCG 33%	ö 46 m 46 u 46	46	10	335,81	1,71	Ej oxiderat Spricka delade provet vid 600N Krossbrott?
6 5 28 150A	CM 30/70	ö 45 m 47 u 47	46	10	338,92	1,73	Flammig oxidation Spricka runt ovansida, (under locket) Skjuvbrott
6 5 28 150B	CM 30/70	ö 47 m 47 u 47	47	10	337,21	1,72	Flammig oxidation Stor packningsskarv på mitten
7 5 28 150A	C 100%	ö 46 m 45 u 46	46	10,1	341,35	1,72	Oxiderat Något skadad i kant ovansida
7 5 28 150B	C 100%	ö 46 m 46 u 46	46	10,1	339,84	1,71	Oxiderat Något skadad i kant ovansida Krossbrott i underkant

Ettapp 3, djup 3 m

Provet är namngett enligt: nr/djup/dygn/mängd/prov, A eller B

Prov Djup 3 m	Bindemedel	w [%]	w medel	Höjd [cm]	Vikt [g]	Densitet [t/m ³]	Kommentar
2 3 28 200A	KCG 33%	ö 59 m 60 u 58	59	10,1	318,01	1,60	Oxiderat Fint prov, skjuvbrott
2 3 28 200B	KCG 33%	ö 58 m 59 u 58	58	10,1	315,47	1,59	Oxiderat Fint prov, skjuvbrott?
6 3 28 200A	CM 30/70	ö 62 m 62 u 59	61	10,1	309,62	1,56	Flammigt oxiderat Fint prov, krossbrott?
6 3 28 200B	CM 30/70	ö 61 m 63 u 60	61	10,1	312,23	1,57	Oxiderat i ändytor Krossbrott i överkant
7 3 28 200A	C 100%	ö 59 m 60 u 58	59	10,0	309,01	1,57	Oxiderat Krossbrott i överkant, vertikal spricka delade provkroppen
7 3 28 200B	C 100%	ö 58 m 59 u 57	58	10,0	312,03	1,59	Oxiderat Fint prov, skjuvbrott?
11 3 28 200A	A 100%	ö 61 m 62 u 61	61	10,0	308,7	1,57	Oxiderat Fint prov
11 3 28 200B	A 100%	ö 60 m 62 u 61	61	10,0	301,11	1,53	Oxiderat Fint prov

Ettapp 3, djup 3,5 m

Provet är namngett enligt: nr/djup/dygn/mängd/prov, A eller B

Prov Djup 3,5 m	Bindemedel	w [%]	w medel	Höjd [cm]	Vikt [g]	Densitet [t/m ³]	Kommentar
2 3,5 28 250A	KCG 33%	ö 78 m 79 u 77	78	10	292,82	1,49	Ej oxiderat Fint prov
2 3,5 28 250B	KCG 33%	ö 77 m 78 u 76	77	10	288,95	1,47	Ej helt jämn överkant. Oxidation in i kropp i underkant vilket leder till brott i uk. Fint prov
6 3,5 28 250A	CM 30/70	ö 80 m 79 u 80	79	10	287,7	1,47	Mycket lite oxiderat vid ändytorna Ej helt jämn överkant Fint prov, krossbrott?
6 3,5 28 250B	CM 30/70	ö 81 m 79 u 79	80	10,1	290,34	1,46	Oxidation i ändytor, leder till brott Ej oxiderat invändigt Extra foto (vid 2:a toppen)
7 3,5 28 175A	C 100%	ö 83 m 83 u 81	82	10	284,88	1,45	Lite oxiderat på en sida
7 3,5 28 175B	C 100%	ö 82 m 82 u 80	81	10	282,93	1,44	Två oxiderade fält på motsatta sidor
9 3,5 28 250A	CA 50/50	ö 79 m 80 u 77	79	10	287,1	1,46	Helt oxiderat, har trängt in på en del ställena, brottbegynnelse? Fint prov
9 3,5 28 250B	CA 50/50	ö 79 m 79 u 77	78	9,9	283,1	1,46	Flammigt oxiderat Spricka från packning Skjuvbrott
10 3,5 28 250A	CA 30/70	ö 82 m 82 u 80	81	10	287,06	1,46	Flammigt oxiderat, har trängt in på ett ställe Skjuvbrott
10 3,5 28 250B	CA 30/70	ö 80 m 81 u 80	80	9,9	281,82	1,45	Flammigt oxiderat

Ettapp 3, djup 4 m

Provet är namngett enligt: nr/djup/dygn/mängd/prov, A eller B

Prov Djup 4 m	Bindemedel	w [%]	w medel	Höjd [cm]	Vikt [g]	Densitet [t/m ³]	Kommentar
2 4 28 250A	KCG 33%	ö 46 m 46 u 45	45	10	334,57	1,70	Flammigt oxiderat
2 4 28 250B	KCG 33%	ö 45 m 46 u 45	45	10	329,17	1,68	Mycket lite oxiderat
6 4 28 200A	CM 30/70	ö 50 m 50 u 50	50	10,1	331,94	1,67	Flammigt oxiderat
6 4 28 200B	CM 30/70	ö 50 m 50 u 49	50	10	325,56	1,66	Ojämn underkant. Svagt oxiderat i ändar. Brott i mitten, troligen packningsskarv
6 4 28 250A	CM 30/70	ö 46 m 46 u 46	46	10,1	336,11	1,69	Flammigt oxiderat Krossbrott?
6 4 28 250B	CM 30/70	ö 46 m 46 u 46	46	10,1	330,69	1,67	Ojämn underkant Helt oxiderat Skjuvbrott?
9 4 28 250A	CA 50/50	ö 47 m 48 u 48	48	10,1	334,18	1,69	Oxiderat Fint prov, skjuvbrott
9 4 28 250B	CA 50/50	ö 47 m 48 u 47	47	10,1	331,78	1,67	Flammigt oxiderat Fint prov, krossbrott
10 4 28 250A	CA 30/70	ö 48 m 49 u 48	48	10,1	330,58	1,67	Flammigt oxiderat Skjuvbrott?
10 4 28 250B	CA 30/70	ö 48 m 48 u 48	48	10,1	329,26	1,66	Flammigt oxiderat, har trängt in på några ställen

Ettapp 3, djup 5 m

Provet är namngett enligt: nr/djup/dygn/mängd/prov, A eller B

Prov Djup 5 m	Bindemedel	w [%]	w medel	Höjd [cm]	Vikt [g]	Densitet [t/m ³]	Kommentar
1 5 28 150A	KC 50/50	ö 40 m 41 u 40	40	10,1	348,26	1,76	Oxiderat Skjuvbrott?
1 5 28 150B	KC 50/50	ö 40 m 41 u 40	40	10,1	346,76	1,75	Oxiderat Skjuvbrott

Bilaga 4

Sammanställning av resultat från rutinundersökningar

Borrhål	Djup	Provtub	Prov	Vattenkvot	Glödgnin gsförlost	Skrym densitet	Kompakt densitet	Odrän. skjuvhåll fasthet	Störd odrän. skjuvhåll -fasthet	Sensiti -vitet	Konflyt gräns	Plastisi- tets gräns
	m			w	g	ρ	ρ_s	τ_{fu}	τ_r	S_t	w_L	W_p
				%	%	t/m ³	t/m ³	kPa	kPa		%	%
110+082	2ö	VAB259	W1	76								
	2m	KLBF1607	W1	58	2,6	1,69		22	0,75	29,3	45	
			W2	58	4,1							
	2u	VFN152	W1	63		1,55						
			W2	80								
	3ö	VF179	W1	83								
			W2	75								
	3m	RB2003	W1	74	8,1	1,51		20	1,5	13,8	89	
			W2	83	6,3							
	3u	VIAK1802	W1	74		1,36						
			W2	163								
	4ö	VFD55	W1	65								
			W2	57								
	4m	SJ3072	W1	70	3,3	1,62		12	0,2	60,0	40	
			W2	68	3,8							
	4u	VIAK3079	W1	68		1,57						
			W2	50								
	5ö	VIAK3500	W1	28		1,76						
			W2	68								
	5m	AIB796	W1	65	3,2	1,69		11	0,13	84,6	36	
	5u	AO539	W1	59	3,0							
			W2	48								

Borrhål	Djup	Provtub	Prov	Vattenkvot	Glödgnin gsförlust	Skrym densitet	Kompakt densitet	Odrän. skjuvhåll fasthet	Störd odrän. skjuvhåll -fasthet	Sensiti -vitet	Konflyt gräns	Plastisi- tets gräns
	m			w	g	ρ	ρ_s	τ_{fu}	τ_r	S_t	w_L	W_p
				%	%	t/m ³	t/m ³	kPa	kPa		%	%
KC2	2.5	PSVo59	W1	72	6,2	1,56		22	1,45	15,2	71	
			W2	89	6,4							
			W3	72			2,68					
	3.5	DPF114	W1	69	4,7	1,63		26	1,82	14,3	75	
			W2	55	2,8							
			W3	72			2,73					
	4.5	DPF316	W1	27	1,7	1,95		36	2,4	15,0	33	
			W2	29	2,,1		2,79					
			W3	31								

Borrhål	Djup	Provtub	Prov	Vattenkvot	Glödgning gsförlust	Skrym densitet	Kompakt densitet	Odrän. skjuvhåll fasthet	Störd odrän. skjuvhåll -fasthet	Sensitivitet	Konflyt gräns	Plastisitet gräns
	m			w	g	ρ	ρ_s	τ_{fu}	τ_r	S_t	w_L	W_p
				%	%	t/m ³	t/m ³	kPa	kPa	%	%	%
KC5	3	VFB164	W1	76	6,5	1,53		20	1,43	14,0	68	
			W2	121	12,3							
			W3	68			2,68					
	4	VFO747	W1	65	3,7	1,61		13	0,65	20,0	58	
			W2	67	3,7							
			W3	65			2,73					
	5	ORRJE4725	W1	53	2,4	1,76		9,7	0,25	38,8	40	
			W2	42	2,1							
			W3	44			2,72					

Borrhål	Djup	Provtub	Prov	Vattenkvot	Glödgnin gsförlost	Skrym densitet	Kompakt densitet	Odrän. skjuvhåll fasthet	Störd odrän. skjuvhåll -fasthet	Sensiti -vitet	Konflyt gräns	Plastisi- tets gräns
	m			w	g	ρ	ρ_s	τ_{fu}	τ_r	S_t	w_L	W_p
				%	%	t/m ³	t/m ³	kPa	kPa		%	%
KC12	2,5ö	PSV002	W1	62		1,59						
			W2	80								
	2,5m	DPFo86	W1	87	6,7	1,57		21	0,74	28,4	87	
			W2	74	6,1							
			WL	98								
	2,5u	DBF248	W1	75		1,60						
			W2	70								
	3,5ö	DPF264	W1	95		1,34						
			W2	124								
	3,5m	DPF342	W1	131	9,1	1,36		17,9	1,17	15,3	125	
			W2	164	11,9							
			WL	131								
	3,5u	DPF347	W1	91		1,30						
			W2	156								
	4,5ö	DPF238	W1	58	3,0	1,68		10,7	0,19	56,3	44	
			W2	62	3,5							
			WL	47								
	4,5m	DPF247	W1	66	1,6	1,9		23,2	1,82	12,7	34	
			W2	32	1,9							
			WL	33								
	4,5u	DPF314	W1	30		1,99						

Borrhål	Djup	Provtub	Prov	Vattenkvot	Glödgning gsförlust	Skrym densitet	Kompakt densitet	Odrän. skjuvhåll fasthet	Störd odrän. skjuvhåll -fasthet	Sensiti- vitet	Konflyt gräns	Plastisi- tets gräns
	m			w	g	ρ	ρ_s	τ_{fu}	τ_r	S_t	w_L	W_p
				%	%	t/m ³	t/m ³	kPa	kPa	%	%	%
KC19	2,43	VFE160	W1	85	6,3	1,54		20	1,42	14,1	96	
	2,58		W2	82	6,4							
	2,57		W3	97								
	3,5	VFC280	W7	117	8,6	1,34		22	1,55	14,2	137	
	3,51		W6	125								
	3,52		W5	129								
	3,53		W4	133								
	3,54		W8	136								
	3,55		W3	139								
	3,56		W2	172								
	3,57		W1	158	11,3							
	3,6	ORRJE3407	W1	209	12,6	1,29						
	3,61		W2	235								
	3,62		W3	187								
	3,63		W4	186								
	3,64		W5	212								
	3,65		W6	340								
	3,66		W7	222								
	3,68		W8	242	15,3							

Borrhål	Djup	Provtub	Prov	Vattenkvot	Glödgning gsförlust	Skrym densitet	Kompakt densitet	Odrän. skjuvhåll fasthet	Störd odrän. skjuvhåll -fasthet	Sensiti -vitet	Konflyt gräns	Plastisi- tets gräns
	m			w	g	ρ	ρ_s	τ_{fu}	τ_r	S_t	w_L	W_p
				%	%	t/m ³	t/m ³	kPa	kPa		%	%
KC22	3	PSV090	W1	78	6,2	1,57		22	1,82	12,1	83	53
			W2	82	7,1							
			W3	80								
	4	VFE111	W1	63	3,9	1,67		20	1,05	19,0	60	31
			W2	63	3,9							
			W3	63								
	5	VFS84	W1	23	0,8	1,86		27,5	0,14	196,4	28	
			W2	64	3,3							
			W3	26								

Bilaga 5

Metallanalys av samtliga ämnen i den naturliga jorden

Metallanalys utförd av Analytica AB.

Ämne	Djup [m] Prov %	2,5 VFE160 54,8	3 RB2003 53,6	3,5 VFC280 44,4	3,64 ORRJE E 3407 31	4 SJ3072 60,8	5 AIB796 66,7
TS							
As	mg/kg TS	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ba	mg/kg TS	151	143	200	153	113	137
Be	mg/kg TS	0,756	0,604	0,669	0,568	0,633	0,769
Cd	mg/kg TS	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Co	mg/kg TS	11,3	10	11	10,3	10,6	11,2
Cr	mg/kg TS	42,7	37	41,8	35,9	36,8	38,9
Cu	mg/kg TS	32	38,4	38,5	52,9	33,3	37,9
Fe	mg/kg TS	32400	31200	29400	35700	27100	29400
Li	mg/kg TS	24,6	22,5	23,2	19	23,3	28,3
Mn	mg/kg TS	586	518	893	329	250	336
Mo	mg/kg TS	7	9,15	11,2	40,5	2,11	2,06
Ni	mg/kg TS	25,9	25,4	25,9	29	25,2	22,5
P	mg/kg TS	894	781	867	779	789	843
Pb	mg/kg TS	10,7	<10	<10	<10	10,1	12,4
S	mg/kg TS	16300	16800	8800	18100	3560	132
Sn	mg/kg TS	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Sr	mg/kg TS	27,1	24,6	31,6	32,4	21,7	24,4
V	mg/kg TS	48	41	47,5	41,4	40,1	44,7
Zn	mg/kg TS	84,9	74,8	81,8	73,7	74,1	88,4

Bilaga 6

Innehållsdeklaration för samtliga bindemedel

Nordkalk Terra™ 80



Produktdatablad November 2003

Produktbeskrivning: Nordkalk Terra™ 80 är en specialprodukt för markstabilisering.

Tillverkningsort: Köping

Typisk kemisk sammansättning

Riktvärde, M och standardavvikelse, s angivna i %

Metod: XRF

	<u>M</u>	<u>s</u>		<u>M</u>	<u>s</u>
CaO	90,0	1,0	K ₂ O	0,12	0,05
SiO ₂	2,0	0,5	P	0,01	0,005
Al ₂ O ₃	0,7	0,2	Glödförlust 950°C	5,0	1,0
Fe ₂ O ₃	0,4	0,2	Rest- CO ₂	4,0	2,0
MgO	1,2	0,2	Svavel	0,10	0,05
Na ₂ O	0,06	0,02	Aktiv CaO (Metod: SFS 5188)	83,0	2,0

Reaktivitet

Riktvärden

Metod: DIN 1060

t60	8 min	(± 5 min)
Tmax	67 °C	(± 4 °C)

Partikelstorlek

Riktvärde, M och standardavvikelse, s angivna i %

Metod: luftstrålesikt - Alpin

	<u>M</u>	<u>s</u>
< 0,04 mm	90	5
< 0,09 mm	98	1
< 0,2 mm	99	1

Spårämnen

Riktvärde, M och standardavvikelse, s angivna i mg/kg

Metod: SFS 3044

	<u>M</u>	<u>s</u>		<u>M</u>	<u>s</u>
Cd	<0,1		Ni	5	2
Co	2	1	Pb	5	3
Cr	10	3	V	15	5
Cu	5	3	Zn	45	10
Hg	<0,02				

Övrigt

Flytbarhet (%)	85	10
----------------	----	----

Värden baserade på 18 månaders medelvärden. Den dubbla standardavvikelsen, 2s, för dessa värden anger de gränser som 95% av analysresultaten hamnar inom. Samtlig teknisk data är medelvärden avsedda att vara till hjälp för förbrukaren. De lämnas utan förbindelse.

Tillverkning och försäljning:

Nordkalk AB
Box 901, Nya Hamnvägen
731 29 Köping
tel. 0221-292 00
fax 0221-128 71

Försäljning och produktutveckling:

Nordkalk Oy Ab
21600 Pargas
Finland
tel. +358-204 55 6999
fax +358-204 55 6038

Aska

Askan är från en bbb-panna som eldas med slam från en reningsanläggning. Provet togs direkt ur askutmatningen från pannan.

ELEMENT	SAMPLE	Aska 20/11	Aska 26/11	Aska 1/12	Aska 11/12	Medelvärde
TS	%	99,7	99,8	99,8	93,9	98,3
SiO ₂	% TS	38,5	35,6	42,4	35,2	37,9
Al ₂ O ₃	% TS	22	17,8	20,7	16,9	19,4
CaO	% TS	23,3	29,2	20,8	30,3	25,9
Fe ₂ O ₃	% TS	1,77	1,87	2,1	1,64	1,85
K ₂ O	% TS	1,49	1,47	1,85	1,41	1,56
MgO	% TS	3,29	3,79	3,63	3,87	3,65
MnO	% TS	0,268	0,28	0,214	0,242	0,251
Na ₂ O	% TS	0,922	0,989	1,12	1,24	1,07
P ₂ O ₅	% TS	0,743	0,758	0,728	0,749	0,745
TiO ₂	% TS	0,236	0,254	0,215	0,235	0,235
Summa	% TS	92,5	92	93,8	91,8	92,5
LOI	% TS	5,1	4,2	4,5	5,3	4,78
As	mg/kg TS	20,9	12,5	15,4	17,5	16,6
Ba	mg/kg TS	385	431	470	436	431
Be	mg/kg TS	3,42	2,86	3,47	2,58	3,08
Cd	mg/kg TS	1,23	1,71	1,29	0,838	1,27
Co	mg/kg TS	15,5	12,4	12,7	26	16,7
Cr	mg/kg TS	80,9	93,5	105	84,8	91,1
Cu	mg/kg TS	288	329	190	320	282
Hg	mg/kg TS	<0,1	<0,1	0,0999	<0,1	0,100
La	mg/kg TS	20,6	22,9	18,9	8,34	17,7
Mo	mg/kg TS	<6	<6	<6	<5	<6
Nb	mg/kg TS	15,7	13,2	14	<5	14,3
Ni	mg/kg TS	64,8	71,4	70,4	73,8	70,1
Pb	mg/kg TS	43	38,6	32,4	27,7	35,4
S	mg/kg TS	15000	16200	12400	15600	14800
Sc	mg/kg TS	2,85	2,88	2,92	1,71	2,59
Sn	mg/kg TS	<20	<20	<20	<20	<20
Sr	mg/kg TS	412	468	387	492	440
V	mg/kg TS	15,4	26,1	33,8	15,5	22,7
W	mg/kg TS	<60	<60	<60	<50	<60
Y	mg/kg TS	20,2	19,6	22,4	19	20,3
Zn	mg/kg TS	415	480	340	325	390
Zr	mg/kg TS	228	250	239	249	242

Analys av Merit 5000:

Kalcium*	Ca	~ 23-25	
Kisel*	Si	~ 16-17	Ej applicerbart
Magnesium*	Mg	~ 8-10	
Aluminium*	Al	~ 5-6	på dessa ämnen
Svavel*	S	~ 1,3-1,6	
Järn*	Fe	~ 0,2-0,3	för Merit 5000
Syra* balanserat	(O)	~ 38-42	

* Samtliga ämnen föreligger i oxid och glas form. Den kemiska analysen ovan är en grundämnes-analys. Merit 5000 kan liknas vid ett mineral som inte är kristallint utan i glasform där de ingående ämnen är i oordning.

Standard Portlandcement

Säkerhetsdatablad – Byggcement

1. NAMNET PÅ PRODUKTEN OCH FÖRETAGET

<i>Produktnamn</i>	Byggcement
<i>Användning</i>	Bindemedel i betong, spackel och puts.
<i>Omarbetad</i>	2003-04-04
<i>Ersätter</i>	2002-08-06
<i>Tillverkare och leverantör</i>	Cementa AB Box 144 182 12 Danderyd
<i>Kontaktperson</i>	Sven-Erik Johansson, telefon 040-36 15 00
<i>Nödtелефон</i>	020-99 60 00 giftinformation (ERC)

2. SAMMANSÄTTNING/ÄMNEAS KLASSIFICERING

Ämnen	Portlandcement	
Halt	75–100 %	
CAS-nr	65 997-15-1	
EG-nr	2660434	
Klassificering	Xi	Irriterande.
R-fraser	R 37/38	Irriterar andningsorgan och hud.
	R 41	Kan ge allvarlig ögonskada.

3. FARLIGA EGENSKAPER

<i>Xi</i>	Irriterande.
<i>R 37/38</i>	Irriterar andningsorgan och hud.
<i>R 41</i>	Kan ge allvarlig ögonskada.
	Vid kontakt med vatten bildas kalciumhydroxid vilket har högt pH och därför irriterar huden.

4. FÖRSTA HJÄLPEN

<i>Inandning</i>	Frisk, ej dammig luft.
<i>Hudkontakt pulver</i>	Borsta bort och tvätta med tvål och vatten.
<i>Hudkontakt blöt massa</i>	Tag av kläder, tvätta med tvål och vatten.
<i>Ögonkontakt</i>	Gnid inte! Skölj omedelbart med mycket vatten i minst 15 minuter.
<i>Förtäring</i>	Ge OMEDELBART dryck i riklig mängd. Framkalla ej kräkning. Kontakta sjukhus eller läkare.
<i>Allmän information</i>	Vid minsta osäkerhet eller om besvär kvarstår, kontakta läkare.

Säkerhetsdatablad – Byggcement

5. ÅTGÄRDER VID BRAND

Inte relevant då produkten ej är brännbar.

6. ÅTGÄRDER VID SPILL/OAVSIKTIGA UTSLÄPP

<i>Personliga skyddsåtgärder</i>	Undvik damm. Undvik kontakt med hud och ögon.
<i>Åtgärder för att skydda miljön</i>	Förhindra att större mängder hamnar i avlopp, vattendrag eller mindre vattensamlingar.
<i>Saneringsmetoder</i>	För att förhindra dammbildning bör cement sugas upp. Cement som blandats med vatten hårdnar och kan deponeras som byggnadsavfall.

7. HANTERING OCH LAGRING

<i>Hantering</i>	Undvik dammbildning.
<i>Lagring</i>	Förvaras oåtkomligt för barn och i sin originalförpackning på torr plats. För att minska risken för kromallergi är produkten kromatreducerad. Om den förvaras enligt anvisning är reduktionseffekten effektiv. Lagringstiden för cement i säck får inte överstiga sex månader från förpackningsdag på obruten plastad pall och får inte överstiga en månad efter att plasten runt pallen brutits (dock längst sex månader från förpackningsdag). Sex månader efter förpackningsdag finns en ökad risk för innehåll av sexvärt krom vilket ger en ökad risk för kromexsem och kromallergi.

8. BEGRÄNSNING AV EXPONERING/PERSONLIGA SKYDDSÅTGÄRDER

<i>Tekniska skyddsåtgärder</i>	Punktutsug kan behövas om risk för inandning av cementdamm föreligger. Detta gäller även vid slipning av och/eller borring i hårdad produkt.
<i>Personlig skyddsutrustning</i>	Tätslutande skyddsglasögon samt skyddshandskar. Andningsskydd med filter P2 fasta partiklar bör användas i miljö där cementdamm förekommer, samt vid slipning av och/eller borring i hårdad produkt.
Cementet är kromatreducerat, varför risken för att en kromallergi skall förvärras är reducerad. Personer med kromallergi bör dock undvika att med oskyddad hud beröra färsk/nyblandade produkter som innehåller cement.	

9. FYSIKALISKA OCH KEMISKA EGENSKAPER

<i>Form</i>	Finkornigt, strävt dammande pulver.
<i>Färg</i>	Grått
<i>pH i brukslösning</i>	12,8
<i>Kompaktdensitet (kg/m³)</i>	3 100–3 200
<i>Skrymdensitet (kg/m³)</i>	1 000–1 500

10. STABILITET OCH REAKTIVITET

<i>Stabilitet</i>	Produkten är stabil under rekommenderade lagrings- och hanteringsförhållande (se punkt 7).
<i>Reaktivitet</i>	Cement som reagerar med vatten bildar kalciumhydroxid och ger direkt ett högt pH (12,5–13,5). Cement reagerar med vatten och hårdnar.

Säkerhetsdatablad – Byggcement

11. TOXIKOLOGISK INFORMATION

<i>Inandning</i>	Inandning av cementdamm kan irritera slemhinnor.
<i>Hudkontakt</i>	Långvarig kontakt med blandning av cement och vatten kan ge frätskador på oskyddad hud.
<i>Ögonkontakt</i>	Torr cementdamm eller stänk från en blandning av cement och vatten kan snabbt ge upphov till allvarlig ögonskada.
<i>Förtäring</i>	Kan ge irritation i mun eller matsmältningsorgan.

12. EKOTOXIKOLOGISK INFORMATION

Produkten har ingen känd ekotoxikologisk inverkan.

13. AVFALLSHANtering

Större mängder av spill kan deponeras efter överenskommelse med lokala myndigheter. Cement som blandas med vatten hårdnar och kan deponeras som byggnadsavfall.

14. TRANSPORTINFORMATION

Cement är ej farligt gods.

15. GÄLLANDE BESTÄMMELSER

	Irriterande.
<i>R 37/38</i>	Irriterar andningsorgan och hud.
<i>R 41</i>	Kan ge allvarlig ögonskada.
<i>S 2</i>	Förvaras oåtkomligt för barn.
<i>S 22</i>	Förhindra dammbildning.
<i>S 24</i>	Undvik kontakt med huden.
<i>S 26</i>	Vid kontakt med ögonen, spola genast med mycket vatten (15 minuter) och kontakta läkare.
<i>S 36/37</i>	Använd lämpliga skyddshandskar samt skyddsglasögon eller ansiktsskydd.

16. ÖVRIG INFORMATION

Uppdaterat augusti 2002 enligt gällande regler.

R 43 borttaget eftersom cementet ej anses kunna ge kromallergi då det är kromatreducerat, se vidare punkt 7 och 8.

GYPSUM

1. CHEMICAL SPECIFICATION

CONTENT EXPRESSED AS	TYPICAL	METHODS OF ANALYSIS
CaSO ₄	97,0 - 98,5 %	By Difference
CaF ₂	0,5 – 1,5 %	Gravimetric
CaO	0,5 – 1,5 %	Titration
pH	11 - 12	
H ₂ O (dry at 40° C)	< 0,1 %	
Pb	< 0,02 %	Atomic Absorption
As	< 0,0001 %	Atomic Absorption
Cd	< 0,001 %	Atomic Absorption
Hg	< 0,1 ppm	FLAAS *)

*) *Flameless atomic absorption spectroscopy.*

Analyses are carried out on representative samples of lot quantities.

2. PHYSICAL SPECIFICATION

Greyish white powder - suitable for self-levelling screeds, fillers, concrete mixtures, cement and fertilisers.

Bulk density: 1,2 - 1,3 kg/dm³

Particle size distribution

+	1,25 mm	Max	0,5 %
+	500 µm	Max	5,0 %
-	500 µm	Min	95 %
-	350 µm	Min	83 %
-	150 µm	Min	20 %
-	45 µm	Min	1 %



Svensk Djupstabilisering

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